

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

02/2016

# Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik

Synthesebericht

Für Mensch & Umwelt



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

Umwelt   
Bundesamt



UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 02/2016

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3710 14 101  
UBA-FB 002115

# **Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik**

## **Synthesebericht**

von

Jutta Knopf, Ingmar Mundt, Robert Kirchner, Walter Kahlenborn  
adelphi, Berlin

Jürgen Blazejczak, Dietmar Edler, Wolf-Peter Schill  
DIW, Berlin

Christian Sartorius, Rainer Walz  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstr. 128 – 130  
10117 Berlin  
service@bmub.bund.de  
www.bmub.bund.de

**Durchführung der Studie:**

Adelphi  
Caspar-Theyß-Str. 14a  
14193 Berlin

**Abschlussdatum:**

Dezember 2012

**Redaktion:**

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,  
nachhaltiger Konsum  
Björn Bünger

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-modernisierung-der-wirtschaft-durch>

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, April 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3710 14 101 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## **Kurzbeschreibung**

Die vorliegende Studie zur Ökologischen Modernisierung der Wirtschaft in Deutschland mittels einer modernen Umweltpolitik zeigt, dass eine solche Strategie und Transformation mittel- bis langfristig positive Effekte für die deutsche Wirtschaft und Gesellschaft haben kann. Die Ergebnisse machen allerdings auch deutlich, dass die ökologische Modernisierung der deutschen Wirtschaft gerade mit Blick auf einen kurzfristigen Zeithorizont einen hohen politischen und ökonomischen Aufwand erfordert. Dieser gründet zum einen darauf, dass die notwendige Transformation zügig angestoßen werden muss, wenn es darum gehen soll, die von der Bundesregierung anvisierten Nachhaltigkeitsziele tatsächlich zu erreichen. Eine solche zügige Realisierung der Modernisierung der deutschen Wirtschaft bedarf dabei teilweise hoher Anfangsinvestitionen, die sich im Zeitverlauf jedoch amortisieren und in Erträge umwandeln. Die für eine ökologische Modernisierung der Wirtschaft nötige Transformation wird notwendiger Weise im Zeitverlauf nicht mit den Interessen aller Akteure konform gehen, selbst wenn sie, wie die vorliegende Studie deutlich macht, insgesamt volkswirtschaftlich positive Effekte erzielt. Um in einem derart komplexen Kontext zu ausgewogenen und von einer breiten Mehrheit getragenen Entscheidungen zu gelangen, erscheint die Initiierung eines Dialogprozesses zwischen Staat, Wirtschaft und Zivilgesellschaft als dringend notwendig. Eine ambitionierte Modernisierung der Wirtschaft wird den Ergebnissen dieser Studie zufolge nicht nur externe Kosten gemäß dem Verursacherprinzip internalisieren, sondern kann auch positive Effekte auf Beschäftigung und wirtschaftliches Wachstum ausüben. Gleichzeitig steigt der Qualifikationsbedarf. Zusammenfassend macht die Studie deutlich, dass eine entsprechend instrumentierte und ambitionierte ökologische Modernisierung der Wirtschaft sich insbesondere mittel- bis langfristig nicht bremsend auf dieselbe auswirkt, sondern sich vielmehr als Innovationsmotor für eine moderne und zukunftsfähige Wirtschaft erweist.

## **Abstract**

The present study focuses on the ecological modernisation of the German economy through the adaptation of a modern environmental policy, highlighting how such a strategic transformation may have positive macro-economic effects on the economy and broader society in the medium to long-term. However, the results also make clear that the ecological modernisation of the German economy will entail high political and economic involvement in the short-run, stemming largely from the necessity for a quick implementation of the transformation in view of meeting the federal government's current sustainability goals. Such rapid realisation of the modernisation of Germany's economy necessitates certain high initial investments, which should however, over time, amortise and eventually turn into sources of revenue. Within the economic modernisation, necessary transformations may not conform to the interests of all actors involved, although, as this study makes clear, overall positive economic effects will be achieved. In order to foster deliberative and majority-supported decision-making, the initiation of dialogue between government, business and civil society is imperative. According to the results of this study, an ambitious modernisation of the economy would not only internalise external costs in accordance with the polluter pays principle, but would also bear positive effects on employment and economic growth. At the same time, skills training requirements increase. In summary, this study makes clear in numerous ways that an ambitious and well-instrumented ecological modernisation will not act as a deterrent to the economy, particularly over the medium to long-term, but will instead generate innovation and sustainability.



## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

1	Einführung.....	19
2	Umweltziele und Umweltinanspruchnahme.....	21
2.1	Zusammenfassung der wichtigsten Umweltziele .....	21
2.2	Überblick über die Umwelt- und Ressourceninanspruchnahme der Wirtschaftsbereiche.....	25
2.2.1	Primärenergieverbrauch (PEV).....	26
2.2.2	Treibhausgasemissionen (THG).....	28
2.2.3	Wassereinsatz und Abwasser .....	30
2.2.4	Siedlungsfläche .....	32
2.3	Zwischenfazit .....	32
3	Erfolgsfaktoren ökologischer Modernisierungsstrategien.....	34
3.1	Zeitstrategien .....	34
3.1.1	Lernkurveneffekte .....	36
3.1.2	Windows of opportunity .....	36
3.1.3	Transition management.....	37
3.2	Instrumentierung .....	38
3.2.1	Internalisierung externer Kosten, Preissignale.....	38
3.2.2	Innovationsanreize.....	39
3.2.3	Beseitigung von Hemmnissen .....	40
3.3	Maßnahmen zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit.....	40
3.3.1	Internationale Wettbewerbsfähigkeit und Umweltregulierung .....	41
3.3.2	Maßnahmen .....	44
4	Ökonomische Rahmenbedingungen der ökologischen Modernisierung in Deutschland.....	45
4.1	Wirtschaftliche Bedeutung der Sektoren und ihre Einbindung in Wertschöpfungsketten.....	45
4.1.1	Die wirtschaftliche Bedeutung der Sektoren .....	45
4.1.2	Einbindung der Sektoren in die Wertschöpfungsketten der Volkswirtschaft .....	53
4.2	Außenwirtschaftliche Verflechtung .....	57
4.3	Anpassungsfähigkeit der Sektoren an die Herausforderungen der ökologischen Modernisierung .....	59

4.3.1	Anpassungsfähigkeit des Kapitalstocks .....	59
4.3.2	Anpassungsfähigkeit der Produkte und Produktionsprozesse.....	64
4.3.3	Anpassungsfähigkeit an die Qualifikationsbedarfe der ökologischen Modernisierung .....	67
4.4	Schwerpunktsektoren im Rahmen einer ökologischen Modernisierung .....	69
5	Realisierung von First-Mover-Vorteilen im Kontext der ökologischen Modernisierung.....	72
5.1	Einleitung .....	72
5.2	Faktoren zur Abschätzung auf Lead-Märkten basierender First-Mover-Vorteile .....	73
5.2.1	Technologische Leistungsfähigkeit .....	73
5.2.2	Qualität der Nachfrage .....	74
5.2.3	Innovationsfreundliche Regulierung .....	75
5.2.4	Verlagerungsrelevante Aspekte im Umfeld .....	75
5.3	Bewertung der First-Mover-Vorteile Deutschlands anhand von Lead Markt- Faktoren.....	76
5.3.1	Technologische Leistungsfähigkeit .....	76
5.3.2	Qualität der Nachfrage .....	79
5.3.3	Innovationsfreundliche Regulierung .....	82
5.3.4	Technologisches Umfeld.....	82
5.4	Internationale Fallbeispiele zur Umsetzung von First-Mover-Vorteilen .....	83
5.4.1	Einleitung .....	83
5.4.2	Fallstudie China .....	84
5.4.3	Fallstudie USA .....	89
5.4.4	Fallstudie Japan .....	93
5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	97
6	Volkswirtschaftliche Wirkungen ökologischer Modernisierungsstrategien in den Fokusbereichen .....	98
6.1	Erneuerbare Energien.....	98
6.1.1	Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung .....	98
6.1.2	Energiewirtschaftliche Kennzahlen der Szenarien .....	99
6.1.3	Erläuterungen zur Modelltechnik .....	102
6.1.4	Ökonomische Impulse des Ausbaus der erneuerbaren Energien .....	104
6.1.5	Ökonomische Wirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien .....	106
6.1.6	Sensitivitätsrechnungen .....	108
6.1.7	Sektorale Strukturwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien.....	112
6.2	Energieeffizienz .....	113
6.2.1	Ziele im Bereich der Energieeffizienz.....	114

6.2.2	Ökonomische Annahmen und Kennziffern für Szenarien zur Steigerung der Energieeffizienz .....	115
6.2.3	Eingesparte Energie und Verminderung Treibhausgasemissionen.....	120
6.2.4	Ökonomische Impulse der Steigerung der Energieeffizienz in der Basisvariante .....	123
6.2.5	Ökonomische Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz in der Basisvariante .....	125
6.2.6	Sektorale Strukturwirkungen.....	126
6.2.7	Sensitivitätsrechnungen .....	128
6.3	Nachhaltiger Verkehr .....	132
6.3.1	Einleitung .....	132
6.3.2	Modellierung der Auswirkungen eines klimafreundlicheren Verkehrs.....	137
6.3.3	Investitionen in klimafreundlichen Verkehr .....	139
6.3.4	Gesamtwirtschaftliche Effekte des klimafreundlichen Verkehrs bis 2030 .....	142
6.3.5	Weitergehende Entwicklungen im Verkehrsbereich bis 2050.....	145
6.4	Ressourceneffizienz .....	147
6.4.1	Einleitung .....	147
6.4.2	Perspektive 2020: Verdoppelung der Rohstoffproduktivität durch Verstärkung des Recyclings .....	152
6.4.3	Perspektive 2030: Verdreifachung der Rohstoffproduktivität durch Steigerung des Rohstoffeffizienz in der Produktion .....	163
6.5	Strategien und innovative Ansätze auf internationaler Ebene.....	167
6.5.1	Erneuerbare Energien.....	167
6.5.2	Energieeffizienz .....	174
6.5.3	Ressourceneffizienz.....	179
6.5.4	Mobilität .....	186
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	190
8	Quellenverzeichnis.....	195

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anteile ausgewählter Sektoren am gesamten inländischen Primärenergieverbrauch sowie entsprechende Primärenergieintensitäten in Deutschland 2007 .....	26
Abbildung 2:	Anteile ausgewählter Gütergruppen am kumulierten Primärenergieverbrauch sowie entsprechende Primärenergieintensitäten in Deutschland 2007 .....	27
Abbildung 3:	Anteile ausgewählter Sektoren an den direkten Treibhausgasemissionen im Inland sowie entsprechende Emissionsintensitäten in Deutschland 2007 .....	28
Abbildung 4:	Anteile ausgewählter Gütergruppen an den kumulierten Treibhausgasemissionen der letzten Verwendung mit Vorleistungen aus dem In- und Ausland sowie entsprechende Emissionsintensitäten in Deutschland 2007 .....	29
Abbildung 5:	Anteile ausgewählter Sektoren am Wassereinsatz sowie entsprechende Wasser-Intensitäten in Deutschland 2007.....	30
Abbildung 6:	Anteile ausgewählter Sektoren am gesamten Abwasser sowie entsprechende Abwasser-Intensitäten in Deutschland 2007 .....	31
Abbildung 7:	Siedlungsflächennutzung und Siedlungsflächenintensitäten in Deutschland 2008.....	32
Abbildung 8:	Handelsintensitäten der deutschen Wirtschaftsbereiche für 2008.....	58
Abbildung 9:	Zusammenhang von Handelsintensität, Energiekostenintensität und Produktionswert für das produzierende Gewerbe in Deutschland 2008.....	70
Abbildung 10:	Patentdynamiken in verschiedenen Bereichen von Öko-Innovationen (1991=100, weltweit).....	77
Abbildung 11:	Patentanteil führender Anbieterländer von Öko-Technologien (in Prozent; Zahlen von 2003 bis 2007 aggregiert).....	78
Abbildung 12:	Spezialisierung der Patentanmeldungen führender Ländern für verschiedene Öko-Technologien (gemessen als RPA-Wert, Erläuterungen im Text) .....	79
Abbildung 13:	Nachhaltigkeitsindex (normiert) für eine Auswahl von Industrie- und Schwellenländern.....	80
Abbildung 14:	Technologische Reputation als Index für Transfervorteil (normiert) für eine Auswahl von Industrie- und Schwellenländern .....	81
Abbildung 15:	Anteil der FuE-intensiven Exporte am BIP .....	82
Abbildung 16:	Relative Comparative Advantage (RCA) für FuE-intensive Technologien .....	83
Abbildung 17:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und seiner Komponenten im Szenario 2011 A nach Nitsch et al. (2012).....	100
Abbildung 18:	Struktur des Modells SEEEM.....	103

Abbildung 19:	Sektorale Verteilung der Beschäftigungseffekte in der Variante “Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte” - Gesamter Effekt = 100 Prozent.....	112
Abbildung 20:	Sektorale Verteilung der durch die Beschleunigung der Energieeffizienz ausgelösten Produktionswirkungen im Zeitraum 2030 bis 2050 – Basisvariante Produktionswirkungen insgesamt = 100 .....	127
Abbildung 21:	Entwicklung der CO2-Emissionen des Handlungsbereiches Verkehr in Europa von 2010 bis 2050.....	133
Abbildung 22:	Entwicklung des Verkehrsaufkommens und der Treibhausgasemissionen im Güter- und Personenverkehr bis zum Jahr 2030, ohne (Basis) bzw. mit Vermeidungsmaßnahmen (Szenario), alle Werte normiert (2005=100).....	136
Abbildung 23:	Wechselwirkungen verschiedener Modellvariablen im makroökonomischen Modul von ASTRA.....	138
Abbildung 24:	Umsetzung der Maßnahmen zur klimafreundlichen Gestaltung des Verkehrs im makroökonomischen Modul von ASTRA .....	139
Abbildung 25:	Verteilung der durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in den Jahren 2012, 2020 und 2030 induzierten Investitionen auf die Wirtschaftszweige in Deutschland.....	141
Abbildung 26:	Verteilung des durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in Deutschland zusätzlich verursachten Konsums auf die Wirtschaftszweige .....	142
Abbildung 27:	Einfluss der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr auf die Veränderung von Deutschlands Bruttowertschöpfung (BWS) und Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Vergleich zum Basis-Szenario über den Zeitraum 2010 bis 2030.....	143
Abbildung 28:	Verteilung der durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in den Jahren 2012, 2020 und 2030 zusätzlich generierten Bruttowertschöpfung auf die Wirtschaftszweige in Deutschland .....	143
Abbildung 29:	Veränderung der Beschäftigung im Zeitraum 2010 bis 2030 aufgrund der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in Deutschland .....	144
Abbildung 30:	Verteilung der durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in den Jahren 2012, 2020 und 2030 generierten Veränderungen der Beschäftigung auf die Wirtschaftszweige .....	145
Abbildung 31:	Rohstoffproduktivität und Wirtschaftswachstum in Deutschland, 1994 bis 2010 (1994=100) .....	148
Abbildung 32:	Beschäftigungswirkung der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis 2020 nach Wirtschaftszweigen differenziert .....	161

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Produktionswerte 2000 und 2009 in jeweiligen Preisen .....	48
Tabelle 2:	Bruttowertschöpfung 2000 und 2009 in jeweiligen Preisen .....	50
Tabelle 3:	Erwerbstätige 2005 und 2009.....	52
Tabelle 4:	Durch eine Einheit Endnachfrage ausgelöste gesamte Produktionseffekte 2000 und 2007.....	55
Tabelle 5:	Nutzungsdauer des Kapitalstocks (Anlagevermögen) in den Jahren 2000 und 2007.....	61
Tabelle 6:	Modernitätsgrad des Kapitalstocks (Ausrüstungen) in den Jahren 2000 und 2008.....	63
Tabelle 7:	FuE -Intensitäten im Verarbeitenden Gewerbe in den Jahren 2007 und 2009 .....	66
Tabelle 8:	Überblick zur Bedeutung von einzelnen Ländern beim weltweiten Handel mit Umweltschutzgütern.....	84
Tabelle 9:	Ausgewählte Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung .....	99
Tabelle 10:	Energetische Kenngrößen des Szenarios 2011 A .....	100
Tabelle 11:	Anteile der erneuerbaren Energien an den Komponenten des Endenergieverbrauchs im Szenario 2011 A.....	101
Tabelle 12:	Installierte Stromerzeugungskapazitäten erneuerbarer Energien im Szenarienvergleich zwischen 2011 A und 2011 THG95 in GW.....	102
Tabelle 13:	Verringerung der CO2-Emissionen im Szenario 2011 A.....	102
Tabelle 14:	Impulse des Ausbaus erneuerbarer Energien – Basisvariante in Milliarden Euro in Preisen von 2000 pro Jahr.....	106
Tabelle 15:	Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien – Basisvariante Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Nullszenario .....	107
Tabelle 16:	Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien – Variante Beeinträchtigung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000. Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Nullszenario .....	109
Tabelle 17:	Wirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien – Variante „Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte“ Entstehung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Nullszenario .....	109
Tabelle 18:	Impulse des Ausbaus erneuerbarer Energien – THG95 in Milliarden Euro in Preisen von 2000 pro Jahr.....	110
Tabelle 19:	Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien – Variante THG95 Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Nullszenario .....	111

Tabelle 20:	Strukturdaten des deutschen Wohngebäudebestandes im Jahr 2009 (Jahresende).....	115
Tabelle 21:	Modernisierungsraten im Referenz- und im Modernisierungsszenario in Prozent .....	117
Tabelle 22:	Differenz der modernisierten Wohnfläche zwischen Modernisierungsszenario und Referenzszenario .....	118
Tabelle 23:	Endenergieeinsparung im Modernisierungsszenario gegenüber dem Referenzszenario für private Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie .....	121
Tabelle 24:	Treibhausgasminderung im Modernisierungsszenario gegenüber dem Referenzszenario für private Haushalte, GHD und Industrie; in Millionen t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten.....	122
Tabelle 25:	Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz und eingesparte Energiekosten - Differenz zwischen Modernisierungsszenario und Referenzszenario in Mill. Euro in Preisen von 2000.....	123
Tabelle 26:	User cost of capital und eingesparte Energiekosten für die energetische Sanierung von Wohngebäuden .....	124
Tabelle 27:	Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz - Basisvariante Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Referenzszenario .....	125
Tabelle 28:	Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Kürzere Amortisationszeiten“ Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Referenzszenario .....	129
Tabelle 29:	Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Geringere Energieeinsparerefolge“ Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Referenzszenario .....	130
Tabelle 30:	Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Höhere Investitionskosten“ Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Referenzszenario .....	131
Tabelle 31:	Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte“ Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent* gegenüber dem Referenzszenario .....	131
Tabelle 32:	Vergleich von Transportleistungen und damit verbundenen CO <sub>2</sub> -Emissionen im Straßenverkehr in Deutschland und der EU im Zeitraum 2010 bis 2050 .....	133
Tabelle 33:	Kosten der Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr.....	140

Tabelle 34:	Gegenüberstellung des für ausgewählte Rohstoffe für Deutschland berechneten kumulativen Rohstoffaufwandes und des Rohstoffeinsatzes (DMI) in Rohstoffäquivalenten für relevante Rohstoffgruppen in 2009 .....	152
Tabelle 35:	Beitrag relevanter Rohstoffgruppen zur angestrebten Reduktion des kumulierten Rohstoffaufwandes im Jahr 2020, einschließlich Wert der Rohstoffe und Kosten des zusätzlichen Recyclings .....	157
Tabelle 36:	Veränderungen von Produktion, Wertschöpfung, Importen und Beschäftigung als Reaktion auf die Steigerung der Rohstoffproduktivität durch verstärktes Recycling (Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen).....	159
Tabelle 37:	Arbeitsintensitäten und Importquoten der Wertschöpfungsketten für die Recyclingstrategien .....	162

## Abkürzungen

a.n.g.	anderweitig nicht genannt
AG	Arbeitsgemeinschaft
ASTRA	Assessment of Transport Strategies (Modell)
BAU	Business-as-usual (Szenario)
Bewegl.	Beweglicher
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BIS	Department for Business, Innovation and Skills
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BtL	Biomass to Liquid
BWS	Bruttowertschöpfung
Büromasch.	Büromaschinen
CBD	Convention on Biological Diversity
CCS	Carbon capture and storage
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CSP	Concentrated Solar Power / Solarthermie
Datentr.	Datenträger
DEFRA	Department for the Environment, Food and Rural Affairs
demea	Deutschen Materialeffizienzagentur
DERA	Deutschen Rohstoffagentur
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)
DL	Dienstleistung(en)
DMI	Direkter Materialinput
Druckerz.	Druckerzeugnisse
DSD	Dualen System Deutschland
DV	Datenverarbeitung
Elektriz.erz.	Elektrizitätserzeugung
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
En.	Energie

Ern.	Erneuerbare
EU	Europäische Union
EUR	Euro
FiT	Feed-in-Tariff / Einspeisevergütung
FuE	Forschung und Entwicklung
GBP	Britische Pfund
GgCO <sub>2</sub> -Äq.	Gigagramm CO <sub>2</sub> -Äquivalent
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GMH	Großes Mehrfamilienhaus
GW	Gigawatt
ha	Hektar
H.v.	Herstellung von
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
Interessenvertr.	Interessenvertretung
IT	Informationstechnik
IO-Tabelle	Input-Output-Tabelle
IW	Institut der deutschen Wirtschaft
Kfz	Kraftfahrzeug
Kirchl.	Kirchlicher
kWh	Kilowattstunde
LCEGS	Low Carbon Environmental Goods and Services
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
Materialeff.	Materialeffizienz
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
Mill.	Million
MFH	Mehrfamilienhaus
MoE	Ministry of Environment
Mrd.	Milliarden
NE-Metalle	Nicht-Eisen-Metalle
NeRess	Netzwerk Ressourceneffizienz
NiGEM	National Institute Global Econometric Model
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
Öff.	Öffentlich/e
Oh.	Ohne
ÖM	Ökologische Modernisierung

OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
opt.	Optischen
p.a.	per annum
PEV	Primärenergieverbrauch
PJ	Petajoule
Pkw	Personenkraftwagen
PPP	Public-Private-Partnership
PV	Photovoltaik
RCA	Revealed Comparative Advantage (Wettbewerbsvorteil im Außenhandel)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
REC	Renewable Energy Certificates
RGGI	Regional Green House Gas Initiative
RH	Reihenhaus
RPA	Relative Patent Advantage (Spezialisierung bei Patentanmeldungen)
RPS	Renewables Portfolio Standard
RWA	Relativer Welthandelsanteil
SEEEM	Sectoral Energy-Economic Econometric Model
T	Tonnen
Tabakerzeugn.	Tabakerzeugnisse
Tabakverarb.	Tabakverarbeitung
THG	Treibhausgase
TGP	Treasury Grant Program
TJ	Terajoule
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UK	United Kingdom
UMK	Umweltministerkonferenz des Bundes und der Länder
US	United States
USD	US-Dollar
Verm.	Vermietung
Vervielf.	Vervielfältigung
Verkehrsverm.	Verkehrsvermittlung
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
WIPO	World Intellectual Property Organization
WTO	Welthandelsorganisation

WWF                    World Wildlife Fund

WZ                     Wirtschaftszweigsystematik

## 1 Einführung

Der vorliegende Synthesebericht präsentiert die zentralen Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projektes „Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik“. Dazu erfolgt eine Zusammenfassung der zentralen Inhalte der im Projektverlauf erarbeiteten drei Zwischenberichte.

Wie bereits aus dem Titel des Forschungsprojektes deutlich wird, nimmt das Konzept einer ökologischen Modernisierung im Folgenden eine zentrale Rolle ein. In der Literatur zur ökologischen Modernisierung wird zwischen einem eng und einem weit gefassten Verständnis unterschieden (Jänicke 2000: 3). Im eng gefassten Verständnis wird ökologische Modernisierung als ökonomisch-technische Transformation verstanden, die auf die Förderung und Verbreitung inkrementeller und radikaler Innovationen zur Steigerung der Öko-Effizienz abzielt (Jänicke 2000: 3). In dem weiter gefassten Verständnis zielt eine ökologische Modernisierung (ÖM) im Sinne einer gesellschaftlichen Transformation, auf den Wandel von Lebensstilen, Konsumverhalten, Institutionen und Paradigmen als Teil einer ökologischen Restrukturierung (Jänicke 2000: 3). Die aus diesen Definitionen abgeleiteten Kernelemente einer ökologischen Modernisierung, die im Rahmen des Projektes Anwendung finden, lauten wie folgt:

- Ökologische Modernisierung aus wirtschaftlicher Sicht wird als systematische, wissensbasierte Verbesserung von Produktionsprozessen und Produkten interpretiert.
- Mit einer ökologischen Modernisierung eng verbunden sind flexible Kombinationen von Instrumenten und der Grundgedanke der Internalisierung von Umweltkosten.
- Ökologische Modernisierung ist ein innovationsbasierter Ansatz der Umweltpolitik, welcher auf technischen Wandel hin zu einer Verringerung der Umwelt- und Ressourcennutzung durch effizientere Verfahren und Produkte, aber auch auf umfassendere umweltfreundliche Innovationsmuster (organisatorische Innovationen, Politikinnovationen) setzt. Politikintegration und die umfassende Einbeziehung aller gesellschaftlichen Akteure spielen eine wichtige Rolle.

In den folgenden Kapiteln des Syntheseberichts wird zunächst (Kapitel 2) eine Sammlung von Umweltzielen vorgestellt, deren Erreichung notwendige Voraussetzung ist, um eine nachhaltige Entwicklung Deutschlands zu ermöglichen. Darüber hinaus wird ein Überblick über die Umweltinanspruchnahme der 15 Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Emissionen bzw. dem höchsten Ressourcenverbrauch gegeben. Damit wird der Fokus auf die Wirtschaftssektoren gelegt, die sowohl eine besondere Relevanz mit Blick auf die angestrebte Erreichung der vorgenannten Umweltziele haben, die gleichzeitig aber auch von einer ökologischen Modernisierungsstrategie besonders betroffen sein können.

Während sich hieraus erste Ansatzpunkte für eine ökologische Modernisierung in Deutschland ergeben, bedarf es der weiteren Präzisierung dieser Ansatzpunkte, um den politischen Handlungs- und Gestaltungsspielraum auszuleuchten. Dazu werden in den anschließenden Kapiteln zunächst die Erfolgsfaktoren ökologischer Modernisierungsstrategien (Kapitel 3) untersucht. Im Mittelpunkt stehen dabei Zeitstrategien, mögliche Instrumentierungen zur Internalisierung externer Kosten, zur Schaffung von Innovationsanreizen und der Beseitigung von Hemmnissen sowie Maßnahmen zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

In einem weiteren Schritt werden speziell die ökonomischen Rahmenbedingungen einer ökologischen Modernisierung in Deutschland untersucht (Kapitel 4). Hierbei geht es um die wirtschaftliche Bedeutung der Wirtschaftssektoren und ihre Einbindung in die

Wertschöpfungsketten, die außenwirtschaftliche Verflechtungen sowie die Anpassungsfähigkeit der Sektoren an die Herausforderungen einer Modernisierungsstrategie. Schließlich werden die Schwerpunktsektoren einer ökologischen Modernisierung näher beleuchtet.

Wichtiger Bestandteil einer ökologischen Modernisierungsstrategie ist die Realisierung von First-Mover-Vorteilen und die Schaffung von so genannten Lead-Märkten. Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 5 untersucht, welche Faktoren für die Möglichkeit der Realisierung von First-Mover-Vorteilen ausschlaggebend sind, wie Deutschland mit Blick auf diese Faktoren positioniert ist und welche Erkenntnisse sich aus erfolgreichen First-Mover-Strategien ableiten lassen.

In Kapitel 6 schließlich werden detaillierte modellgestützte Untersuchungen hinsichtlich der ökonomischen Wirkungen von Modernisierungsstrategien in den Fokusbereichen erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Rohstoffeffizienz sowie nachhaltige Mobilität durchgeführt. Diese werden ergänzt durch die Untersuchung erfolgreicher internationaler Vorreiterstrategien in den vier Fokusbereichen.

In Kapitel 7 schließlich werden die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und Schlussfolgerungen mit Blick auf die Gestaltung einer ökologischen Modernisierung gezogen.

## 2 Umweltziele und Umweltinanspruchnahme

### 2.1 Zusammenfassung der wichtigsten Umweltziele

Die im Folgenden zusammengestellten Umweltziele sind das Ergebnis einer Literaturstudie, die darauf abzielte insbesondere mittel- und langfristige Umweltziele herauszuarbeiten, deren Erreichung erforderlich ist, um eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Im Rahmen der Literaturstudie wurden sowohl relevante Politikstrategien als auch einschlägige wissenschaftliche Studien berücksichtigt. Die identifizierten Umweltziele sind Handlungsfeldern zugeordnet, die mit Blick auf die im Folgenden detailliert untersuchten Fokusbereiche erneuerbare Energien, Energie- und Ressourceneffizienz sowie nachhaltigem Verkehr von besonderer Relevanz erscheinen. Im Anschluss an die politischen Zielsetzungen sind die Umsetzungsalternativen aufgeführt (z. B. Einsatz erneuerbarer Energien), die ihrerseits teilweise noch einmal durch spezifische politische Zielsetzungen gestützt werden. Die Umweltziele die im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts weiter verfolgt werden, sind durch Unterstreichungen hervorgehoben.

#### Handlungsbereich Energie(versorgung)

Ziele: Klimaschutz und Senkung des Verbrauchs (primärer) Rohstoffe

1. Reduzierung der Treibhausgasemissionen (insgesamt) um mindestens 20 Prozent bis 2020 (gegenüber 1990) bzw. um 30 Prozent, sofern andere Staaten einen ihren Verantwortlichkeiten und Fähigkeiten entsprechenden Beitrag leisten (Europäische Kommission 2010; übergeordnetes Ziel; verbindliche Verpflichtung der Bundesregierung)
2. Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 Prozent/80 Prozent bis 2020/2050 (gegenüber 1990) (BMWi und BMU 2010; übergeordnetes Ziel; unverbindliche Absichtserklärung)
3. Senkung des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent bis 2020 und 50 Prozent bis 2050 gegenüber dem Jahr 2008 (BMWi und BMU 2010; übergeordnetes Ziel; unverbindliche Absichtserklärung).
  - Umsetzung: Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieträger
    - Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 20 Prozent bis 2020 gegenüber 1990 (Europäische Kommission 2010; verbindliche Verpflichtung der Bundesregierung).
    - Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 18 Prozent bis 2020 gegenüber dem Jahr 1990; danach: 30 Prozent bis 2030, 45 Prozent bis 2040, 60 Prozent bis 2050 (BMWi und BMU 2010; Absichtserklärung).
    - Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf 35 Prozent bis 2020; danach: 50 Prozent bis 2030, 65 Prozent bis 2040, 80 Prozent bis 2050 (BMWi und BMU 2010).
    - Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auf 10 Prozent bis 2020 gegenüber dem Jahr 1990 (Bundesregierung 2008b).

- Umsetzung: Verbesserung der Abwärmenutzung
  - Verdopplung des Anteils von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung bis 2020 auf etwa 25 Prozent (BMU 2007a; Teilziel zu oben genanntem Ziel).
- Umsetzung: Steigerung der Energieeffizienz von Kraftwerken
  - keine politischen Ziele
- Umsetzung: Neutralisierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes fossiler Kraftwerke (carbon capture and storage, CCS)
  - Umfassende CO<sub>2</sub>-Reduktion von Kohle- und Gaskraftwerken. CCS-Technik als Standardverfahren zur sicheren Abscheidung und Lagerung von CO<sub>2</sub> für alle neuen fossilen Kraftwerke ab spätestens 2020 (BMU 2008d; unverbindliche Absichtserklärung).

## Handlungsbereich Verkehr

Ziel: Klimaschutz

4. Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Verbrauchs von PKW auf 95 Gramm pro Kilometer nach 2012 (Europäische Kommission 2011).
5. Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr gegenüber 2005: -25 Prozent bis 2020, -40 Prozent bis 2030, -70 Prozent bis 2040 und -90 Prozent bis 2050. Anstieg des EE-Anteils im Verkehr von 75 Prozent bis 2050 („Dekarbonisierung“).
6. Rückführung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs (2008: 43,9 Mio. t) bis 2020 wieder auf das Niveau von 2005 (39,4 Mio. t) (UBA 2009b).
  - Umsetzung: Steigerung des Anteils von Biokraftstoffen
    - 20 Prozent-Anteil Biokraftstoffe im Kraftstoff zwecks Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 (BMU 2007a).
  - Umsetzung: Ausbau von Elektromobilität (auch Brennstoffzellenfahrzeuge)
    - Steigerung der Nutzung von Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen auf 1 Million bis 2020 und 6 Millionen bis 2030 (BMW i und BMU 2010).
  - Umsetzung: Energieeffiziente Antriebe (Verbrennungsmotoren, Hybride)
    - Senkung des Endenergieverbrauchs im Verkehrsbereich um rund 10 Prozent bis 2020 und rund 40 Prozent bis 2050 gegenüber dem Jahr 2005 (BMW i und BMU 2010; Absichtserklärung; Bedeutung hinsichtlich Effizienz abhängig von Entwicklung des Verkehrsaufkommens).
    - Reduktion der Gütertransportintensität (berechnet in Tonnenkilometer/preis-bereinigtes BIP) um 5 Prozent bis 2020 gegenüber dem Jahr 1999 (UBA 2009b; Empfehlung). Reduktion der Personentransportintensität (berechnet in Personenkilometer/preisbereinigtes BIP) um 20 Prozent bis 2020 gegenüber dem Jahr 1999 (Bundesregierung 2008b; Absichtsbekundung). Beide Teilziele bzgl. Transportintensität zusammen geben Aufschluss über Entwicklung des Verkehrsaufkommens in Abhängigkeit von der wirtschaftlichen Entwicklung. Werden außerdem Annahmen hinsichtlich des Wirtschaftswachstums getroffen, lässt sich mit Hilfe des

Energieverbrauchssenkungsziels die angestrebte Energieeffizienzsteigerung ermitteln.

- Umsetzung: Alternative Mobilitätskonzepte
  - keine politischen Ziele
- Umsetzung: Steigerung des Anteils Bahn/Schiffsverkehr
  - Steigerung des Anteils des Schienenverkehrs und der Binnenschifffahrt am Gütertransport auf 25 bzw. 14 Prozent bis 2015 (UBA 2009b).
- Senkung der verkehrsbedingten Lärmbelastigungen bis 2020: -20 Prozent im Flugverkehr, -30 Prozent im Straßenverkehr und -50 Prozent im Schienenverkehr.

Ziel: Senkung der Luftverunreinigung durch Verkehr

7. Beschränkung der Stickoxidemissionen im Straßenverkehr in DE ab 2010 auf 1,051 Mio. Tonnen

Ziel: Senkung des Flächenverbrauchs

8. Beschränkung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr auf maximal 30 ha (0 ha) pro Tag bis 2020 (2050). Im Idealfall sollte es langfristig gelingen, die tatsächliche Neuinanspruchnahme von Flächen weitgehend durch die erneute Nutzung vorhandener Flächen zu ersetzen (BMU 2007b).

### **Handlungsbereich Industrielle Produktion**

Ziel: Steigerung der Energieeffizienz

9. Kein unmittelbares Effizienzziel, aber: Senkung des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent bis 2020 und 50 Prozent bis 2050 gegenüber dem Jahr 2008 (BMWi und BMU 2010; übergeordnetes Ziel; unverbindliche Absichtserklärung).
  - Umsetzung: Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) und ihre Umsetzung in deutsches Recht mittels Ökodesign-Verordnung legt Benchmarks und Ziele hinsichtlich der Weiterentwicklung von Energieeffizienzstandards fest (Labeling). Betrifft eine Vielzahl von Investitions- und Konsumgütern in großen Stückzahlen.

Ziel: Verbesserung der Abwärmenutzung

10. Derzeit kein energiepolitisches Ziel, dennoch ist die Nutzung industrieller Abwärme zur Bereitstellung von Nutzwärme oder Strom ein zukünftig interessantes Handlungsfeld der Effizienzsteigerung. das bisher aber unzureichend adressiert wurde (IFEU 2010).
  - Umsetzung: Verbesserung der Abwärmenutzung mittels KWK
    - Verdopplung des Anteils von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung bis 2020 auf etwa 25 Prozent (BMU 2007a; Teilziel zu oben genanntem Ziel).
  - Umsetzung: Abstimmung (d. h. Koordination) von Abwärmeanbietern und -nachfragern

Ziel: Senkung des Verbrauchs (primärer) Rohstoffe (inkl. Frischwasser)

11. Verdoppelung der Ressourceneffizienz bzw. Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 (Bundesregierung 2002; Absichtserklärung).

12. Empfehlung des BMU (2008e): Faktor 2 = 300 kg Rohstoffeinsatz pro 1000 Euro Wertschöpfung als Mindestanforderung; mittelfristig Anstreben von Faktor 4 (= 150 kg/1000 Euro).

13. Entkoppelung von Ressourcenverbrauch und wirtschaftlichem Wachstum und Senkung des Materialeinsatzes auch in absoluten Zahlen (BMU 2008a).

- Umsetzung: Intensivierung betriebsinternen Recyclings
- Umsetzung: Senkung des Rohstoffverbrauchs bei der Fertigung von Produkten

Ziel: Steigerung des Anteils erneuerbarer Rohstoffe

- keine politischen Ziele

### **Handlungsbereich Bau-/Gebäudewirtschaft**

Ziel: Steigerung der Energieeffizienz

14. Senkung des Wärmebedarfs von Gebäuden um 20 Prozent gegenüber 2008 bis 2020 (BMW i und BMU 2010).

15. Senkung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden um rund 80 Prozent bis 2050 (BMW i und BMU 2010).

- Umsetzung: Wärmedämmung von Gebäuden
  - Steigerung der Sanierungsrate für Gebäude von derzeit jährlich weniger als 1 Prozent auf 2 Prozent des gesamten Gebäudebestandes (BMW i und BMU 2010).
  - Verpflichtung auf Niedrigstenergiehausstandard bei größeren energetischen Sanierungen bis 2020. Entwicklung der Wärmeversorgung von Neubauten bis 2020 weitgehend unabhängig von fossilen Energieträgern (BMU 2008b; Empfehlung).

Ziel: Senkung des Flächenverbrauchs

16. Beschränkung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr auf maximal 30 ha (0 ha) pro Tag bis 2020 (2050). Im Idealfall sollte es langfristig gelingen, die tatsächliche Neuinanspruchnahme von Flächen weitgehend durch die erneute Nutzung vorhandener Flächen zu ersetzen. (BMU 2007b)

### **Handlungsbereich Abfallbehandlung und Recycling**

Ziel: Reduzierung des Abfallaufkommens und Nutzung im Abfall enthaltener Rohstoffe

17. Vollständige und umweltverträgliche Verwertung des Siedlungsabfalls bis 2020 (UBA 2005).

18. Beendigung der oberirdischen Deponierung von Siedlungsabfällen bis 2020 (UBA 2005).

19. Verdoppelung der Ressourceneffizienz bzw. Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 (Bundesregierung 2002; Absichtserklärung).

20. Empfehlung des BMU (2008e): Faktor 2 = 300 kg Rohstoffeinsatz pro 1000 Euro Wertschöpfung als Mindestanforderung; mittelfristig Anstreben von Faktor 4 (= 150 kg/1000 Euro).

21. Entkoppelung von Ressourcenverbrauch und Wachstum und Senkung des Materialeinsatzes auch in absoluten Zahlen (BMU 2008e).

- Umsetzung: Steigerung Recyclingquoten
  - Recyclingquote von 65 Prozent von Siedlungsabfällen (Papier, Metall, Kunststoff und Glas) bis 2020 (BMU 2010b).
  - Stoffliche Verwertungsquote von 80 Prozent für Bau- und Abbruchabfälle bis 2020 (BMU 2010b).
- Umsetzung: Biologische Verwertung (oder thermische Verwertung) von Bio-Abfällen
  - Getrennte Sammlung von Bioabfällen bis 2015 (BMU 2010b).
  - Steigerung der Abfallmengen, die Kompostierung oder energetischer Verwertung zugeführt werden (Europäische Kommission 2005).

Ziel: Ausweitung der Anwendung von Recyclingquoten auf eine größere Zahl von Rohstoffen  
22. keine unmittelbaren politischen Ziele, aber implizit gegeben durch das Ziel zur Steigerung der (Primär-)Rohstoffproduktivität (siehe oben).

## 2.2 Überblick über die Umwelt- und Ressourceninanspruchnahme der Wirtschaftsbereiche

Im Folgenden wird analysiert, welche Wirtschaftssektoren eine besondere Relevanz für die Erreichung von Umweltzielen haben bzw. welche Sektoren von ökologischen Modernisierungsstrategien potenziell besonders betroffen sind. Dabei sind neben der wirtschaftlichen Bedeutung einzelner Sektoren (Kapitel 4.1) zwei Indikatoren von Interesse:

- Absolute Umweltinanspruchnahme: Welche Wirtschaftsbereiche weisen insgesamt besonders hohe Emissionen bzw. einen besonders hohen Ressourcenverbrauch auf? Diese Sektoren haben für die Erreichung ambitionierter Umweltziele eine überdurchschnittlich große Bedeutung.
- Relative Umweltinanspruchnahme („Umweltintensität“): Welche Sektoren benötigen eine hohe Umweltinanspruchnahme pro Euro Wertschöpfung? Diese Wirtschaftsbereiche sind von ÖM-bedingten Restriktionen oder Kostensteigerungen potenziell besonders betroffen.

Im Folgenden werden diese Indikatoren in Hinblick auf den Primärenergieverbrauch, die Treibhausgasemissionen sowie den Wasser- und Flächenverbrauch dargestellt, und zwar jeweils für die 15 Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Emissionen bzw. dem höchsten Ressourcenverbrauch. Dabei wird die absolute Umweltinanspruchnahme jeweils ausgedrückt als sektoraler Anteil an der gesamtwirtschaftlichen Umweltinanspruchnahme. Dagegen wird für die Berechnung der Umweltintensität die absolute sektorale Umweltinanspruchnahme in Bezug zur sektoralen Bruttowertschöpfung gesetzt. Grundlage hierfür bilden die Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (StaBuA 2010a). Um Datenverfügbarkeit und Vergleichbarkeit unterschiedlicher Tabellen sicher zu stellen wird meist das Jahr 2007 herangezogen.<sup>1</sup> Dieses Bezugsjahr wurde gewählt, da es im Vergleich zu den konjunkturellen Ausnahmejahren 2008 und 2009 eine robustere Datengrundlage bietet.

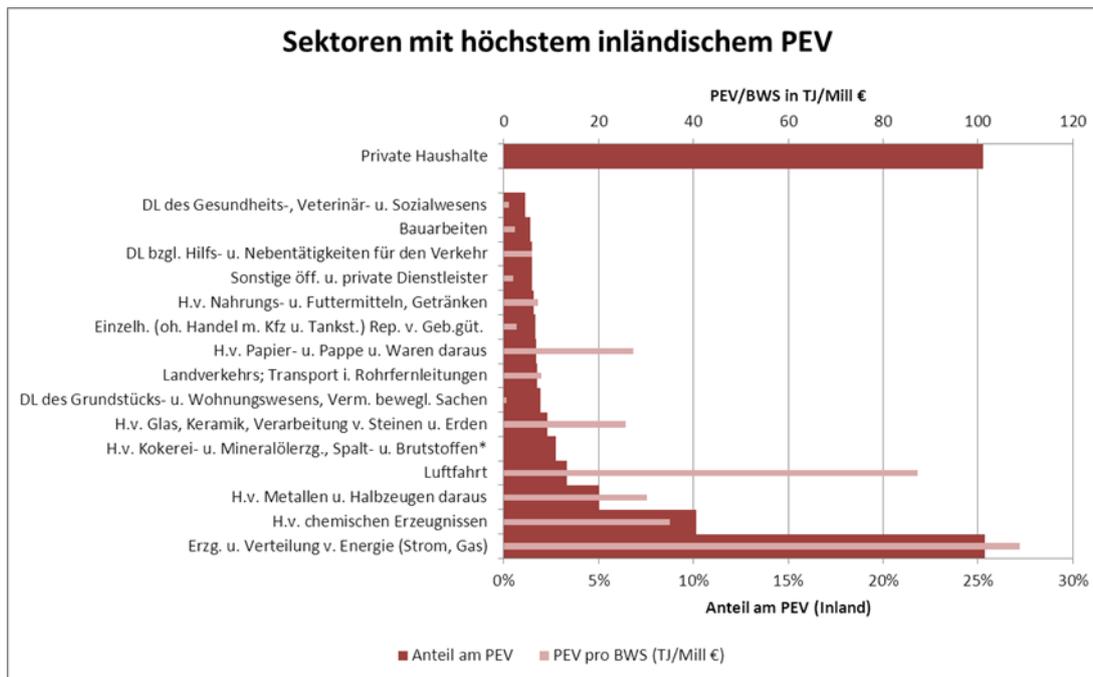
---

<sup>1</sup> Dazu wurde die Umweltökonomische Gesamtrechnung des Jahres 2010 verwendet. Mittlerweile liegt auch die Fassung des Jahres 2011 vor.

### 2.2.1 Primärenergieverbrauch (PEV)

Der Verbrauch von Primärenergie hat sowohl in Hinblick auf die Emissionen von Luftschadstoffen als auch auf die Ressourcennutzung eine hohe Relevanz. Der Primärenergieverbrauch (PEV) ist daher ein wichtiger Indikator für die Umweltinanspruchnahme verschiedener Sektoren. Dabei ist der PEV der Produktionsbereiche im Inland zu unterscheiden vom kumulierten PEV der letzten Verwendung nach Gütergruppen, bei dem zusätzlich zum direkten Primärenergieverbrauch auch der Energiegehalt der inländischen und der importierten Vorleistungen berücksichtigt wird.

Abbildung 1: Anteile ausgewählter Sektoren am gesamten inländischen Primärenergieverbrauch sowie entsprechende Primärenergieintensitäten in Deutschland 2007



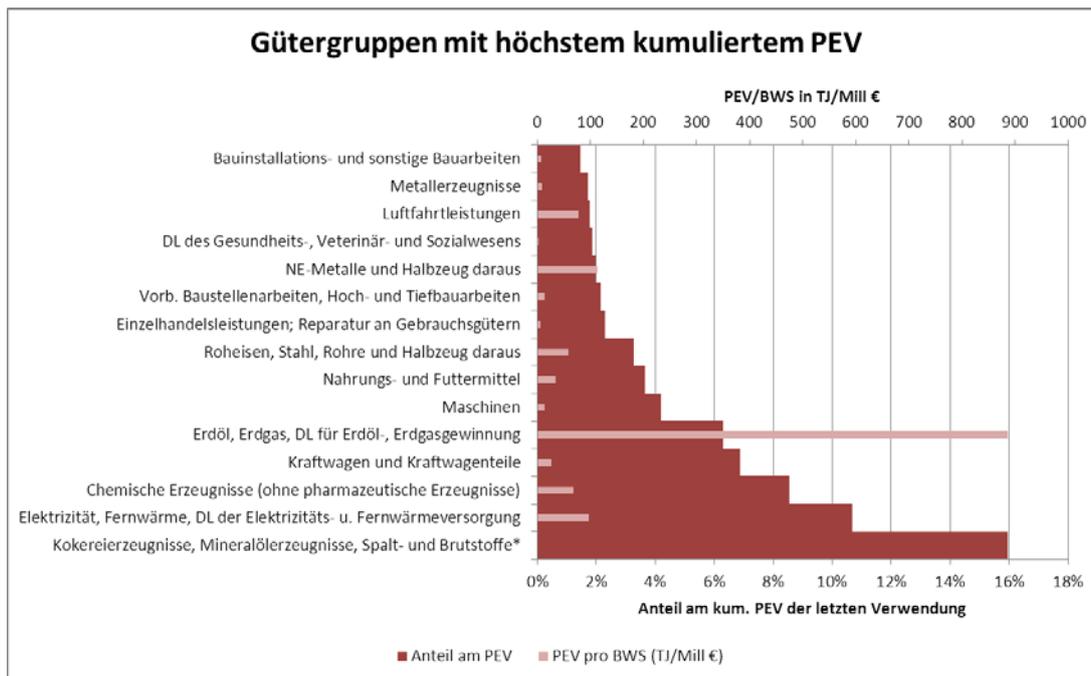
Kraftwerksverluste und Eigenverbrauch sind dem Energieerzeuger zugeordnet.\* Berechnung der PEV-Intensität nicht möglich.  
 Quelle: StaBuA (2010a) und Berechnungen des DIW Berlin

Abbildung 1 zeigt die 15 Sektoren mit den höchsten Anteilen am inländischen Primärenergieverbrauch sowie den PEV der privaten Haushalte für das Jahr 2007. Die Erzeugung und Verteilung von Energie (hier insbesondere Elektrizität) hat mit gut 25 Prozent mit Abstand den größten Anteil am PEV. Dies liegt auch daran, dass Kraftwerksverluste und Eigenverbrauch diesem Wirtschaftsbereich zugeordnet sind. Es folgt die chemische Industrie mit einem Anteil von 10 Prozent sowie die Herstellung von Metallen (insbesondere Roheisen und Stahl) mit 5 Prozent. Der PEV der privaten Haushalte liegt in der gleichen Größenordnung wie der des Energiesektors.

In Hinblick auf die sektorale Primärenergieintensität (dünne Balken) spielen erwartungsgemäß die energieintensiven Industrien eine besondere Rolle. Dazu zählen der Energiesektor, die

Herstellung von chemischen Erzeugnissen, von Metallen, Papier<sup>2</sup>, Glas und Keramik sowie die Verarbeitung von Steinen und Erden. Auffällig ist die sehr hohe Primärenergieintensität der Luftfahrt: der Flugverkehr weist einen hohen PEV bei vergleichsweise geringer Wertschöpfung auf. Die genannten Sektoren sind in ihrem Produktionsprozess von Maßnahmen zur Senkung des Primärenergieverbrauchs also vergleichsweise stark betroffen.

Abbildung 2: Anteile ausgewählter Gütergruppen am kumulierten Primärenergieverbrauch sowie entsprechende Primärenergieintensitäten in Deutschland 2007



\* Anteile ausgewählter Gütergruppen am kumulierten Primärenergieverbrauch sowie entsprechende Primärenergieintensitäten in Deutschland 2007

Abbildung 2 zeigt den kumulierten Primärenergieverbrauch der letzten Verwendung ausgewählter Gütergruppen in Deutschland mit Vorleistungen aus dem In- und Ausland für das Jahr 2007. Im Vergleich zur Darstellung des inländischen PEV haben Kokerei- und Mineralölerzeugnisse, Kraftfahrzeuge, Erdöl- und Erdgas sowie Maschinen ein höheres Gewicht am gesamten PEV. Dies liegt daran, dass diese Gütergruppen in besonders hohem Maß auf importierte Vorleistungen angewiesen sind. Der im Inland nicht „sichtbare“ Energieverbrauch der Verwendung solcher Güter sollte bei der Ausgestaltung ökologischer Modernisierungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Die Energieversorgung hat nach wie vor einen hohen, im Vergleich zu Abbildung 1 jedoch geringeren Anteil am Primärenergieverbrauch.

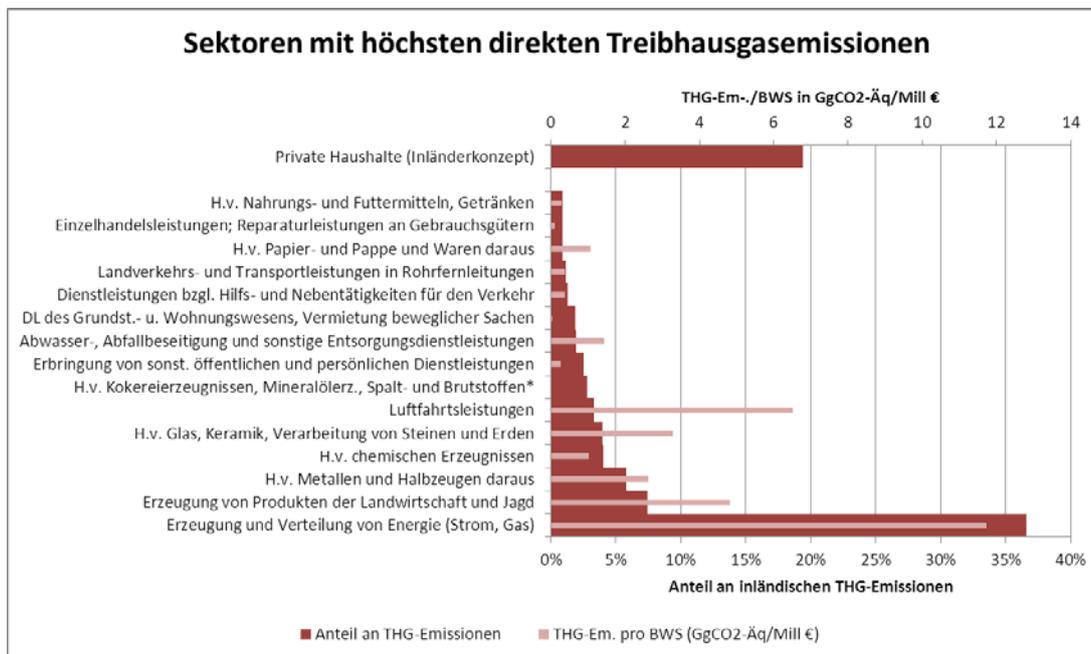
<sup>2</sup> Die Abbildung zeigt den aggregierten Wirtschaftsbereich „Herstellung von Papier- und Pappe und Waren daraus“. Wird die Herstellung von Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe separat betrachtet, ergibt sich eine noch höhere Primärenergieintensität von knapp 50 TJ/Mill €

Erdöl und Erdgas weisen eine herausragend hohe Primärenergieintensität<sup>3</sup> auf, da hier der Energiegehalt der importierten Güter besonders groß ist. Weitere Gütergruppen mit hohen Primärenergieintensitäten, die allerdings aufgrund ihres vergleichsweise geringen absoluten Energieverbrauchs nicht in der Abbildung auftauchen, sind forstwirtschaftliche Erzeugnisse (79 Tj/Mill €) sowie Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe (75 Tj/Mill €).

### 2.2.2 Treibhausgasemissionen (THG)

Auch bei den Treibhausgasen (THG) ist die Unterscheidung von direkten, inländischen Emissionen der Produktionsbereiche und kumulierten Emissionen der letzten Verwendung von Gütergruppen mit Vorleistungen aus dem In- und Ausland sinnvoll, da es sich um globale Schadstoffe handelt. Bei einigen Gütergruppen entstehen hohe indirekte Emissionen bei der Herstellung der importierten Güter in der übrigen Welt.

Abbildung 3: Anteile ausgewählter Sektoren an den direkten Treibhausgasemissionen im Inland sowie entsprechende Emissionsintensitäten in Deutschland 2007



Als Treibhausgase sind Kohlendioxid, Distickstoffoxid und Methan einbezogen. \*Berechnung der Emissionsintensität nicht möglich. Quelle: StaBuA (2010a) und Berechnungen des DIW Berlin.

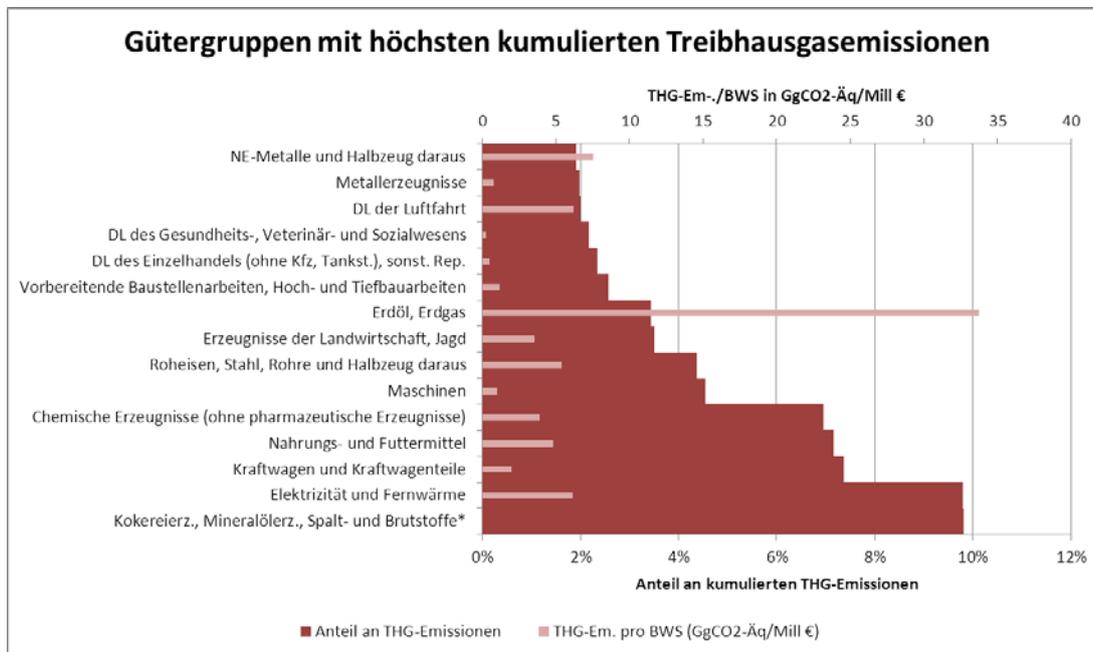
Abbildung 3 zeigt die 15 Sektoren mit den höchsten Anteilen an den direkten Treibhausgasemissionen sowie die Emissionen der privaten Haushalte für das Jahr 2007. Weitaus größter Emittent ist der Energiesektor (insbesondere die Elektrizitätserzeugung) mit 37 Prozent der gesamten THG-Emissionen. Er hat sogar ein noch größeres Gewicht als beim PEV (vgl. Abbildung 1). Der zweitwichtigste Sektor mit 7 Prozent ist die Landwirtschaft. In diesem Wirtschaftsbereich kommt es zu nennenswerten Emissionen, die nicht aus einem

<sup>3</sup> An dieser Stelle wird der Primärenergieverbrauch der Gütergruppen auf die Bruttowertschöpfung derjenigen Produktionsbereiche bezogen, die diese Gütergruppen im Wesentlichen herstellen. Dabei kann es jedoch zu statistischen Ungenauigkeiten kommen. In Abschnitt 2.2.2 wird analog vorgegangen.

Energieverbrauch resultieren, sondern durch biologische Prozesse freigesetzt werden (insbesondere Distickstoffoxid und Methan). Danach folgen – entsprechend ihren hohen Anteilen am Primärenergieverbrauch – die energieintensiven Industrien und die Luftfahrt. Private Haushalte sind für 19 Prozent der direkten Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Die sektorale Treibhausgasemissionsintensität wird ebenfalls vom Energiesektor angeführt, gefolgt von Luftfahrt und für die Landwirtschaft. Die hohe Emissionsintensität der Luftfahrt spiegelt ihre vergleichsweise geringe Wertschöpfung wider. Danach folgen die energieintensiven Industrien. Auch die Abwasser- und Abfallwirtschaft hat aufgrund von Methanemissionen aus biologischen Abbauprozessen eine vergleichsweise hohe Emissionsintensität.

Abbildung 4: Anteile ausgewählter Gütergruppen an den kumulierten Treibhausgasemissionen der letzten Verwendung mit Vorleistungen aus dem In- und Ausland sowie entsprechende Emissionsintensitäten in Deutschland 2007



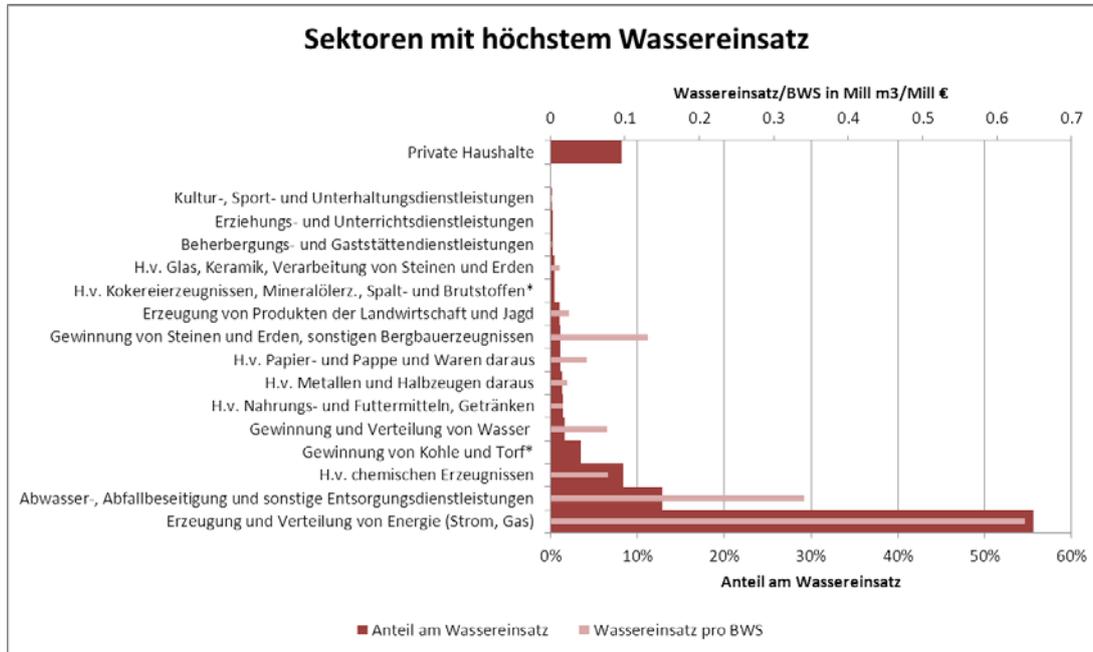
Als Treibhausgase sind Kohlendioxid, Distickstoffoxid und Methan einbezogen. \*Berechnung der Emissionsintensität nicht möglich. Quelle: StaBuA (2010a) und Berechnungen des DIW Berlin.

Bei Betrachtung der kumulierten Treibhausgasemissionen der letzten Verwendung mit Vorleistungen aus dem In- und Ausland (Abbildung 4) ändert sich – wie bereits bei der entsprechenden Betrachtung des Primärenergieverbrauchs – das Bild. Neben Elektrizität haben hier Kokerei- und Mineralölerzeugnisse, Kraftfahrzeuge, Nahrungs- und Futtermittel sowie Maschinen nennenswerte Anteile an den kumulierten Gesamtemissionen. Dies liegt an den hohen Emissionen, die bei der Herstellung der importierten Vorleistungsgüter in der übrigen Welt entstehen.

Erdöl und Erdgas weisen – ähnlich wie beim kumulierten PEV – eine herausragend hohe Treibhausgasemissionsintensität auf. Weitere Gütergruppen mit hohen THG-Emissionsintensitäten, die aufgrund ihrer vergleichsweise geringen absoluten Emissionen nicht in der Abbildung auftauchen, sind forstwirtschaftliche Erzeugnisse (knapp 8 GgCO<sub>2</sub>-Äq/Mill €) sowie Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe (knapp 5 GgCO<sub>2</sub>-Äq/Mill €).

### 2.2.3 Wassereinsatz und Abwasser

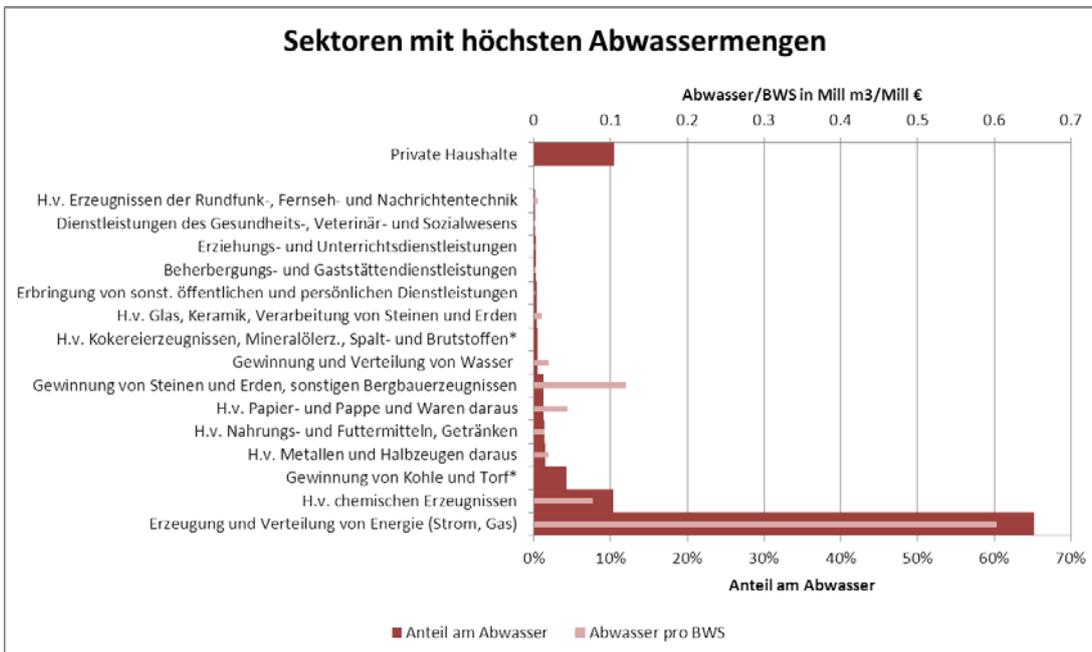
Abbildung 5: Anteile ausgewählter Sektoren am Wassereinsatz sowie entsprechende Wasser-Intensitäten in Deutschland 2007



\*Berechnung der Wasser-Intensität nicht möglich. Quelle: StaBuA (2010a) und Berechnungen des DIW Berlin.

Auch in Hinblick auf die Verteilung des Wassereinsatzes in der deutschen Volkswirtschaft hat der Energiesektor eine herausragende Relevanz (Abbildung 5). Er ist aufgrund des hohen Kühlwasserbedarfs der Elektrizitätserzeugung für 56 Prozent des gesamten Wassereinsatzes verantwortlich. Mit weitem Abstand folgen Abwasser- und Entsorgungsdienstleistungen, die chemische Industrie und der Kohlenbergbau. Private Haushalte verbrauchen nur rund 8 Prozent des gesamten Wassers. Die höchste Wasser-Intensität der Wertschöpfung weist ebenfalls der Energiesektor auf. Überdurchschnittlich hohe Wasser-Intensitäten gibt es bei der Gewinnung von Steinen und Erden sowie – wenig überraschend – im Entsorgungsbereich sowie bei der Wassergewinnung.

Abbildung 6: Anteile ausgewählter Sektoren am gesamten Abwasser sowie entsprechende Abwasser-Intensitäten in Deutschland 2007



\* Berechnung der Abwasser-Intensität nicht möglich. Der Abwasser- und Entsorgungssektor fehlt aus statistischen Gründen.  
Quelle: StaBuA (2010a) und Berechnungen des DIW Berlin

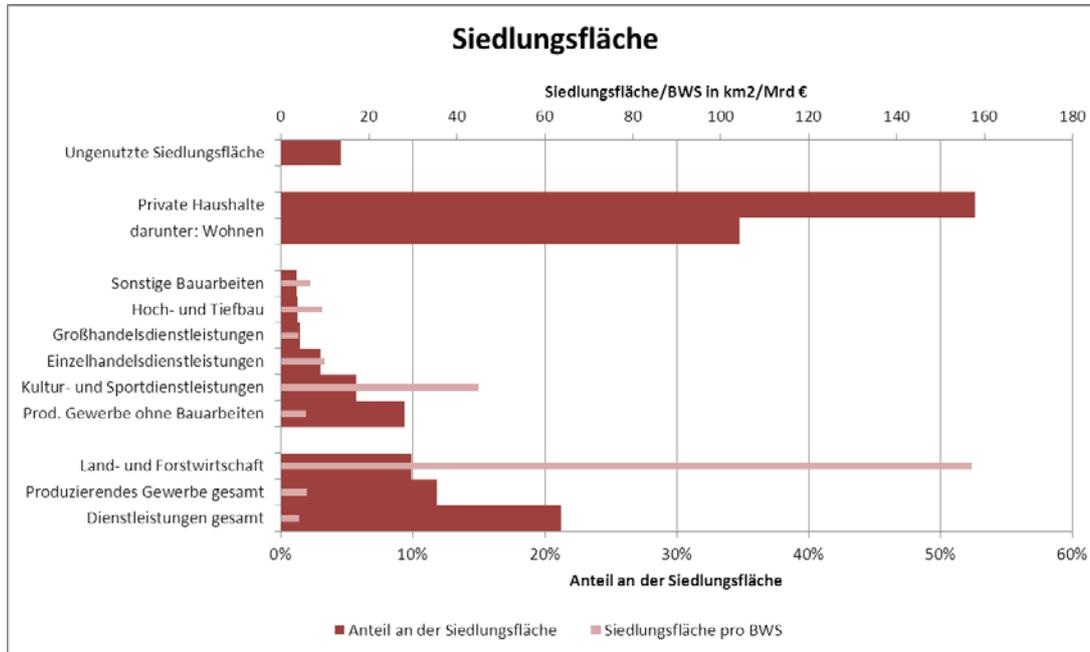
Bei der Verteilung der Abwassermengen zeigt sich eine ähnliche Verteilung wie beim Wassereinsatz. Im Vergleich zu Abbildung 5 fehlt aus statistischen Gründen allerdings der Abwasser- und Entsorgungssektor. Es ist anzunehmen, dass sich bei Abwasseranteilen und -intensitäten dieses Sektors ein ähnliches Bild wie beim Wassereinsatz ergibt.

Bei der Ausgestaltung ökologischer Modernisierungsmaßnahmen spielt jedoch nicht nur die hier dargestellte quantitative Verteilung des Wassereinsatzes und des Abwassers eine Rolle, sondern auch qualitative Aspekte, beispielsweise ob und mit welchem Aufwand das eingesetzte Wasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt werden kann. So mag der Einsatz von Kühlwasser im Kraftwerksbereich und die dort anfallende Abwassermenge zwar quantitativ äußerst relevant sein; es ist aber davon auszugehen, dass beispielsweise in der chemischen Industrie, bei der Metallbearbeitung oder im Bergbau deutlich problematischere Abwässer entstehen.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Vgl. Hosang 1998, insbesondere Kapitel 4.8.

## 2.2.4 Siedlungsfläche

Abbildung 7: Siedlungsflächennutzung und Siedlungsflächenintensitäten in Deutschland 2008



Die Flächen der Nutzgärten sind dem Konsum der privaten Haushalte zugeordnet. Quelle: StaBuA (2010a) und Berechnungen des DIW Berlin.

Abbildung 7 zeigt die Verteilung der Flächennutzung in Deutschland im Jahr 2008<sup>5</sup> für aggregierte Produktionsbereiche sowie ausgewählte Sektoren und für die privaten Haushalte. Privathaushalte sind für mehr als die Hälfte der Flächennutzung in Deutschland verantwortlich. Der größte Teil dieser Fläche wird für Wohnzwecke verwendet. Unter den volkswirtschaftlichen Produktionsbereichen haben Dienstleistungen mit 21 Prozent den höchsten Anteil, gefolgt vom produzierenden Gewerbe und der Land- und Forstwirtschaft. Innerhalb des Dienstleistungsbereiches weisen Kultur- und Sportdienstleistungen, Einzelhandels- und Großdienstleistungen nennenswerte Einzelbeiträge auf.

Bezieht man den Flächenverbrauch auf die Bruttowertschöpfung, so ergibt sich ein umgekehrtes Bild. Die Land- und Forstwirtschaft ist weit überproportional flächenintensiv, wohingegen das produzierende Gewerbe und die Dienstleistungen sehr geringe Flächenintensitäten aufweisen. Insofern wäre die Landwirtschaft von einer ÖM-bedingten Flächenverknappung bzw. Flächenverteuerung vergleichsweise stark betroffen.

## 2.3 Zwischenfazit

Eine ökologische Modernisierungsstrategie beeinflusst die sektorale Struktur der deutschen Volkswirtschaft, da sie die Wirtschaftsbereiche in unterschiedlichem Umfang positiv und

<sup>5</sup> Im Gegensatz zu den vorher genannten Aspekten der Umwelt- und Ressourceninanspruchnahme der Wirtschaftsbereiche liegen konsistente Daten zur Siedlungsflächennutzung nicht für das Jahr 2007, sondern für 2008 vor.

negativ berührt. Die Stärke der Auswirkung auf die Sektoren wird dabei zum einen durch die Ausgestaltung der Modernisierung, zum anderen durch die Ambitioniertheit der zu erreichenden Umweltziele sowie die absolute und relative Umweltinanspruchnahme der einzelnen Sektoren beeinflusst.

Vor diesem Hintergrund wurden in diesem Kapitel mittel- und langfristige Umweltziele vorgestellt, deren Erreichung erforderlich ist, um eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen. Darüber hinaus wurde die potenzielle Betroffenheit einzelner Sektoren anhand ihrer absoluten und relativen Umweltinanspruchnahme diskutiert. Damit ergibt sich ein erster Eindruck der möglichen sektoralen Ansatzpunkte sowie der sektoralen Betroffenheit einzelner Wirtschaftsbereiche durch ökologische Modernisierungsstrategien, der im Folgenden weiter ausgearbeitet wird (siehe Kapitel 4) und wesentliche Hintergrundinformationen und Anknüpfungspunkte für die zu untersuchenden ökologischen Strategien in den Fokusbereichen (siehe Kapitel 6) liefert.

### 3 Erfolgsfaktoren ökologischer Modernisierungsstrategien

Die Erfolgsaussichten einer ökologischen Modernisierungsstrategie und insbesondere auch die dabei anfallenden Kosten hängen nicht nur von den angestrebten Zielen, sondern auch von der Ausgestaltung und dem Timing der Maßnahmen sowie der Instrumentenwahl ab. Die Gefahr, dass eine ökologische Modernisierung mit negativen Folgekosten in Form eines Verlustes an internationaler Wettbewerbsfähigkeit und Standortqualität einhergeht, kann durch geeignete Politiken verringert werden. Bei einer geeigneten Ausgestaltung und einer erfolgreichen Umsetzung der ökologischen Modernisierung sind zugleich positive Wirkungen für die wirtschaftliche Entwicklung wie für die Umwelt möglich.

#### 3.1 Zeitstrategien

Unter dem Blickwinkel möglicher Kostentreiber und Kostendämpfer einer Ausgestaltung von ökologischen Modernisierungsstrategien kommt der Entstehung und Durchsetzung von Innovationen eine wichtige Rolle zu. Innovationen sind neben der Beeinflussung der Handlungsmuster von Konsumenten einer der zentralen Ansatzpunkte für die Gestaltung einer ökologischen Modernisierung. Insbesondere umweltentlastende oder umweltschonende Investitionen werden als Optionen für eine kostengünstige ökologische Umgestaltung gesehen, da sie Chancen für eine Ausschöpfung von Synergieeffekten bieten, also sowohl die Umweltsituation wie auch die ökonomische Situation verbessern.<sup>6</sup>

Unter umweltentlastenden oder umweltschonenden Innovationen, die im Folgenden verkürzt als Umweltinnovationen bezeichnet werden, werden im Allgemeinen technische (und organisatorische) Neuerungen verstanden, die – unter Einbeziehung von erwarteten Schadenskosten, Schadensvermeidungskosten und Veränderungen von Kosten anderer Art (Material-, Energiekosten) sowie Erlösverbesserungen – zu geringeren spezifischen Nettokosten der Schadensvermeidung führen. Damit werden nicht nur Innovationen einbezogen, die bei geringeren oder gleichen erwarteten Schadenskosten die Schadensvermeidungskosten reduzieren, sondern auch solche, die unter dieser Bedingung Kosten anderer Art (Material-, Energiekosten) reduzieren oder zu Erlösverbesserungen führen.<sup>7</sup> Dies kann geschehen, indem die gleiche Umweltentlastung durch eine Innovation zu geringeren Kosten möglich wird, als es bisher der Fall war, oder indem zu gleichen Kosten eine stärkere Umweltentlastung erreicht werden kann.

Eine wesentliche Besonderheit von Umweltinnovationen gegenüber anderen Innovationen ergibt sich aus dem öffentlichen-Gut-Charakter von Umweltgütern.<sup>8</sup> Könnten Umweltgüter mit den „richtigen“ Preisen versehen werden, würden sich Umweltinnovationen in der Theorie nicht von anderen Innovationen unterscheiden; die Markteinführung einer Neuerung wäre dann der 'Beweis' für ihre 'Nützlichkeit'. Da eine Regulierung, die zu den richtigen Preisen führt, praktisch nicht möglich ist, muss die Nützlichkeit von Neuerungen zur Umweltentlastung in der Definition besonders hervorgehoben werden. Ein wichtiges Charakteristikum von

---

<sup>6</sup> Für eine Diskussion der Möglichkeiten einer innovationsorientierten Umweltpolitik vgl. z. B. Blazejczak et al. 1999.

<sup>7</sup> Prinzipiell wird mit einer solchen allgemeinen Definition auch möglichen Verschiebungen von Umweltbelastungen in medialer Hinsicht sowie in Raum und Zeit Rechnung getragen.

<sup>8</sup> Vgl. z. B. Klemmer et al. 1999, Rennings 2000, Jaffe et al. 2005.

Innovationen zum Schutz der Umwelt im Vergleich zu anderen (herkömmlichen) Innovationen ist also ihre sogenannte doppelte Externalität (Innovationsexternalität sowie Umweltexternalität).

Auch die Langfristigkeit der Perspektive und die damit verbundenen Unsicherheiten<sup>9</sup> werden gelegentlich als Besonderheiten von Umweltinnovationen genannt. Diskutiert wird auch eine Unterscheidung zwischen inkrementellen, durchschlagenden und radikalen Innovationen, eine Unterscheidung die nicht nur für Umweltinnovationen relevant ist. Inkrementelle Innovationen steigern die Effizienz und verändern die Anwendungsmöglichkeiten bestehender Produkte und Anlagen. Durchschlagende oder disruptive Innovationen (Christensen 1997) ändern einzelne Produkte und Verfahrensschritte, ohne jedoch erhebliche Teile früherer Investitionen eines Unternehmens obsolet werden zu lassen. Radikale Innovationen machen einen wesentlichen Teil der bisherigen Investitionen eines Unternehmens (bzw. einer Gesellschaft) in Wissen und Fähigkeiten, Verfahren, Produkte und Anlagen obsolet. Eine ökonomische Folge von solchen radikalen Innovationen ist unter Umständen, dass sunk costs zuvor getätigter Investitionen wirksam werden. Soweit die These eines eher radikalen oder durchschlagenden Charakters von Umweltinnovationen zutrifft, ergeben sich daraus besondere Anforderungen für eine auf Innovationen setzende ökologische Modernisierungspolitik.

In der Innovationsforschung wird zunehmend das Prozesshafte bei der Entstehung und Verbreitung von Innovationen betont.<sup>10</sup> Diese Betrachtungsweise von Innovationen als Prozess trägt der Tatsache Rechnung, dass Innovationen keine plötzlichen, diskreten Ereignisse sind, sondern die Folge zielgerichteter Entwicklungsarbeit und dass sowohl die Entstehung wie auch die Verbreitung von technischen Neuerungen in verschiedenen Phasen verläuft. Die Invention als erste Phase des Innovationsprozesses ist durch die Schaffung neuen Wissens, welches die Menge der Produktionsmöglichkeiten erweitert, gekennzeichnet. Der erste erfolgreiche Einsatz einer Invention am Markt wird als Innovation bezeichnet. Hierzu zählt die erstmalige Anwendung einer neuen Produktionstechnologie oder die Markteinführung eines neuen Produktes. Der ökonomische Erfolg einer Innovation zeigt sich in der dritten Phase, der Diffusion. In dieser Phase verbreitet sich die neue Technologie oder das neue Produkt durch Kauf, Adaption oder Imitation in der Wirtschaft.

Diese – unter anderem aus der evolutorischen Ökonomik<sup>11</sup> gespeiste – Sichtweise des Innovationsprozesses unterstreicht die Bedeutung des Faktors Zeit bei der Beeinflussung und Gestaltung von Innovations- und Modernisierungsstrategien. Ein wichtiger Einflussfaktor für

---

<sup>9</sup> Die hier vorgeschlagene Definition von Umweltinnovationen kann Unsicherheiten berücksichtigen, indem sie in Form von Erwartungswerten formuliert wird. Einem umfassenden Vorsichtskonzept wird sie dennoch nicht gerecht.

<sup>10</sup> Vgl. zum Folgenden auch DIW et al. 2007.

<sup>11</sup> In der evolutorisch geprägten Innovationsforschung wird der Innovationsprozess in Analogie zur biologischen Evolution in den Kategorien von Variation – die Generierung neuer Problemlösungen – und Selektion – ihre Adoption und Diffusion – gesehen. Vgl. z. B. Erdmann 1993. Die Selektion wird durch eine Vielzahl von Faktoren gesteuert, darunter durch die Visionen der Kapitalmärkte bezüglich zukünftiger Entwicklungen, die Infrastruktur, Standards und Regulierungen, soziale Ziele und politische Mechanismen. Sie kann als Interaktion zwischen dem techno-ökonomischen, dem sozio-kulturellen und dem politischen System beschrieben werden. Änderungen können ihren Ausgangspunkt in jedem der Teilsysteme nehmen.

den Erfolg einer innovationsorientierten ökologischen Modernisierungsstrategie ist deshalb die zeitliche Gestaltung (timing) der Maßnahmen.<sup>12</sup>

Die Informationserfordernisse für Zeitstrategien sind allerdings hoch. Deshalb müssen bei der Ausgestaltung und Umsetzung wichtige Ergebnisse aus unterschiedlichen Forschungssträngen berücksichtigt und zusammengeführt werden. Das Konzept des „Transition Management“ folgt mit seinem lernbasierten und adaptiven Politikansatz diesem Grundgedanken.

### 3.1.1 Lernkurveneffekte

Viele neue Technologien sind zu Beginn ihrer Entwicklung in ihrer Ausbreitung durch hohe Kosten behindert, die den Diffusionsprozess zunächst bremsen. Mit zunehmender Verbreitung der neuen Technologie ergeben sich in der Regel Kostensenkungen, die auf sogenannte Lernkurveneffekte zurückzuführen sind. Auf der Herstellungsseite sind diese vor allem mit positiven Skaleneffekten bei der Produktion sowie mit organisatorischen und technologischen Verbesserungen („Lernen“) im Produktionsprozess zu erklären. Auch bei den Anwendern neuer Technologien kommt es durch Lerneffekte und unter Umständen durch Netzwerkeffekte zu Kostensenkungen, die die weitere Diffusion begünstigen.

Die zunächst höheren Kosten neuer Technologien erweisen sich vor allem dann als problematisch, wenn diese auf ein stabiles technologisches Paradigma treffen, das sich durch hohe Netzwerkexternalitäten auszeichnet, an die die neuen Technologien nicht anknüpfen können. Als ein Beispiel für ein stabiles technologisches Paradigma wird in der Literatur zum Beispiel das auf fossilen Energien basierende Energiesystem in Industrieländern gesehen (Unruh 2000). Die Ausbreitung neuer Technologien ist dann erschwert und die Diffusion verlangsamt, so dass die Realisierung von Kostensenkungspotentialen durch Lernkurveneffekte ausbleibt oder verzögert eintritt. In einem solchen technologischen Umfeld ist es sinnvoll, die Diffusion von kostenseitig noch nicht wettbewerbsfähigen Technologien durch geeignete politische Instrumente zu fördern.

Erweist es sich als schwierig, den Diffusionsprozess in seiner Breite zu fördern, steht die Ermöglichung von Lerneffekten im Vordergrund. Durch geeignete Politikgestaltung gilt es dann, zumindest Spielräume für die Technologieentwicklung und Pilotanwendung oder die Diffusion in Nischen zu ermöglichen (strategisches Nischen-Management).

### 3.1.2 Windows of opportunity

Aus einer vorwiegend evolutorischen Sicht auf den Innovationsprozess lässt sich das Konzept von technologischen Paradigmen beziehungsweise technologischer Trajektorien ableiten (Dosi 1982). Eine technologische Trajektorie ist jeweils durch bestimmte Muster/Charakteristika gekennzeichnet, aus denen die Unternehmen ihre Problemlösungen auswählen. Entlang solcher Trajektorien treten zunehmende Erträge der Adoption auf, so dass die Trajektorie deshalb stabil ist. Innovationen innerhalb eines technologischen Paradigmas beziehungsweise entlang einer Trajektorie haben vorwiegend inkrementellen Charakter, so dass sich eine Pfadabhängigkeit der technischen Neuerungen ergibt. Ohne weitere Gestaltung kommt ein Wechsel des technologischen Paradigmas nur in großen zeitlichen Abständen zustande, wenn die Problemlösungskapazität der dominanten Technologie erschöpft ist oder neue

---

<sup>12</sup> Vgl. z. B. Zundel 2004 und Sartorius und Zundel 2004.

Anwendungsfelder nicht mehr erschlossen werden können. Der Wechsel der Trajektorie eröffnet ein „Zeitfenster“ (window of opportunity) für einen Übergang zu neuen, umweltverträglicheren Technologien (Zundel 2004; Sartorius und Zundel 2005). Dieses window of opportunity schließt sich jedoch wieder, wenn die neue Trajektorie zum dominierenden technologischem Design geworden ist. Die neue Trajektorie ist wieder stabil (locked-in) und andere Trajektorien sind ausgeschlossen (locked-out). In der Zeit des Übergangs zwischen zwei technologischen Regimes können geringfügige Unterschiede über die Auswahl zwischen konkurrierenden neuen Trajektorien entscheiden.

Zeichnet sich eine Chance für einen Pfadwechsel ab, kommt es unter dem Aspekt einer kostengünstigen Umgestaltung darauf an, durch rechtzeitige Setzung der Rahmenbedingungen und langfristige Entscheidungsprozesse das Zeitfenster für einen Systemwechsel zu ermitteln und zu nutzen. Angesichts ihrer Pfadabhängigkeit ist gerade bei infrastrukturbasierten Systemen der Pfadwechsel langfristig vorzubereiten, um so zu einer Reduzierung von sunk costs beizutragen.

Die Gestaltungsoptionen der Politik sind aber nicht nur auf die Nutzung von günstigen Zeitfenstern beschränkt, die sich aufgrund technisch-ökonomisch-sozialer Bedingungen ergeben, sondern die Politik kann selbst auch zur Entstehung und Gestaltung solcher Zeitfenster beitragen. Ist erkennbar, dass ein dominierendes Technologiemuster unter ökologischen Gesichtspunkten nicht tragbar ist, aber noch keine anwendungsreifen technologischen Alternativen bereitstehen, besteht eine wichtige Herausforderung der Politik darin, durch die Förderung der Generierung solcher technologischer Alternativen, etwa durch FuE-Politik oder das Setzen regulatorischer Rahmenbedingungen, die Bedingungen für die Entstehung eines window of opportunity zu schaffen. Wichtig erscheint, die Maßnahmen so zu gestalten, dass eine genügend große Diversität technologischer Optionen entsteht und frühzeitige Festlegungen bei der Entwicklung technischer Lösungsmöglichkeiten vermieden werden.

### 3.1.3 Transition management

Ergibt sich in der Volkswirtschaft die Möglichkeit für einen Wechsel hin zu einem aus ökologischer Sicht bevorzugten technologischen Paradigma, so besteht eine Herausforderung der Politik darin, die Hemmnisse für einen Wechsel zu identifizieren und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung zu initiieren. Wichtig ist, dass neue technische Lösungen zur Verfügung stehen, die ökonomisch langfristig attraktiv sind. Existieren konkurrierende neue Lösungen, kommt es darauf an, zu vermeiden, dass Zufälligkeiten (wie eine geringfügig andere Position auf der Lernkurve) die Wahl der neuen Trajektorie bestimmen, bevor die Potentiale der Alternativen deutlich sind. Ist der Wechsel an ein Zeitfenster geknüpft (window of opportunity) bekommt die Gestaltung des Übergangs zwischen dem alten und dem neuen technischen Paradigma besonderes Gewicht.

Die wichtigen Maßnahmen zur Gestaltung von Übergangsprozessen in Richtung auf Nachhaltigkeit und ökologischer Modernisierung werden in einer interdisziplinären Sichtweise unter dem Etikett transition management (Kemp und Rotmans 2005, Kemp und van den Bergh 2006, Smith, Stirling und Berkhout 2004) diskutiert. Grundlegend ist der Fokus auf sozio-technische Regime, verstanden als Systeme von Akteuren und Institutionen mit ihren sozialen und technologischen Praktiken, die gemeinsam determinieren, in welcher Weise Bedürfnisse befriedigt werden. Das jeweils vorherrschende sozio-technische Regime bestimmt das Verhalten der Akteure, die dazu neigen, innerhalb dieses Regimes nach Optimierungsmöglichkeiten zu suchen. Daneben bestehen oft Nischen, in denen alternative Praktiken angewandt werden.

Nach Überlegungen des transition management kann der Übergangsprozess in Phasen gestaltet werden. In einer Vorentwicklungsphase werden Neuerungen in Nischen ausprobiert, in einer Startphase beginnt der Systemwandel, in einer Beschleunigungsphase kommt es zu einander verstärkenden Veränderungen verschiedener Teilsysteme und in einer Stabilisierungsphase wird letztendlich ein neues dynamisches Gleichgewicht erreicht.

Die Notwendigkeit eines transition management ergibt sich nach den Vorstellungen der Vertreter dieses Konzepts daraus, dass private und politische Akteure in ihrem Handeln und Entscheiden eine überwiegend kurzfristige Orientierung haben. Daneben wird die Existenz von Hemmnissen für Systeminnovationen wie zum Beispiel etablierte Interessen, zunächst höhere Kosten sowie an traditionellen Denkweisen orientierte Vorgehensweisen angenommen. Aus diesen existierenden Hemmnissen ergibt sich die Notwendigkeit der Koordination von verschiedenen Politikbereichen, der Initiierung von Lernprozessen und des Anreizes zur Konsensbildung. Lernprozesse und Konsensbildung werden erleichtert, wenn Ziele und Vorgehensweisen flexibel gestaltet werden.

Kernelemente eines transition management sind

- eine langfristige Politikorientierung,
- eine Ausrichtung auf Systeminnovationen anstelle inkrementeller Neuerungen und sektororientierter Politiken,
- die Berücksichtigung von Interdependenzen zwischen Teilsystemen,
- die Organisation von Lernprozessen sowie eine iterative und adaptive Politikgestaltung.

In der Vorentwicklungsphase neuer grundlegender technologischer Paradigmen besteht die Hauptaufgabe der Politik darin, Möglichkeiten zu schaffen, neue Lösungen auszuprobieren und Diskussionsprozesse in Gang zu setzen. In der Beschleunigungsphase müssen Nebenwirkungen neuer Lösungen beobachtet und gegebenenfalls Entwicklungen im Sinne eines adaptiven Lernens korrigiert werden.

## 3.2 Instrumentierung

Entscheidenden Einfluss als Kostentreiber oder -dämpfer einer ökologischen Modernisierungsstrategie hat die Gestaltung des Regulierungsmusters und dabei insbesondere die Auswahl, Gestaltung und Kombination der umweltpolitischen Instrumente. Dabei sind mehrere teils im Konflikt zu einander stehende Kriterien zu berücksichtigen.

### 3.2.1 Internalisierung externer Kosten, Preissignale

Zentrales Element einer ökologischen Modernisierungsstrategie ist die Berücksichtigung von Umweltschutzbelangen bei allen wirtschaftlichen Entscheidungen. Dazu müssen sich die Kosten der Umweltinanspruchnahme in den Preisen widerspiegeln. Die Wirtschaftssubjekte erhalten so Signale über die Knappheit natürlicher Ressourcen. Dies können Marktinstrumente, insbesondere umweltbezogene Abgaben (Ökosteuern) und handelbare Umwelnutzungsrechte (Zertifikate) leisten.

Die Ermittlung von Schattenpreisen (als „wahre“ Kosten) der Umweltinanspruchnahme stößt auf große konzeptionelle und praktische Schwierigkeiten. Deswegen hat sich in der umweltpolitischen Praxis der Standard-Preis Ansatz durchgesetzt. Dabei werden Umweltziele auf der Grundlage etwa von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen oder politischen Überlegungen festgelegt. Diese Umweltziele sollen dann zu möglichst geringen Kosten –

kosteneffizient – erreicht werden. Ökosteuern und Zertifikate setzen Anreize für kosteneffiziente Maßnahmen.

### 3.2.1.1 Anreize zu kosteneffizienten Umweltschutzmaßnahmen

Die Verursacher vergleichen den Abgabensatz oder den Zertifikatepreis mit den Kosten zur Verringerung der Umweltinanspruchnahme. Ist der Abgabensatz bzw. der Zertifikatepreis höher, ist es für sie günstiger, die Vermeidungsmaßnahmen zu ergreifen. Da die Verursacher einen Anreiz haben, alle Vermeidungsmaßnahmen zu ergreifen, deren spezifische Kosten unter dem Abgabensatz bzw. dem Zertifikatepreis liegen, werden die kostengünstigsten Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastung realisiert. Ein weiterer Vorteil solcher Marktinstrumente besteht in geringen Informationsanforderungen auf Seiten des Regulierers: Unternehmen kennen die (Grenz-)Vermeidungskosten ihrer Umweltinanspruchnahme in der Regel deutlich besser als ein staatlicher Regulierer.

Zertifikateregime legen eine Höchstmenge der Umweltinanspruchnahme fest. Dies schafft Sicherheit bezüglich des Niveaus der Umweltbelastung. Wenn die Umweltinanspruchnahme aus exogenen Gründen zurückgeht, sinkt der Zertifikatepreis, aber es gibt keinen Anreiz, die Umweltinanspruchnahme unter die Höchstmenge zu senken. Bei Abgaben, bei denen der Preis unabhängig von der Nachfrage nach Umweltnutzungsmöglichkeiten konstant bleibt, gibt es diesen Anreiz, allerdings ist das Niveau der Umweltbelastung, die bei einem bestimmten Abgabensatz resultiert, im allgemeinen nicht genau vorherzusagen.

### 3.2.1.2 Aufkommensverwendung

Auch wenn prinzipiell ein Trade-off zwischen der Lenkungswirkung und dem Aufkommen von Marktinstrumenten besteht, kann die fiskalische Ergiebigkeit von Ökosteuern oder aus der Versteigerung von Zertifikaten erheblich sein. Wenn das Aufkommen aus Marktinstrumenten zur Senkung anderer, stärker verzerrender Steuern verwendet wird, kann eine „doppelte Dividende“ entstehen: Zum einen ist die Internalisierung externer Effekte mit positiven Wohlfahrtswirkungen verbunden, zum anderen erhöht sich die Wohlfahrt durch eine geringere Zusatzlast. Viel spricht dafür, dass die Gewinn- und Kapitalbesteuerung wegen der besseren Ausweichmöglichkeiten der entsprechenden Steuerbasis eine stärkere Zusatzlast verursacht als beispielsweise die Besteuerung von Arbeitseinkommen oder Konsum. Eine ausschließliche oder überwiegende Entlastung von Kapitaleinkommen dürfte allerdings Akzeptanzprobleme hervorrufen. Durch eine Verwendung des Aufkommens für ökologische Zwecke kann die ökologische Wirksamkeit von Marktinstrumenten verstärkt werden. Die ökonomischen Wirkungen solcher und anderer nicht-aufkommensneutraler Verwendungen sind im Einzelfall zu untersuchen; dabei kommt es entscheidend darauf an, mit welchem Referenzfall verglichen wird.

### 3.2.1.3 Innovationsanreize

Innovationen sind der Königsweg zur ökologischen Modernisierung. Sie können die Kosten zur Erreichung von Umweltzielen drastisch reduzieren (z. B. Acemoglu et al. 2011, Aghion et al. 2009). Innovationsanreize sind in allen Phasen des Innovationsprozesses erforderlich: bei der Generierung neuen Wissens, der erstmaligen erfolgreichen Anwendung und schließlich der Diffusion.

Umweltinnovationen erlauben zu gleichen Vermeidungskosten eine stärkere Umweltentlastung als vordem. Neben den Anreizen, die Innovationen im Allgemeinen begünstigen, spielt für ihre Generierung und Diffusion die Ausgestaltung der Umweltpolitik eine entscheidende Rolle (Blazejczak et al. 1999).

Ansätze zur Erklärung von Innovationsprozessen (und damit Anhaltspunkte zur Gestaltung des Musters der Umweltpolitik) bieten neben neoklassischen mikroökonomischen Modellen (Laffont und Tirole 1994) die Neue Institutionelle Ökonomik (North und Wallis 1994) und die Evolutorische Innovationstheorie (Freeman 1992). Die in diesen Ansätzen jeweils in den Vordergrund gestellten Erklärungsfaktoren von Umweltinnovationen legen eine Instrumentierung nahe, die

- dauerhafte ökonomische Anreize setzt; neben der Minimierung von Vermeidungskosten können die Anreize auch in Einsparungen anderer Kosten und zusätzlichen Erlösen bestehen;
- Flexibilität bei der Gestaltung von Lösungen zulässt;
- „neue“ Instrumente nutzt, die unternehmensinterne und politische Funktionsmechanismen berücksichtigen; Beispiele sind Zertifizierungssysteme, die Gewährung von Rechtsvorteilen oder Haftungsregelungen;
- Freiwilligkeit mit politischen Zielvorgaben und Sanktionsdrohungen verbindet;
- mehrere Instrumente kombiniert, z. B. Grenzwerte zur Vermeidung gesundheitsgefährdender Umweltverschmutzungen mit Abgaben auf die Restverschmutzung;
- an strategischer politischer Planung ausgerichtet ist, um dem Charakter von Umweltinnovationen als Investitionen unter Unsicherheit Rechnung zu tragen;
- durch frühzeitige und verlässliche Ankündigung Signalwirkungen auslöst;
- strategische Ausweichreaktionen, z. B. beim Handel von Zertifikaten, verhindert;
- Kooperationen entlang von Material-Produktketten unterstützt, um Spielräume für kosteneffizienten Umweltschutz zu nutzen und durchgreifende Innovationen zu ermöglichen;
- eine über Umweltmedien integrierte Betrachtung fördert; z. B. durch Umweltverträglichkeitsprüfungen;
- die Bildung von Innovationsnetzwerken begünstigt (Blazejczak und Edler 1998).

Zusätzlich zu innovationsorientierter Umweltpolitik kann im Rahmen einer ökologischen Modernisierungsstrategie direkte staatliche Innovationsförderung eingesetzt werden. Sie kann in verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses ansetzen: als Forschungsförderung, beim Übergang zur Marktreife und bei der Marktetablierung durch Skalenerträge.

### 3.2.2 Beseitigung von Hemmnissen

Außer der fehlenden Internalisierung externer Kosten der Umweltinanspruchnahme stehen einer ökologischen Modernisierung vielfältige weitere Hemmnisse entgegen (OECD 2011b). Dazu gehören Informationsprobleme, insbesondere asymmetrisch verteilte Informationen, lock-ins durch die Infrastrukturausstattung, aber auch Infrastruktur-, Qualifikations- und Finanzierungsengpässe. Diese müssen bei der Ausgestaltung spezifischer ökologischer Modernisierungsstrategien berücksichtigt werden.

## 3.3 Maßnahmen zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit

Die ökonomischen Wirkungen einer ökologischen Modernisierungsstrategie hängen auch davon ab, welche Maßnahmen zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit

heimischer Unternehmen ergriffen werden. Zentral ist dabei ein möglicher Zielkonflikt zwischen ökologischer Wirksamkeit und ökonomischen Kosten. Vorgelagert ist die Frage, wie eine ökologische Modernisierung die internationale Wettbewerbsfähigkeit berührt.

Eine Volkswirtschaft ist international wettbewerbsfähig, wenn sie in der Lage ist, durch Export heimischer Güter zu günstigen Terms of Trade Erlöse zur Finanzierung ihrer Importe und Auslandsinvestitionen zu erwirtschaften. Von hoher internationaler Wettbewerbsfähigkeit kann aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht die Rede sein, wenn die Grundlage der Exporterfolge eines Landes nicht internalisierte externe Umweltkosten sind.

Aus Sicht eines Unternehmens bedeutet internationale Wettbewerbsfähigkeit, dass es auf nationalen und Auslandsmärkten seine Produkte gewinnbringend absetzen kann. Das erfordert einerseits Alleinstellungsmerkmale, andererseits dürfen die Kosten nicht allzu sehr über denen der Wettbewerber liegen; der Kostenabstand ist umso weniger bedeutend, je stärker die Alleinstellung ausgeprägt ist.

### 3.3.1 Internationale Wettbewerbsfähigkeit und Umweltregulierung

#### 3.3.1.1 Theoretische Zusammenhänge

Unmittelbare Konsequenz einer im Vergleich zum Ausland strikteren Umweltregulierung sind (zumindest zu Beginn) höhere Kosten der inländischen Unternehmen. Zunächst kommt es darauf an, ob die Unternehmen die Kostensteigerungen in den Preisen weitergeben können, ohne Marktanteile auf Inlands- und Auslandsmärkten an ausländische Wettbewerber zu verlieren. Die Nachfrager können bei einer Preiserhöhung auf (heimische oder ausländische) Substitutionsgüter ausweichen und/oder statt heimischer Güter ausländische kaufen. Der Nachfragerückgang nach Gütern heimischer Produzenten bei einer Preiserhöhung hängt also von der Preiselastizität der (über Herkunftsregionen) aggregierten Nachfrage nach einem Gut und von der sogenannten Armington-Elastizität ab, die die Substitution zwischen Gütern aus verschiedenen Ländern misst (Graichen et al. 2008 26 ff.). Die Kostenüberwälzungsmöglichkeiten sind umso größer, je geringer die beiden Elastizitäten. Je größer der Ausgabenanteil für im Inland produzierte Güter, desto bedeutender ist die Preiselastizität der aggregierten Nachfrage gegenüber der Armington-Elastizität. Empirische Schätzungen der Preiselastizität der aggregierten Nachfrage und der Armington-Elastizität liegen in einem breiten Intervall (Graichen et al. 2008). Die geschätzten Werte hängen stark von der Sektor- oder Produktdisaggregation, der Datenbasis und der Schätzmethode ab. Deshalb wird angezweifelt, dass auf dieser Grundlage Politikempfehlungen abgeleitet werden können.<sup>13</sup>

Wenn die Kostensteigerungen signifikant sind und Kosten als Wettbewerbsfaktor eine bedeutende Rolle spielen, können die Unternehmen mit unterschiedlichen Strategien reagieren. Nach der Porter-Hypothese (Porter 1990; Porter und van der Linde 1995) schafft eine strikte Umweltregulierung Anreize für offensive Reaktionen der Unternehmen, bisher ungenutzte Innovationsmöglichkeiten zu realisieren.<sup>14</sup> Die Vermeidungskosten werden so

---

<sup>13</sup> Graichen et al. (2008: 27) geben eine grobe Rangfolge von Sektoren nach in der Literatur gefundenen Preiselastizitäten der aggregierten Nachfrage an (in abnehmender Reihenfolge): Aluminium; Stahl; Papier; Zement.

<sup>14</sup> Zu den Gründen, aus denen Unternehmen gewinnträchtige Innovationsmöglichkeiten systematisch übersehen können, gehören asymmetrische Information zu Lasten der Käufer, Wissens-Spillovers, beschränkte Rationalität und lokale Suche sowie Manager-

durch Kosteneinsparungen teilweise oder ganz aufgehoben oder sogar überkompensiert. Für Unternehmen in einem Land, das eine Vorreiterrolle in der Umweltpolitik einnimmt, wird eine Beeinträchtigung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit durch höhere Vermeidungskosten demnach gemindert, aufgehoben oder sogar ins Gegenteil verkehrt.<sup>15</sup> Dass bei strikterer Umweltregulierung regelmäßig mit einem vollständigen Ausgleich der Vermeidungskosten durch Kosteneinsparungen aufgrund der Ausbeutung bisher ungenutzter Effizienzspielräume zu rechnen ist, wird aber angezweifelt (Palmer, Oates und Portney 1995).

Eher defensive Reaktion der Unternehmen auf umweltschutzbedingte Kostensteigerungen sind eine Verringerung der Fertigungstiefe durch verstärkten Bezug ausländischer Vorleistungen, die Substitution von inländischen durch importierte Vorleistungen und schließlich im Extremfall Standortverlagerungen. Die Unternehmensentscheidungen, die die regionalen Produktions- und Investitionsstrukturen bestimmen, hängen allerdings außer von den Kosten für Umweltschutzmaßnahmen von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab. Dazu gehören die Produkteigenschaften und die Marktform, Lohn- und Transportkosten, die Infrastrukturausstattung, rechtliche und politische Rahmenbedingungen und Wechselkursrisiken.<sup>16</sup> Eine unzureichende Umweltregulierung und -qualität kann sogar als Standortnachteil wirken.

Kommt es – durch Marktanteilsverluste oder Anpassungsreaktionen – zu einer Verlagerung von Produktionsaktivitäten ins Ausland, entstehen im Inland Beschäftigungsverluste und Einkommenseinbußen. Aus der Perspektive eines Landes sind möglichen Produktionsverlagerungen und damit verbundenen Verlusten an Einkommen und Arbeitsplätzen die Wohlfahrtsgewinne gegenüberzustellen, die dadurch zustande kommen, dass – für Unternehmen anderer Branchen, die Umweltschutztechnik anbieten – neue Geschäftsfelder erschlossen werden. Zudem profitiert ein Land insgesamt, wenn die vermiedenen Umweltschäden im Inland die Wohlfahrtsverluste durch entgangene Einkommen mehr als ausgleichen.<sup>17</sup> Unberührt bleiben von diesem Argument die politische und soziale Notwendigkeit, den Strukturwandel abzufedern, und eine ethische Verantwortung für die Verlagerung von Umweltproblemen in andere Länder.

### 3.3.1.2 Empirische Befunde

Die empirischen Befunde zum Einfluss umweltpolitischer Regulierung auf die Wettbewerbsfähigkeit ergeben kein eindeutiges Bild (OECD 2010). Studien, die die Umweltfreundlichkeit einzelner Unternehmen mit ihrem Geschäftserfolg in Verbindung setzen, deuten insgesamt auf einen wenn auch eher bescheidenen positiven Zusammenhang hin oder

---

Eigentümer Konflikte. Siehe z. B. Holmström und Tirole (1987), die ein solches Ergebnis als second-best-Ergebnis in einem Prinzipal-Agenten-Modell zeigen.

<sup>15</sup> Außer durch Innovation-Offsets, auf die die Porter Hypothese abstellt, kann eine verbesserte Wettbewerbsposition der von der Umweltregulierung unmittelbar betroffenen verschmutzenden Unternehmen auch durch Reaktionen im strategischen Wettbewerb erklärt werden. Siehe Blazejczak und Edler (2004), die bei einem Survey der Literatur zur strategischen Umweltpolitik die Fälle Rent Shifting, strategische Innovation und Lerneffekte unterscheiden. Allerdings kommt eine Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit immer nur unter sehr restriktiven Annahmen zustande.

<sup>16</sup> Siehe z. B. Doing Business 2012.

<sup>17</sup> Muller et al. (2011) errechnen, dass die Schadenskosten allein durch Luftverschmutzung für eine Reihe von Branchen in den USA, darunter die Öl- und Kohleverstromung, größer sind als ihre Wertschöpfung.

weisen doch mindestens einen negativen Zusammenhang zurück (Margolis und Walsh. 2003; Orlitzky et al. 2003). Untersuchungen von Handels- und Kapitalströmen auf der sektoralen oder nationalen Ebene kommen eher zu der Einschätzung eines negativen Zusammenhangs (Brunnermeier et al. 2004; Levinson und Taylor 2008). Auch das Bild zum Einfluss umweltpolitischer Regulierung auf wesentliche Determinanten der Wettbewerbsfähigkeit ist gemischt (OECD 2010). Ex-ante Kostenschätzungen umweltpolitischer Regulierungen – oft durch betroffene Industrien vorgelegt – überschätzen regelmäßig die ex post festgestellten Kosten (Haq et al. für die EU Kraftfahrzeugs-Emissionsstandards; Ackerman et al. 2008 für REACH). Der Effekt auf die Produktivität stellt sich kurzfristig negativ, langfristig aber positiv dar (Lanoie et al. 2008). Innovationswirkungen strikter Umweltregulierung wurden vielfach nachgewiesen (z. B. Arimura et al. 2007; Popp 2006). Belege dafür, dass eine Vorreiterrolle bei Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien zu Handelsvorteilen bei Solar-Energieausrüstungen führt, findet Groba (2011).<sup>18</sup>

Für Deutschland kommt das Statistische Bundesamt im Rahmen der Auswertung der Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung zu dem Schluss, dass eine Verlagerung energieintensiver Industrien ins Ausland nicht feststellbar ist (StaBuA 2007; StaBuA 2007b). Es stützt diesen Schluss auf die Beobachtung, dass von 1995 bis 2005 der Exportüberschuss von Erzeugnissen, die mit hohem direktem und indirektem Energieeinsatz erstellt werden, stark angestiegen ist. Eine Simulationsstudie der OECD (2008b) zeigt, dass die Leakage-Rate (durch Wettbewerbsfähigkeits- und Ölpreiseffekte) weniger als 2 Prozent beträgt, wenn alle Annex I Länder des Kyoto-Protokolls ihre Emissionen bis 2050 um 50 Prozent reduzieren würden.

Eine aktuelle Untersuchung weltweiter Direktinvestitionsströme zwischen OECD-Quellenländern und weniger entwickelten Empfängerländern zeigt, dass eine strenge Umweltpolitik einen signifikanten negativen Einfluss auf einfließende Direktinvestitionen in OECD- und Entwicklungsländern hat, im Vergleich zu anderen Standortfaktoren ist dieser Einfluss jedoch schwach (Kalamova und Johnstone 2011). Der Effekt der Stringenz der Umweltregulierung ist nicht-linear (invertierte U-Form) und kehrt sich bei schwacher umweltpolitischer Regulierung sogar um.

Für die fehlende Eindeutigkeit der empirischen Befunde lassen sich neben methodischen auch inhaltliche Gründe angeben (OECD 2010). So machen etwa die Umweltschutzkosten für die meisten Unternehmen nur einen kleinen Anteil der Kosten aus, und die Unterschiede in der Rigidität der Umweltregulierung gegenüber den wichtigsten Handelspartnern sind in der Regel gering. Zudem können andere, teilweise schwierig zu identifizierende Einflussgrößen den Zusammenhang zwischen Umweltregulierung und Wettbewerbsfähigkeit überlagern.

Dies führt zu dem Schluss, dass der Zusammenhang zwischen Umweltregulierung und Wettbewerbsfähigkeit kontextabhängig ist. Zu diesem Kontext gehören Spezifika des jeweiligen Unternehmens wie seine Branchenzuordnung und die Verfassung des Marktes auf dem es operiert, das Umweltproblem, das gelöst werden soll (Abfallvermeidung beispielsweise ist oft mit Kosteneinsparungen verbunden, Lärmschutz nicht), die Techniken, die dazu eingesetzt werden (vorsorgende Techniken sind für die Wettbewerbsfähigkeit günstiger als nachsorgende, weil mit ersteren oft Kosteneinsparungen oder Qualitätsverbesserungen verbunden sind) und der Mix an Instrumenten, der gewählt wird.

---

<sup>18</sup> Auf die im Untertitel gestellte Frage (Evidence on the Porter Hypothesis?) kann die Untersuchung von Groba (2011) keine Antwort geben, da die Porter Hypothese sich auf Kosteneinsparungen bei schadstoffemittierenden Unternehmen bezieht.

### 3.3.2 Maßnahmen

Soweit tatsächlich eine Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen mit den entsprechenden Ausweichreaktionen zu befürchten ist, stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung, um dies abzuwenden. Grenzausgleichsmaßnahmen haben nur geringe praktische Bedeutung. Maßnahmen zu breit angelegter internationaler Politikkoordination scheitern oft an Anreizproblemen. Dagegen spielen Ausnahmeregelungen eine wichtige Rolle. Dabei sind – neben rechtlichen und politischen Aspekten – allerdings mögliche Konflikte zwischen ökonomischen und ökologischen Zielen zu beachten.

Ausnahmeregelungen zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit können im Rahmen einer ökologischen Modernisierungsstrategie als Anpassungserleichterungen für begrenzte Zeit gerechtfertigt sein, wenn die begünstigten Unternehmen eine hohe Umweltschutzkostenintensität aufweisen und in starkem internationalen Preiswettbewerb stehen. Dabei erscheint es sinnvoll, Ausnahmeregelungen enger als bisher<sup>19</sup> zu begrenzen, um Mitnahmeeffekte zu verhindern. Dies könnte auf der Grundlage einer Einzelfallprüfung erfolgen (Bär et al. 2011: 20). Gleichzeitig könnte von den begünstigten Unternehmen die Einführung umfassender Umweltmanagementsysteme verlangt werden, um kostengünstige Potentiale zur Umweltentlastung aufzudecken (ebenda; s. auch Eichhammer et al. 2011). Anreize zur Ausnutzung kostengünstiger Möglichkeiten in begünstigten Sektoren könnten auch über Benchmarking-Modelle erreicht werden (z. B. branchen-spezifische Rückerstattungen). Zudem ist auf unerwünschte Verteilungseffekte und verzerrende dynamische Anreize zu achten.

---

<sup>19</sup> Zu den Regelungen bis 2012 siehe Abschnitt 5.3.3.1 im Überblick über die Ergebnisse von Arbeitspaket 2.

## 4 Ökonomische Rahmenbedingungen der ökologischen Modernisierung in Deutschland

### 4.1 Wirtschaftliche Bedeutung der Sektoren und ihre Einbindung in Wertschöpfungsketten

Die wirtschaftliche Bedeutung der einzelnen Wirtschaftsbereiche lässt sich an verschiedenen Indikatoren festmachen. Die *Produktionswerte* messen den Umfang der wirtschaftlichen Aktivitäten der den jeweiligen Sektoren zugeordneten Unternehmen, indem der Wert der an andere Wirtschaftseinheiten verkauften Waren und Dienstleistungen erfasst wird.<sup>20</sup> Werden von den Produktionswerten die Werte der Güter subtrahiert, die von anderen Wirtschaftseinheiten als Vorleistungen bezogen und im Zuge des Produktionsprozesses eingesetzt werden, so erhält man die *Bruttowertschöpfung* der Wirtschaftsbereiche, also die in den Sektoren selbst erbrachte Wirtschaftsleistung. Die wirtschaftliche Bedeutung von Sektoren ergibt sich auch daraus, in welchem Umfang die einzelnen Wirtschaftsbereiche Arbeitsplätze bereitstellen, so dass auch die Erwerbstätigen nach Sektoren betrachtet werden.

#### 4.1.1 Die wirtschaftliche Bedeutung der Sektoren

Die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (VGR) erfasst die im Inland ansässigen Wirtschaftseinheiten mit ihren für den Wirtschaftsablauf wichtigen wirtschaftlichen Aktivitäten. Die Produktion von Waren und Dienstleistungen (und die damit verbundene Inanspruchnahme der natürlichen Umwelt) erfolgt in Unternehmen oder anderen institutionellen Einheiten, die entsprechend dem Schwerpunkt ihrer Tätigkeit unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen zugeordnet werden.<sup>21</sup>

Die Wirtschaftszweigsystematik WZ 2008 unterscheidet auf der obersten Gliederungsebene 20 zusammengefasste Wirtschaftsbereiche (Abschnitte). Betrachtet man auf dieser Ebene die *Produktionswerte*, entfallen im Jahr 2009<sup>22</sup> rund 31 Prozent der gesamten Produktion auf das Verarbeitende Gewerbe. Auch wenn der Anteil seit dem Jahr 2000 um gut 2 Prozentpunkte gesunken ist, ist der Anteil der Industrie in Deutschland im internationalen Vergleich immer noch überdurchschnittlich hoch. Die wirtschaftliche Bedeutung anderer, auf unmittelbarer Naturnutzung beruhender Wirtschaftsbereiche ist sehr gering. Der Anteil von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei an der gesamten Produktion beträgt rund 1 Prozent, Bergbau und Gewinnung von Steine und Erden kommen gerade auf 0,25 Prozent. Beide Bereiche weisen

---

<sup>20</sup> Zu den Verkäufen zählen in der VGR u. a. auch die Einnahmen aus Vermietung von Wohnungen (einschließlich unterstellter Mieten für eigengenutzte Wohnungen). Die Produktionswerte von Sektoren, die die Leistungen nicht über den Markt anbieten wie z. B. der Staat, werden durch die Addition der Aufwandsposten ermittelt.

<sup>21</sup> Soweit Daten vorliegen, folgt die Darstellung hier der Systematik der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008 (WZ 2008), in den anderen Fällen, in denen noch keine Informationen in der Gliederung der aktuellen Systematik vorliegen, folgt die Darstellung noch der WZ 2003. Die Umstellung auf die aktuelle WZ 2008 erfolgt überwiegend mit dem Berichtsjahr 2008, für bestimmte Berichtssysteme im Rahmen der VGR wie der Anlagevermögensrechnung und der Input-Output-Rechnung lagen zum Zeitpunkt der Analyse (Stand: Januar 2012) noch keine Angaben nach der neuen Wirtschaftszweigsystematik vor.

<sup>22</sup> Das Berichtsjahr 2009 ist das aktuell verfügbare Jahr, für das auch detaillierte Informationen vorliegen. Bei der Interpretation ist zu bedenken, dass das Berichtsjahr noch durch die im Jahr 2008 ausgebrochene globale Finanz- und Wirtschaftskrise geprägt ist. Daten für frühere Jahre liegen nur in der Gliederung WZ 2003 vor.

im Zeitraum 2000 bis 2009 auch eine weit unterdurchschnittliche wirtschaftliche Dynamik auf, so dass ihr Anteil an der gesamten Produktion rückläufig ist.

Der Bereich Bergbau und Gewinnung von Steine und Erden ist mit einer Veränderung der Produktion in jeweiligen Preisen um -10,5 Prozent bei weitem am stärksten von allen betrachteten Wirtschaftsbereichen geschrumpft, daneben konnte nur noch das Baugewerbe seine Produktion in jeweiligen Preisen nicht ausdehnen (-2,7 Prozent). Die größte Dynamik beim Wachstum der Produktionswerte wies die Energieversorgung auf, deren Umsätze sich im Zeitraum 2000 bis 2009 mehr als verdoppelten, so dass der Anteil an der gesamten Produktion sich von 1,7 Prozent auf nahezu 3 Prozent erhöhte. Ansonsten wiesen vor allem die Dienstleistungsbereiche – sowohl private wie auch staatlich organisierte Bereiche - eine am gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt gemessen starke Dynamik aus. Ausgenommen hiervon sind nur der Handel und das Gastgewerbe, die unterdurchschnittlich wuchsen.

Betrachtet man neben der Produktion die Verteilung der *Bruttowertschöpfung* nach den zusammengefassten Wirtschaftsbereichen (Abschnitten) ergibt sich ein in den Grundzügen ähnliches, aber doch anders akzentuiertes Bild. So ist auch bei dieser Betrachtung das Verarbeitende Gewerbe der größte Bereich, sein Anteil im Jahr 2009 beträgt jedoch nur knapp 20 Prozent (gegenüber 31 Prozent bei der Produktion). Auch ist die Zunahme der Wertschöpfung in jeweiligen Preisen über den betrachteten Zeitraum mit 1 Prozent sehr moderat und weit unterdurchschnittlich. Der Anteil an der Wertschöpfung der Volkswirtschaft ist dadurch um knapp 3 Prozentpunkte geschrumpft. Langsamer haben sich nur die Wertschöpfung im Baugewerbe (-2,5 Prozent) und in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei (-20,6 Prozent) entwickelt. Durch den Schrumpfungsprozess hat deren Bedeutung für die gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung spürbar abgenommen.

Einen großen und wachsenden Anteil an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung weist das Grundstücks- und Wohnungswesen (12,4 Prozent) auf, danach folgt – allerdings mit seit dem Jahr 2000 abnehmendem Anteil – der Handel mit 9,5 Prozent. Besonders dynamisch wuchs die Wertschöpfung in der Energieversorgung (78 Prozent)<sup>23</sup>, danach folgen die Dienstleistungsbereiche Gesundheits- und Sozialwesen (35,2 Prozent), die Finanz- und Versicherungsdienstleister (31,3 Prozent) und das Grundstücks- und Wohnungswesen (31,0 Prozent). Tendenziell ist die Wertschöpfung der Dienstleistungsbereiche schneller als der Durchschnitt der Volkswirtschaft gewachsen, der schon seit langem beobachtbare Trend zur Tertiarisierung setzt sich also fort, ungeachtet der im internationalen Vergleich großen Bedeutung der Industrie in Deutschland.

Beurteilt man die Bedeutung der Wirtschaftsbereiche daran, welchen Beitrag sie zur Beschäftigung in der Volkswirtschaft leisten, so entfällt auf der Ebene der zusammengefassten Wirtschaftsbereiche der größte Anteil wiederum auf das Verarbeitende Gewerbe, er ist jedoch mit 17,2 Prozent im Jahr 2010 wegen der höheren Arbeitsproduktivität deutlich geringer als bei Produktion und Wertschöpfung dieses Bereichs. Weitere Bereiche mit einem hohen Anteil an der gesamten Beschäftigung sind der Handel (14,1 Prozent) und das Gesundheits- und Sozialwesen (10,7 Prozent).

Im Zeitraum 2005 bis 2010 ist die Zahl der *Erwerbstätigen* insgesamt um 4 Prozent gewachsen, während sie im Bereich Bergbau und Gewinnung von Steine und Erden um rund -10 Prozent,

---

<sup>23</sup> Die große Diskrepanz zwischen Produktionswachstum (107 Prozent) und Wertschöpfungswachstum (78 Prozent) ist u. a. in der Preisentwicklung der importierten Vorleistungen zu suchen.

in der Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei um -4,1 Prozent und im Verarbeitenden Gewerbe um -2,5 Prozent zurückgegangen sind. Auch in einigen Dienstleistungsbereichen ist die Beschäftigung – trotz steigender Produktion und Wertschöpfung – rückläufig, zum Beispiel im Bereich der Finanz- und Versicherungsdienstleister (-2,4 Prozent) und im Grundstücks- und Wohnungswesen sowie in der Öffentlichen Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung.

Die größten Zuwächse bei der Beschäftigung gibt es im Bereich der Sonstigen Unternehmensdienstleister (24,2 Prozent), die die Leiharbeit einschließen, bei Freiberuflern, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistern (12,7 Prozent), im Gesundheits- und Sozialwesen (11,3 Prozent) und im Gastgewerbe (11,0 Prozent).

Verlässt man die Ebene der zusammengefassten Wirtschaftsbereiche und vergleicht die Bedeutung der Wirtschaftsbereiche auf der Ebene der in VGR jeweils am detailliertesten ausgewiesenen sektoralen Informationen, so gelangt man zu einer Liste der wichtigsten Wirtschaftsbereiche.<sup>24</sup>

Gemessen am *Produktionswert* des Jahres 2009 sind das Grundstücks- und Wohnungswesen, die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, das Baugewerbe, der Bereich Öffentliche Verwaltung, Verteidigung und Sozialversicherung sowie der Maschinenbau die größten Wirtschaftsbereiche der deutschen Volkswirtschaft. Die größten 25 Wirtschaftsbereiche stehen für rund drei Viertel des gesamten Produktionswerts, rund 60 Prozent dieser Bereiche lassen sich dem Dienstleistungsbereich zuordnen, die restlichen 40 Prozent der Produktion von Waren.

Unter den wichtigsten 25 Wirtschaftsbereichen ist nur das Baugewerbe im Zeitraum 2000 bis 2009 auch in jeweiligen Preisen gerechnet geschrumpft (-2,7 Prozent), die Produktion aller Bereiche ist um 17,1 Prozent gewachsen. Im Durchschnitt sind unter den wichtigsten Bereichen die Dienstleistungsbereiche schneller gewachsen als die übrigen Bereiche. Den größten Zuwachs wies die Energieversorgung (107,4 Prozent) auf, gefolgt von Unternehmen, die IT- und Informationsdienstleistungen anbieten (53,0 Prozent). Unter den großen industriellen Bereichen hat sich der Maschinenbau besonders schnell entwickelt (19,2 Prozent), während die Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (1,0 Prozent) und die Chemie (5,2 Prozent) sich eher langsam entwickelt haben.

Misst man die Bedeutung der Wirtschaftsbereiche an der *Bruttowertschöpfung*, also an der in den Unternehmen selbst geschaffenen Wirtschaftsleistung ohne Berücksichtigung der von anderen bezogenen Vorleistungsgüter, so stehen Dienstleistungsbereiche ganz oben in der Rangliste. Nach dem Grundstücks- und Wohnungswesen (12,4 Prozent Anteil an der gesamten Wertschöpfung im Jahr 2009) folgen Bereiche, die überwiegend vom Staat organisiert werden (öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (6,4 Prozent), Gesundheitswesen (5,6 Prozent) sowie Erziehung und Unterricht (4,7 Prozent)).

Die gemessen an der Wertschöpfung größten Bereiche jenseits des Dienstleistungsgewerbes sind das Baugewerbe (Rangplatz 5, 4,5 Prozent), der Maschinenbau (Rangplatz 10, 3,0 Prozent)

---

<sup>24</sup> Die Abgrenzung von Wirtschaftsbereichen ist von der Absicht geleitet, in ihren wirtschaftlichen Aktivitäten ähnliche Unternehmen nach dem Schwerpunktprinzip zusammenzufassen, so dass der abgegrenzte Wirtschaftsbereich durch einen möglichst große Homogenität gekennzeichnet ist. Dadurch entstehen Wirtschaftsbereiche unterschiedlicher Größe. In der Systematik der Wirtschaftszweige (WZ 2008) befinden sich die so ausgewiesenen Bereiche auf unterschiedlichen Gliederungsebenen (vgl. die Spalte WZ 2008 in den unten folgenden Tabellen).

und die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (Rangplatz 12, 2,2 Prozent). Die größten 25 Wirtschaftsbereiche stehen für rund 80 Prozent der Wertschöpfung der gesamten Volkswirtschaft, die Wertschöpfung konzentriert sich also etwas stärker auf die größten Bereiche als die Produktionswerte.

Die größte Dynamik bei der Wertschöpfung weist der Bereich Energieversorgung (78,0 Prozent) auf, gefolgt von Lagerei, sonstige Dienstleistungen für den Verkehr (48,7), IT- und Kommunikationsdienstleister (45,0 Prozent) sowie Unternehmensdienstleister (44,9 Prozent). Geschrumpft ist die Wertschöpfung in jeweiligen Preisen im Einzelhandel (-9,9 Prozent), im Baugewerbe (-2,5 Prozent), beim Landverkehr einschl. Transport in Rohrfernleitungen (-1,3 Prozent) sowie in den industriellen Sektoren Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (-1,7 Prozent), Herstellung von Metallerzeugnissen (-1,4 Prozent) und Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (-1,2 Prozent).

Tabelle 1: Produktionswerte 2000 und 2009 in jeweiligen Preisen

Auswahl der wichtigsten 25 Wirtschaftsbereiche in 2009

Rangplatz	WZ 2008	Wirtschaftsgliederung	Produktionswert				
			2000	2009	2000	2009	2009/2000
			Mrd. Euro		Anteile in %		Wachstumsrate
1	L	Grundstücks- und Wohnungswesen	277,14	345,75	7,48%	7,97%	24,8%
2	29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	211,39	231,81	5,71%	5,34%	9,7%
3	F	Baugewerbe	226,59	220,51	6,12%	5,08%	-2,7%
4	0	Öff. Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	170,80	210,57	4,61%	4,85%	23,3%
5	CK	Maschinenbau	147,76	176,12	3,99%	4,06%	19,2%
6	QA	Gesundheitswesen	130,53	172,13	3,52%	3,97%	31,9%
7	46	Großhandel (oh. Handel mit Kfz)	143,93	161,47	3,88%	3,72%	12,2%
8	CA	H.v. Nahrungsmitteln u. Getränken, Tabakverarb.	131,55	152,68	3,55%	3,52%	16,1%
9	47	Einzelhandel (oh. Handel mit Kfz)	137,46	141,14	3,71%	3,25%	2,7%
10	64	Finanzdienstleister	105,77	134,96	2,85%	3,11%	27,6%
11	P	Erziehung und Unterricht	104,04	129,52	2,81%	2,99%	24,5%
12	D	Energieversorgung	61,17	126,87	1,65%	2,93%	107,4%
13	69-70	Rechts- u. Steuerberatung, Unternehmensberatung	94,00	120,38	2,54%	2,78%	28,1%
14	CE	H. v. chemischen Erzeugnissen	99,35	104,51	2,68%	2,41%	5,2%

15	25	H. v. Metallerzeugnissen	88,07	95,09	2,38%	2,19%	8,0%
16	52	Lagerei, sonst. Dienstleister f. d. Verkehr	62,86	87,11	1,70%	2,01%	38,6%
17	CJ	H. v. elektrischen Ausrüstungen	84,43	85,24	2,28%	1,97%	1,0%
18	65	Versicherungen und Pensionskassen	58,36	73,10	1,58%	1,69%	25,3%
19	24	Metallerzeugung und -bearbeitung	60,39	71,95	1,63%	1,66%	19,1%
20	I	Gastgewerbe	64,04	70,28	1,73%	1,62%	9,7%
21	49	Landverkehr u. Transport in Rohrfernleitungen	66,76	67,47	1,80%	1,56%	1,1%
22	JB	Telekommunikation	49,91	66,42	1,35%	1,53%	33,1%
23	80-82	Unternehmensdienstleister a.n.g.	46,54	61,91	1,26%	1,43%	33,0%
24	QB	Heime und Sozialwesen	43,58	61,47	1,18%	1,42%	41,1%
25	JC	IT- und Informationsdienstleister	38,90	59,51	1,05%	1,37%	53,0%
		Restliche Bereiche	999,47	1 109,21	26,98%	25,57%	11,0%
	A bis T	<b>Alle Wirtschaftsbereiche</b>	<b>3 704,79</b>	<b>4 337,18</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>17,1%</b>

Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 18; Berechnungen des DIW Berlin.

Tabelle 2: Bruttowertschöpfung 2000 und 2009 in jeweiligen Preisen

Auswahl der wichtigsten 25 Wirtschaftsbereiche in 2009

Rangplatz	WZ 2008	Wirtschaftsgliederung	Bruttowertschöpfung				
			2000	2009	2000	2009	2009/2000
					Anteile in %		Wachstumsrate
1	L	Grundstücks- und Wohnungswesen	200,96	263,23	10,91%	12,43%	31,0%
2	0	Öff. Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	119,95	136,23	6,51%	6,43%	13,6%
3	QA	Gesundheitswesen	87,99	117,53	4,78%	5,55%	33,6%
4	P	Erziehung und Unterricht	83,64	99,70	4,54%	4,71%	19,2%
5	F	Baugewerbe	97,27	94,83	5,28%	4,48%	-2,5%
6	46	Großhandel (oh. Handel mit Kfz)	76,94	91,52	4,18%	4,32%	18,9%
7	64	Finanzdienstleister	54,33	76,17	2,95%	3,60%	40,2%
8	47	Einzelhandel (oh. Handel mit Kfz)	83,92	75,59	4,56%	3,57%	-9,9%
9	69-70	Rechts- u. Steuerberatung, Unternehmensberatung	62,85	69,95	3,41%	3,30%	11,3%
10	CK	Maschinenbau	58,71	63,93	3,19%	3,02%	8,9%
11	D	Energieversorgung	30,19	53,75	1,64%	2,54%	78,0%
12	29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	46,97	46,15	2,55%	2,18%	-1,7%
13	77	Vermietung von beweglichen Sachen	38,65	42,87	2,10%	2,02%	10,9%
14	QB	Heime und Sozialwesen	29,44	41,19	1,60%	1,95%	39,9%
15	25	H. v. Metallerzeugnissen	38,59	38,05	2,10%	1,80%	-1,4%
16	96	Sonstige überwiegend persönl. Dienstleister	27,83	37,93	1,51%	1,79%	36,3%
17	CA	H. v. Nahrungsmitteln u. Getränken, Tabakverarb.	36,43	37,77	1,98%	1,78%	3,7%
18	80-82	Unternehmensdienstleister a.n.g.	25,38	36,77	1,38%	1,74%	44,9%
19	JC	IT- und Informationsdienstleister	24,45	35,45	1,33%	1,67%	45,0%
20	I	Gastgewerbe	31,17	35,06	1,69%	1,66%	12,5%
21	CJ	H. v. elektrischen Ausrüstungen	33,90	33,48	1,84%	1,58%	-1,2%

22	45	Kfz-Handel; Instandhaltung u. Rep. v Kfz	27,50	32,98	1,49%	1,56%	19,9%
23	CE	H.v. chemischen Erzeugnissen	31,51	32,46	1,71%	1,53%	3,0%
24	52	Lagerei, sonst. Dienstleister f. d. Verkehr	21,57	32,08	1,17%	1,52%	48,7%
25	49	Landverkehr u. Transport in Rohrfernleitungen	31,80	31,39	1,73%	1,48%	-1,3%
		Restliche Bereiche	439,54	461,15	23,87%	21,78%	4,9%
	A bis T	<b>Alle Wirtschaftsbereiche</b>	1 841,48	2 117,21	100,00%	100,00%	15,0%

Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 18; Berechnungen des DIW Berlin

Betrachtet man die Verteilung der Beschäftigung auf die größten 25 Wirtschaftsbereiche, so dominieren eindeutig die Dienstleistungsbereiche. Die meisten Erwerbstätigen arbeiten im Einzelhandel (3,3 Millionen im Jahr 2009), in der Öffentlichen Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (2,7 Millionen), im Bereich Erziehung und Unterricht (2,5 Millionen) und im Gesundheitswesen (2,5 Millionen). Der größte industrielle Bereich ist der Maschinenbau auf Rangplatz 11 mit 1,0 Millionen Erwerbstätigen. Unter den 25 Wirtschaftsbereichen mit den größten Beschäftigungsanteilen finden sich nur 5 industrielle Bereiche.

Tabelle 3: Erwerbstätige 2005 und 2009

Auswahl der wichtigsten 25 Wirtschaftsbereiche in 2009

Rangplatz	WZ 2008	Wirtschaftsgliederung	2005	2009	2005	2009	2009/2005
			Mrd. Euro		Anteile in %		Veränderung in %
1	47	Einzelhandel (oh. Handel mit Kfz)	3 206	3 257	8,23%	8,07%	1,6%
2	0	Öff. Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	2 763	2 741	7,09%	6,79%	-0,8%
3	P	Erziehung und Unterricht	2 307	2 473	5,92%	6,13%	7,2%
4	QA	Gesundheitswesen	2 331	2 465	5,98%	6,11%	5,7%
5	F	Baugewerbe	2 330	2 364	5,98%	5,86%	1,5%
6	QB	Heime und Sozialwesen	1 558	1 738	4,00%	4,31%	11,6%
7	46	Großhandel (oh. Handel mit Kfz)	1 717	1 713	4,41%	4,24%	-0,2%
8	80-82	Unternehmensdienstleister a.n.g.	1 478	1 667	3,79%	4,13%	12,8%
9	I	Gastgewerbe	1 512	1 663	3,88%	4,12%	10,0%
10	69-70	Rechts- u. Steuerberatung, Unternehmensberatung	1 013	1 154	2,60%	2,86%	13,9%
11	CK	Maschinenbau	942	1 038	2,42%	2,57%	10,2%
12	T	Häusliche Dienste	836	871	2,14%	2,16%	4,2%
13	49	Landverkehr u. Transport in Rohrfernleitungen	822	864	2,11%	2,14%	5,1%
14	CA	H. v. Nahrungsmitteln u. Getränken, Tabakverarb.	864	852	2,22%	2,11%	-1,4%
15	25	H. v. Metallerzeugnissen	842	851	2,16%	2,11%	1,1%
16	29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	862	804	2,21%	1,99%	-6,7%
17	45	Kfz-Handel; Instandhaltung u. Rep. v. Kfz	796	786	2,04%	1,95%	-1,3%

18	96	Sonstige überwiegend persönl. Dienstleister	728	733	1,87%	1,82%	0,7%
19	94	Interessenvertretungen, religiöse Vereinigungen	674	700	1,73%	1,73%	3,9%
20	64	Finanzdienstleister	720	693	1,85%	1,72%	-3,8%
21	78	Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	477	643	1,22%	1,59%	34,8%
22	01	Landwirtschaft	628	622	1,61%	1,54%	-1,0%
23	JC	IT- und Informationsdienstleister	595	617	1,53%	1,53%	3,7%
24	52	Lagerei, sonst. Dienstleister f. d. Verkehr	589	611	1,51%	1,51%	3,7%
25	71	Architektur- u. Ing.büros; techn. Untersuchung	508	558	1,30%	1,38%	9,8%
		Restliche Bereiche	7 878	7 844	20,21%	19,43%	-0,4%
	A bis T	<b>Alle Wirtschaftsbereiche</b>	<b>38 976</b>	<b>40 362</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>3,6%</b>

Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 18; Berechnungen des DIW Berlin.

Auch die Zunahme der Beschäftigung im Zeitraum 2005 bis 2009 konzentriert sich im Dienstleistungsgewerbe. Herausragend ist die Zunahme bei Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften (34,8 Prozent), danach folgen Rechts- und Steuerberatung, Unternehmensberatung (13,9 Prozent) sowie Unternehmensdienstleister (12,8 Prozent). Unter den industriellen Bereichen ragt der Maschinenbau mit einer Zunahme von 10,2 Prozent heraus, die anderen industriellen Bereiche konnten ihre Beschäftigung allenfalls unterdurchschnittlich steigern oder mussten Rückgänge hinnehmen. Besonders deutlich ist der Rückgang im Sektor Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (-6,7 Prozent).

Insgesamt unterstreichen diese Entwicklungen die Bedeutung der Dienstleistungen für die Beschäftigung in einem modernen Industrieland, obwohl Deutschland – stärker als andere Länder – über eine ausgeprägte und im internationalen Wettbewerb leistungsfähige industrielle Fertigung verfügt.

#### 4.1.2 Einbindung der Sektoren in die Wertschöpfungsketten der Volkswirtschaft

Im Zuge der ökologischen Modernisierung werden Anreize zur Veränderung von Produktionsprozessen und den damit verbundenen Wertschöpfungsketten gesetzt. Unter diesem Blickwinkel ergibt sich die Bedeutung eines Wirtschaftsbereichs nicht nur aus seinem eigenen Beitrag zu Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung, sondern auch daraus, wie der Sektor durch Anstoßeffekte andere Wirtschaftsbereiche beeinflusst. Da bei der Betrachtung der ökonomischen Wirkungen einer ökologischen Modernisierung die Folgen für die deutsche Volkswirtschaft im Fokus stehen, wird hier auf die Anstoßeffekte auf inländische Wirtschaftsbereiche abgestellt.

Die Anstoß- und Verflechtungseffekte in sektoraler Dimension lassen sich auf Basis von Daten<sup>25</sup> und Methoden der Input-Output Analyse untersuchen. Es wird untersucht, in welchem Umfang in jedem der statistisch erfassten Produktionsbereiche durch die Produktion zur Befriedigung einer Einheit Endnachfrage (zum Beispiel einer Nachfrage in Höhe einer Million Euro nach Produkten des Maschinenbaus) Produktionsaktivitäten in den in der Wertschöpfungskette vorgelagerten inländischen Produktionsbereichen angestoßen werden (backward linkages). Methodisch erfolgt die Analyse im Rahmen des statischen offenen Mengenmodells der Input-Output-Rechnung.<sup>26</sup>

In Matrixnotation lautet das statische offene Mengenmodell

$$(I-A) x = y \text{ mit der Lösung } (I-A)^{-1} y = Cx = x \text{ mit}$$

y:  $y_i$  Vektor der sektoralen Endnachfrage

x:  $x_i$  Vektor der sektoralen Bruttoproduktion

A:  $(a_{ij})$  Matrix der Inputkoeffizienten (inländische Verflechtung)

C:  $(c_{ij})$  Matrix der inversen Leontief-Koeffizienten (Leontief-Inverse)

---

<sup>25</sup> Methodisch vergleichbare Input-Output-Tabellen liegen für den Zeitraum 2000 bis 2007 vor. Vgl. StaBuA 2010c und ältere Jahrgänge.

<sup>26</sup> Vgl. zu einer umfassenden Darstellungen der Analysemöglichkeiten der Input-Output-Analyse Stäglin et al. 1992.

Tabelle 4: Durch eine Einheit Endnachfrage ausgelöste gesamte Produktionseffekte 2000 und 2007

Rangplatz	CPA		Spaltensumme inverse Koeffizienten				Spaltensumme indirekte Koeffizienten			
			2000	2007	Differenz 2007/2000		2000	2007	Differenz 2007/2000	
					absolut	in %			absolut	in %
1	27.1. - 27.3	Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus	2,72852	2,62584	-0,10268	-3,8%	2,00863	1,94445	-0,06418	-3,2%
2	10	Kohle und Torf	2,51597	2,25113	-0,26483	-10,5%	1,67688	1,56093	-0,11594	-6,9%
3	37	Sekundärrohstoffe	2,15429	2,24685	0,09256	4,3%	1,51472	1,59754	0,08282	5,5%
4	15.1 - 15.8	Nahrungs- und Futtermittel	2,12611	2,19654	0,07042	3,3%	1,49767	1,55795	0,06027	4,0%
5	20	Holz; Holz-, Kork-, Flechtwaren (ohne Möbel)	2,00366	2,16416	0,16050	8,0%	1,45233	1,54623	0,09391	6,5%
6	66	DL der Versicherungen (ohne Sozialversicherung)	2,14143	2,16279	0,02135	1,0%	1,45455	1,45134	-0,00321	-0,2%
7	34	Kraftwagen und Kraftwagenteile	2,23912	2,15530	-0,08382	-3,7%	1,60549	1,56121	-0,04428	-2,8%
8	24 (ohne 24.4)	Chemische Erzeugnisse (ohne pharmazeutische Erzeugnisse)	2,15255	2,15208	-0,00047	0,0%	1,54873	1,55160	0,00287	0,2%
9	60.1	Eisenbahn-Dienstleistungen	2,18339	1,98801	-0,19538	-8,9%	1,56271	1,45035	-0,11237	-7,2%
10	21.2	Papier-, Karton- und Pappwaren	2,04835	1,98158	-0,06678	-3,3%	1,46840	1,43530	-0,03309	-2,3%
11	01	Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd	1,76995	1,97901	0,20905	11,8%	1,31949	1,42338	0,10388	7,9%
12	26.2 - 26.8	Keramik, bearbeitete Steine und Erden	1,90550	1,97107	0,06557	3,4%	1,38352	1,41840	0,03488	2,5%
13	15.9	Getränke	1,97273	1,94697	-0,02577	-1,3%	1,39502	1,38807	-0,00695	-0,5%
14	63	DL bezüglich Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr	2,03468	1,93600	-0,09868	-4,8%	1,44010	1,39115	-0,04895	-3,4%

15	45.1 - 45.2	Vorb. Baustellenarbeiten, Hoch- und Tiefbauarbeiten	1,90481	1,91510	0,01029	0,5%	1,36856	1,36065	-0,00791	-0,6%
16	40.1, 40.3	Elektrizität, Fernwärme, DL der Elektrizitäts- u. Fernwärmeversorgung	1,77730	1,86909	0,09178	5,2%	1,33071	1,37704	0,04634	3,5%
17	22.1	Verlagserzeugnisse	1,88808	1,86841	-0,01967	-1,0%	1,32487	1,32246	-0,00242	-0,2%
18	31	Geräte der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u. ä.	1,81878	1,86314	0,04436	2,4%	1,34849	1,36722	0,01872	1,4%
19	28	Metallerzeugnisse	1,82241	1,84137	0,01897	1,0%	1,37094	1,38643	0,01550	1,1%
20	21.1	Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe	1,78335	1,83913	0,05579	3,1%	1,34013	1,36997	0,02984	2,2%
21	14	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	1,82865	1,83715	0,00850	0,5%	1,34276	1,34066	-0,00209	-0,2%
22	29	Maschinen	1,79750	1,83615	0,03866	2,2%	1,33843	1,35984	0,02142	1,6%
23	35	Sonstige Fahrzeuge (Wasser-, Schienen-, Luftfahrzeuge u. a.)	1,76501	1,81811	0,05310	3,0%	1,32649	1,35575	0,02926	2,2%
24	62	Luftfahrtleistungen	1,74660	1,77855	0,03196	1,8%	1,32995	1,32886	-0,00109	-0,1%
25	26.1	Glas und Glaswaren	1,76661	1,76532	-0,00129	-0,1%	1,31313	1,31238	-0,00075	-0,1%

Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 18; Berechnungen des DIW Berlin

Über die Leontief-Inverse  $C$  lassen sich die gesamten Vorleistungseffekte in einer Wertschöpfungskette quantitativ ermittelt. Über die inversen Koeffizienten ( $c_{ij}$ ) können alle direkt und indirekt benötigten Produktionsmengen des Sektors  $i$  vom Sektor  $j$  im gesamten Vorleistungsverbund berechnet werden, die notwendig sind, damit der ausgewählte Bereich eine Einheit Endnachfrage produzieren kann. Durch die Bildung der Spaltensumme in der Leontief-Inversen lassen sich die Produktionsbereiche mit den größten Anstoßwirkungen für den gesamten Vorleistungsverbund ermitteln.

Der Produktionsbereich mit der größten Anstoßwirkung auf den Vorleistungsverbund je Einheit Endnachfrage ist der Bereich „Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus“. Wenn dieser Bereich Produkte im Umfang von 1 Million Euro liefert, wird im Produktionsbereich selbst und in den vorgelagerten Bereichen eine Produktion von insgesamt 2,6 Millionen Euro angestoßen. Insgesamt 8 Produktionsbereiche haben eine Anstoßwirkung größer als Faktor 2, darunter auch die bedeutenden Sektoren „Kraftwagen und Kraftwagenteile“ sowie „Chemische Erzeugnisse“. Ein wesentliches Ergebnis der Betrachtung der Verflechtung der Wirtschaftszweige ist die Aussage, dass die industriellen Sektoren in aller Regel über eine größere Anstoßwirkung auf andere inländische Wirtschaftszweige verfügen als die Dienstleistungsbereiche. Unter den 25 Bereichen mit den größten Anstoßwirkungen auf die Produktion sind nur 3 Dienstleistungsbereiche vertreten.

In der Mehrzahl der wichtigsten Branchen hat die Anstoßwirkung im Zeitraum 2000 bis 2007 zugenommen, ein Indikator für eine zunehmende Verflechtung und Arbeitsteilung zwischen den Unternehmen über den eigenen Wirtschaftsbereich hinaus.

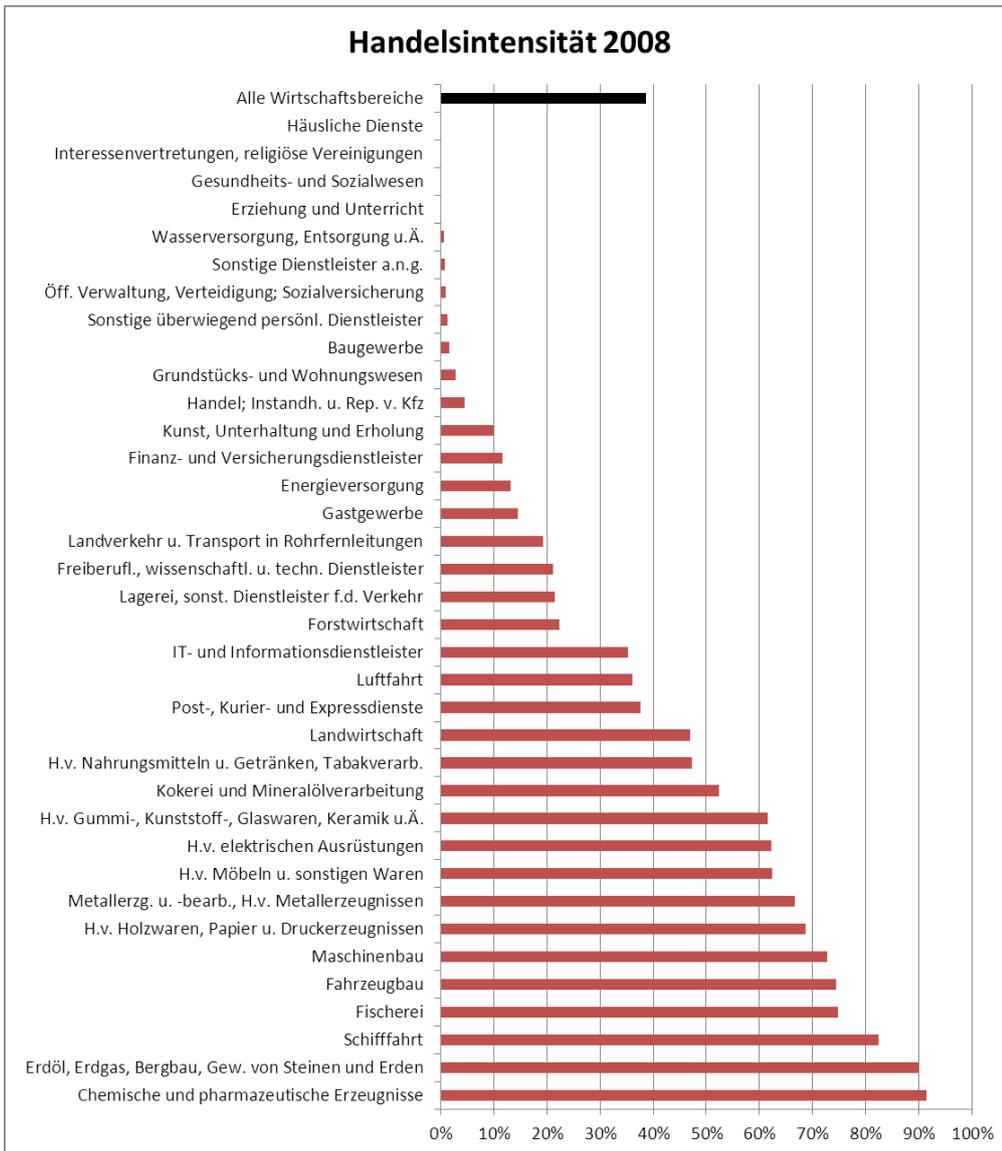
## 4.2 Außenwirtschaftliche Verflechtung

Die Wirtschaftsbereiche sind in ganz unterschiedlichem Umfang dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Kommt es zu - durch ökologische Modernisierungsmaßnahmen ausgelöst - Veränderungen der internationalen preislichen Wettbewerbsfähigkeit ausgewählter Bereiche, so ist die Bedeutung dieser Veränderungen stark davon abhängig, in welchem Umfang der jeweilige Bereich in den internationalen Austausch von Waren und Dienstleistungen eingebunden ist (vgl. zu theoretischen Ausführungen Abschnitt 3.3.1.1). Sektoren, die dem Welthandel in hohem Maße ausgesetzt sind können von wirtschaftlichen Effekten ökologischer Modernisierungsstrategien in ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit besonders betroffen sein.

Ein geeigneter Indikator für die Beurteilung der außenwirtschaftlichen Verflechtung ist die sektorale Handelsintensität. Sie ergibt sich als Summe der importierten Vorleistungen und der Exporte geteilt durch die Summe der importierten Vorleistungen und der Bruttoproduktion (vgl. Graichen et al. 2008, Eichhammer et al. 2011):

Abbildung 8 zeigt die Handelsintensität der deutschen Wirtschaftsbereiche mit dem Ausland. Die Handelsintensität wurde anhand der Produktionswerte nach Wirtschaftsbereichen und der Exporte sowie Importe nach Gütergruppen in der Gliederung der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung berechnet (StaBuA 2010c, 2011). Insgesamt weist die deutsche Volkswirtschaft mit knapp 40 Prozent eine hohe Handelsintensität und damit auch eine erhebliche außenwirtschaftliche Verflechtung auf. Besonders hohe Handelsintensitäten bestehen bei der chemischen Industrie, der Gewinnung energetischer und mineralischer Ressourcen sowie bei der Schifffahrt. Es folgen wichtige Sektoren des produzierenden Gewerbes wie der Fahrzeug- und der Maschinenbau sowie Teile der energieintensiven Industrien. Geringe Handelsintensitäten weisen dagegen die Dienstleistungsbereiche sowie das Baugewerbe auf.

Abbildung 8: Handelsintensitäten der deutschen Wirtschaftsbereiche für 2008



Für die Sektoren „Herstellung von Textilien, Bekleidung, Lederwaren u. Schuhen“ sowie „Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“ ist die Bestimmung der Handelsintensität aufgrund statistischer Abgrenzungsprobleme zwischen Wirtschaftsbereichen und Gütergruppen problematisch; diese Wirtschaftsbereiche weisen aber tendenziell hohe Handelsintensitäten auf. Quelle: StaBuA (2010c, 2011) und Berechnungen des DIW Berlin.

Die in Abbildung 8 gezeigten Handelsintensitäten werden durch Befunde aus der Literatur bestätigt und ergänzt. Graichen et al. (2008) untersuchen im Kontext des Emissionshandels die Handelsintensität der deutschen Produktionsbereiche sowohl mit nicht-EU-Ländern insgesamt als auch mit solchen nicht-EU-Ländern, die zudem keine OECD-Länder sind. Auch in der dortigen Darstellung weisen chemische Erzeugnisse und die Energierohstoffe die größten Handelsintensitäten auf. Die Handelsintensitäten sind aber tendenziell kleiner als in Abbildung 8 dargestellt, da der Handel mit dem EU-Ausland nicht berücksichtigt wird. Eichhammer et al. (2011) stellen die inner- und außereuropäische Handelsintensität des produzierenden Gewerbes differenziert anhand der Sektorgliederung der Energiebilanzen dar. Bei der außereuropäischen Handelsintensität weist der Maschinenbau mit knapp 80 Prozent den mit Abstand höchsten Wert auf. Bei der innereuropäischen Handelsintensität liegt der Maschinenbau mit gut 80 Prozent ebenfalls vorn; hohe Werte erreichen jedoch auch Teile der chemischen Industrie, der

Metallbearbeitung, des Fahrzeugbaus und einiger anderer Sektoren des verarbeitenden Gewerbes.

### **4.3 Anpassungsfähigkeit der Sektoren an die Herausforderungen der ökologischen Modernisierung**

Die Wirtschaftsbereiche können in unterschiedlichem Umfang auf Änderungen ihrer Rahmenbedingungen für wirtschaftliches Handeln reagieren. Von Bedeutung sind zum einen die Möglichkeiten, durch die Anpassung der Produktionsprozesse und des Kapitalstocks zu reagieren. Dies hängt im Wesentlichen von Eigenschaften des sektoralen Kapitalstocks ab (Nutzungsdauer der Kapitalgüter und Modernitätsgrad des Kapitalstocks) und hat unmittelbare Auswirkungen auf das Risiko, dass bestehende Produktionsanlagen auf Grund von Anforderungen einer ökologischen Modernisierung vorzeitig und damit kostensteigernd abgeschrieben werden müssen. Darüber hinaus wird die Möglichkeit der Anpassung der Produktionsprozesse und des Produktspektrums vom Ausmaß der Innovationsaktivitäten in den jeweiligen Sektoren beeinflusst. Branchen mit einer großen Dynamik im Innovationsprozess dürfte die Anpassung an die Herausforderungen einer ökologischen Modernisierung leichter fallen.

#### **4.3.1 Anpassungsfähigkeit des Kapitalstocks**

Die Anpassungsfähigkeit der Wirtschaftsbereiche an die Herausforderungen im Strukturwandel, wird von Eigenschaften und Charakteristika der eingesetzten Produktionsanlagen beeinflusst. Eine lange Nutzungsdauer und ein niedriger Modernitätsgrad der Produktionsanlagen erschweren den Strukturwandel bzw. erhöhen die Kosten der Anpassung.

Die Produktionsanlagen eines Wirtschaftsbereichs werden in ökonomischer Perspektive durch die über einen längeren Zeitraum getätigten Anlageinvestitionen beschrieben, wobei üblicherweise zwischen Bau- und Ausrüstungsinvestitionen unterschieden wird. Der sich aus verschiedenen Investitionsjahrgängen zusammensetzende Bestand an Produktionsanlagen wird als Bruttokapitalstock (Bruttoanlagevermögen) bezeichnet. Der Kapitalstock wird nach der Kumulationsmethode (Perpetual-Inventory-Methode) berechnet. Er besteht aus Zugängen an Anlagevermögensgütern in der Vergangenheit, die um Abgänge in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer der Kapitalgüter bereinigt werden. Die Anpassungsfähigkeit ergibt sich aus der durchschnittlichen Nutzungsdauer der Kapitalgüter in den einzelnen Wirtschaftsbereichen. Eine kürzere Nutzungsdauer erhöht die Anpassungsfähigkeit des Wirtschaftsbereichs, weil bestehende Produktionsanlagen schneller aus dem Anlagenbestand ausscheiden und dann kostengünstig durch umweltverträglichere Produktionsanlagen ersetzt werden können.

In der Anlagevermögensrechnung im Rahmen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, in der die Abschreibungen nach einem linearen Ansatz vorgenommen werden, kann die durchschnittliche Nutzungsdauer aus der Division von Abschreibungen und Anlagevermögen (zu Wiederbeschaffungspreisen) abgeleitet werden.<sup>27</sup> Im Durchschnitt über alle Bereiche

---

<sup>27</sup> Die dafür notwendigen Daten liegen bisher noch in Systematik WZ 2003 mit dem aktuellen Wert für das Berichtsjahr 2007 vor. Die Daten beziehen sich auf das Anlagevermögen der Wirtschaftsbereiche ohne Unterteilung nach Bauten und Ausrüstungen.

beträgt die Nutzungsdauer der Kapitalgüter gut 33 Jahre bzw. knapp 32 Jahre im Unternehmensbereich.

Betrachtet man jeweils die 15 Wirtschaftsbereiche mit der kürzesten und mit der längsten Nutzungsdauer erhält man einen Eindruck von der unterschiedlichen Anpassungsfähigkeit des Kapitalstocks der Sektoren. Im Jahr 2007 hatte der Bereich Datenverarbeitung und Datenbanken mit 6,8 Jahren die mit Abstand kürzeste Nutzungsdauer, der Bereich mit der zweitkürzesten Nutzungsdauer sind sonstige Dienstleister mit 11,1 Jahren. Auch wichtige industrielle Sektoren wie die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (12,8 Jahre) und der Maschinenbau (14,9 Jahre) haben eine relativ kurze Nutzungsdauer für ihre Produktionsanlagen.

Tabelle 5: Nutzungsdauer des Kapitalstocks (Anlagevermögen) in den Jahren 2000 und 2007

Sektoren mit kürzester und längster Lebensdauer im Jahr 2007

Rangplatz	WZ 2003	Wirtschaftsgliederung	2000	2007
1	72	Datenverarbeitung und Datenbanken	5,7	6,8
2	93	Sonstige Dienstleister	11,6	11,1
3	22	Verlags-, Druckgewerbe, Vervielfältigung	12,0	11,6
4	71	Verm. bewegl. Sachen oh. Bedienungspersonal	10,0	11,7
5	34	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	13,9	12,8
6	32	Rundfunk- u. Nachrichtentechnik	13,5	13,1
7	37	Recycling	16,3	14,3
8	31	H. v. Geräten d. Elektriz.erzg., -verteilung u. ä.	15,2	14,6
9	DH	H. v. Gummi- und Kunststoffwaren	15,1	14,7
10	28	H. v. Metallerzeugnissen	16,0	14,9
11	33	Medizin-, Mess-, Steuertechnik, Optik, H. v. Uhren	15,9	14,9
12	DK	Maschinenbau	16,0	14,9
13	62	Luftfahrt	15,4	15,0
14	35	Sonstiger Fahrzeugbau	16,5	15,2
15	74	Dienstleister überwiegend für Unternehmen	15,8	15,3
.....			.....	.....
40	63	Hilfs- u. Nebentätigkeiten f. d. Verkehr, Verkehrsverm.	32,1	28,2
41	40	Energieversorgung	28,5	28,6
42	H	Gastgewerbe	26,3	29,3
43	N	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	30,9	30,7
44	65	Kreditgewerbe	24,3	31,1
45	01	Landwirtschaft und Jagd	32,6	33,8
46	41	Wasserversorgung	38,1	41,0
47	66	Versicherungsgewerbe	38,8	43,1
48	90	Erbringung von Entsorgungsleistungen	42,7	43,1
49	L	Öff. Verw., Verteidigung, Sozialversicherung	42,2	43,6
50	91	Interessenvertr., kirchl. u. sonst. Vereinigungen	44,2	44,7
51	M	Erziehung und Unterricht	45,6	45,3
52	B	Fischerei und Fischzucht	48,9	51,0

53	02	Forstwirtschaft	47,6	55,5
54	70	Grundstücks- und Wohnungswesen	64,6	61,9
85	A bis P	Alle Wirtschaftsbereiche	32,8	33,6
86		nachrichtlich: Unternehmen 1)	31,1	31,9

1) Alle Wirtschaftsbereiche ohne Staat und private Organisationen ohne Erwerbszweck.

Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 18; Berechnungen des DIW Berlin.

Am unteren Ende der Rangliste stehen das Grundstücks- und Wohnungswesen (61,9 Jahre), weil hier die Bauten dominieren, die grundsätzlich eine lange Lebensdauer aufweisen. Auch die Forstwirtschaft und Fischerei und Fischzucht haben lange Nutzungsdauern ihrer Anlagen. Vorwiegend staatlich organisierte Bereich wie Erziehung und Unterricht sowie öffentliche Verwaltung, Verteidigung und Sozialversicherung nutzen ihre Anlagen, bei denen wiederum Gebäude eine große Rolle spielen dürften, lange. Auch die Wasserversorgung (41 Jahre) und die Energieversorgung (28,6 Jahre) sind auf Grund der Nutzungsdauer ihres Kapitalstocks in der Anpassungsfähigkeit beschränkt oder von höheren Anpassungskosten bedroht.

Bei der Darstellung des Kapitalstocks nach dem Bruttokonzept (Bruttoanlagevermögen) werden Anlagengüter mit ihrem Neuwert ohne Berücksichtigung der Wertminderung durch Abschreibungen ausgewiesen, während bei der Darstellung nach dem Nettokonzept (Nettoanlagevermögen) die seit dem Investitionszeitpunkt aufgelaufenen Abschreibungen abgezogen sind. Das Verhältnis von Netto- zu Bruttoanlagevermögen wird als Modernitätsgrad bezeichnet. Diese Kenngröße drückt aus, wie viel Prozent des Vermögens noch nicht abgeschrieben sind (durch Verschleiß im Wert gemindert) und gibt damit Aufschluss über den Alterungsprozess des Anlagevermögens.

Im Weiteren wird auf den Modernitätsgrad der Ausrüstungen abgestellt. Ausrüstungsgüter (Maschinen und Anlagen) beschreiben die Produktionsverfahren und -technologien einer Volkswirtschaft im engeren Sinne, während die (in der Regel sehr langlebigen) Gebäude als „Hülle“ der Produktionsprozesse nicht im Fokus der Modernisierung der Produktion stehen. Deshalb wird bei der Darstellung des Modernitätsgrades des Kapitalstocks auf die Ausrüstungen abgestellt. Auch ausgewiesen ist die Veränderungsrate von Nettoausrüstungs- und Bruttoausrüstungsvermögen in diesem Zeitraum. Für die Volkswirtschaft insgesamt beträgt der Modernitätsgrad im Jahr 2008 53,0 Prozent (51,5 Prozent im Jahr 2000). Zuletzt waren also 53 Prozent des gesamten Bestands an Ausrüstungen noch nicht durch Abschreibungen gemindert. Aus der Tabelle ist auch ersichtlich, dass bei einem Wachstum des Ausrüstungsvermögens der Volkswirtschaft insgesamt von 14,5 Prozent (Netto) und 11,1 Prozent (Brutto) eine große Anzahl von Wirtschaftsbereichen einen schrumpfenden Kapitalstock aufweisen, dies gilt insbesondere auch für zahlreiche industrielle Bereiche. Die größte Schrumpfung mit über -60 Prozent weist der Kohlenbergbau auf. Aber auch der Kapitalstock der Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgerät und -Einrichtungen ist um über 50 Prozent geschrumpft.

Betrachtet man die Modernitätsgrade der 15 Wirtschaftsbereiche, die den ältesten bzw. den modernsten Bestand an Ausrüstungen haben, sieht man eine erhebliche Spannweite. Den modernsten Ausrüstungsbestand hat die Schifffahrt mit einem Modernitätsgrad von 71,8 Prozent, den ältesten Ausrüstungsbestand hat die Forstwirtschaft mit 28,7 Prozent. In der Tendenz weisen jene Wirtschaftszweige einen geringen Modernitätsgrad auf, deren Bestand an Ausrüstungsgütern einem starken Schrumpfungsprozess ausgesetzt sind (weil Ersatzinvestitionen unterbleiben), während jene Bereiche, deren Bestand an Produktionsanlagen wächst, einen höheren Modernitätsgrad aufweisen.

Tabelle 6: Modernitätsgrad des Kapitalstocks (Ausrüstungen) in den Jahren 2000 und 2008

Sektoren mit niedrigem und hohem Modernitätsgrad im Jahr 2008

Rangplatz	WZ 2003	Wirtschaftsgliederung	Wachstumsrate des Nettovermögen	Wachstumsrate des Bruttovermögen	Modernitätsgrad des Kapitalstocks	
			2008/2000	2008/2000	2000	2008
1	61	Schifffahrt	100,7%	81,3%	64,9%	71,8%
2	B	Fischerei und Fischzucht	24,4%	20,6%	60,3%	62,2%
3	63	Hilfs- u. Nebentätigkeiten f. d. Verkehr, Verkehrsverm.	66,3%	52,0%	54,8%	60,0%
4	92	Kultur, Sport und Unterhaltung	60,0%	48,1%	54,9%	59,3%
5	71	Verm. bewegl. Sachen oh. Bedienungspersonal	49,9%	50,3%	57,0%	56,8%
6	N	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	37,8%	33,7%	54,9%	56,6%
7	73	Forschung und Entwicklung	45,8%	39,8%	54,2%	56,5%
8	72	Datenverarbeitung und Datenbanken	94,1%	113,4%	61,2%	55,7%
9	37	Recycling	37,0%	22,0%	49,5%	55,6%
10	62	Luftfahrt	21,6%	12,2%	50,7%	54,9%
11	91	Interessenvertr., kirchl. u. sonst. Vereinigungen	14,7%	8,8%	51,8%	54,6%
12	66	Versicherungsgewerbe	11,9%	12,5%	54,6%	54,3%
13	60	Landverkehr; Transport i. Rohrfernleitungen	14,4%	10,2%	52,3%	54,3%
14	51	Handelsvermittlung u. Großhandel (oh. Kfz)	13,4%	10,8%	52,6%	53,9%
15	74	Dienstleister überwiegend für Unternehmen	74,9%	84,9%	56,7%	53,6%
....			....	....	....	....
40	DC	Ledergewerbe	-26,3%	-32,6%	44,2%	48,3%
41	DG	H. v. chemischen Erzeugnissen	-3,5%	-0,1%	49,8%	48,1%
42	H	Gastgewerbe	-26,7%	-24,0%	49,7%	48,0%

43	31	H. v. Geräten d. Elektriz.erzgg., - verteilung u. ä.	-8,2%	-9,7%	47,0%	47,9%
44	15	Ernährungsgewerbe	-13,2%	-12,5%	47,1%	46,7%
45	27	Metallerzeugung und -bearbeitung	4,6%	2,9%	45,9%	46,7%
46	36	H. v. Möbeln, Schmuck, Musikinstr., Sportger. usw.	-27,9%	-22,8%	48,9%	45,7%
47	F	Baugewerbe	-34,5%	-28,8%	49,4%	45,5%
48	DI	Glasgewerbe, H. v. Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	-31,9%	-22,6%	49,9%	43,9%
49	18	Bekleidungsgewerbe	-30,9%	-27,5%	44,5%	42,4%
50	10	Kohlenbergbau, Torfgewinnung	-60,4%	-63,0%	39,2%	42,0%
51	17	Textilgewerbe	-39,2%	-36,9%	43,2%	41,7%
52	30	H.v.Büromasch.,DV-Geräten u.- Einrichtungen	-54,5%	-51,7%	42,4%	40,0%
53	90	Erbringung von Entsorgungsleistungen	-59,6%	-54,7%	43,2%	38,5%
54	02	Forstwirtschaft	-7,9%	15,4%	36,0%	28,7%
	A bis P	<b>Alle Wirtschaftsbereiche</b>	14,5%	11,1%	51,5%	53,0%
		nachrichtlich: Unternehmen 1)	15,4%	12,3%	51,7%	53,1%
		Staat	-11,2%	-16,8%	46,4%	49,5%

1) Alle Wirtschaftsbereiche ohne Staat und private Organisationen ohne Erwerbszweck. Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 18; Berechnungen des DIW Berlin

#### 4.3.2 Anpassungsfähigkeit der Produkte und Produktionsprozesse

Die Möglichkeiten der Anpassung der Wirtschaftsbereiche an geänderte Kosten- und Nachfragebedingungen werden vom Potential und vom realisierten Umfang der jeweiligen Veränderungen der Produktionsprozesse und des Produktspektrums beeinflusst.

Wirtschaftsbereiche mit größeren FuE-Anstrengungen und einer erheblichen Innovationsdynamik dürfte die Anpassung an die Herausforderungen einer ökologischen Modernisierung schneller gelingen als Bereichen mit sich nur langsam wandelnden Produkten und Prozessen. Die quantitative Messung von Innovationsaktivitäten bereitet jedoch erhebliche Schwierigkeiten. In der empirisch orientierten Innovationsforschung wird versucht, entweder den Input in den Innovationsprozess oder den Output des Innovationsprozesses zu messen. Als inputorientierte Indikatoren werden in der Regel die FuE-Ausgaben sowie die FuE-Beschäftigten herangezogen, als outputorientierte Indikatoren kommen in erster Linie Patente in Frage. Patente lassen sich eher speziell abgegrenzten Technologien oder Technologielinien zuordnen, sie werden im Allgemeinen für differenzierte, auf Teilbereiche fokussierte Untersuchungen des Innovationsprozesses ausgewertet. Eine flächendeckende, sektoral differenzierte Zuordnung ist schwierig.

Die inputorientierten Indikatoren FuE-Ausgaben und FuE-Beschäftigte liegen dagegen für Deutschland in tiefer sektoraler Zuordnung vor (FuE-Datenreport 2011; NIW, Stifterverband

2010). Sowohl die internen FuE-Aufwendungen wie auch die FuE-Gesamtaufwendungen konzentrieren sich in Deutschland im Verarbeitenden Gewerbe und dort wiederum auf wenige wichtige Wirtschaftsbereiche. Die größten Aufwendungen werden im Bereich Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (18,8 Mrd. Euro im Jahr 2009) getätigt, gefolgt vom Bereich Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (6,8 Mrd. Euro), Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (5,1 Mrd. Euro), dem Maschinenbau (4,9 Mrd. Euro) und der Herstellung von chemischen Erzeugnissen (3,6 Mrd. Euro). Auf diese fünf Bereiche entfallen mehr als 80 Prozent der FuE-Gesamtaufwendungen der deutschen Volkswirtschaft. Diese Bereiche dominieren auch bei den internen FuE-Aufwendungen, dort entfallen auf sie ebenfalls gut 80 Prozent. Der Personaleinsatz für Forschungs- und Entwicklungsaufgaben gemessen als FuE-Personalintensität ist im Wirtschaftsbereich Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen am höchsten (17,1 Prozent), gefolgt vom Bereich Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (16,1 Prozent).

Das Potential der Wirtschaftsbereiche für die Entwicklung neuer Prozesse und Produkte lässt sich – wenn man auf FuE-Inputindikatoren abstellt – an der FuE-Intensität festmachen. Die Wirtschaftsbereiche, die gemessen an ihrem Umsatz die größten Aufwendungen für Forschung und Entwicklung aufweisen, dürften auch großes Potential für Innovationen bei Produktionsprozessen und bei Produkten haben. Zudem kann eine hohe FuE-Intensität als Zeichen dafür gesehen werden, dass FuE für die Mehrzahl der Unternehmen aus diesen Wirtschaftsbereichen einen hohen Stellenwert hat. In der folgenden Tabelle sind die Wirtschaftsbereiche des Verarbeitenden Gewerbes nach der Höhe ihrer FuE-Intensität bei den FuE-Gesamtaufwendungen sortiert.

Tabelle 7: FuE -Intensitäten im Verarbeitenden Gewerbe in den Jahren 2007 und 2009

		FuE-Intensität in %				FuE-Personal-Intensität in %	
		FuE-Gesamt-aufwendungen		Interne FuE-Aufwendungen			
		2007	2009	2007	2009	2007	2009
21	H. v. pharmazeutischen Erzeugnissen	14,5	17,9	10,7	13,7	16,7	16,1
26	H. v. DV-Geräten, elektronischen u. opt. Erzeugnissen	12,0	14,2	9,6	12,1	16,8	17,1
30	Sonstiger Fahrzeugbau	10,0	10,0	7,5	6,8	9,7	9,2
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	6,3	8,8	4,7	6,4	10,9	11,5
C 10-33	Verarbeitendes Gewerbe	3,4	4,2	2,7	3,4	4,2	4,3
20	H. v. chemischen Erzeugnissen	3,3	4,0	3,0	3,5	6,9	6,8
28	Maschinenbau	2,4	3,2	2,2	2,9	3,8	3,7
32	H. v. sonstigen Waren	2,4	3,2	2,1	2,7	1,9	1,9
33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	2,2	2,9	1,5	2,3	1,7	1,5
27	H. v. elektrischen Ausrüstungen	1,8	1,8	1,6	1,7	2,8	2,8
22	H. v. Gummi- und Kunststoffwaren	1,5	1,7	1,5	1,6	2,1	2,1
25	H. v. Metallerzeugnissen	0,9	1,1	0,7	1,0	0,9	0,9
23	H. v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	1,1
14	H. v. Bekleidung	0,5	0,9	0,4	0,8	0,9	1,6
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	0,4	0,9	0,4	0,8	1,1	1,6
13	H. v. Textilien	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9
18	H. v. Druckerz., Vervielf. bespielter Ton-, Bild- u. Datentr.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	0,3	0,4	0,3	0,4	2,0	
31	H. v. Möbeln	0,8	0,4	0,7	0,3	0,9	0,4
15	H. v. Leder, Lederwaren und Schuhen	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
10-12	H. v. Nahrungs- u. Genussmitteln, Getränken u. Tabakerzeugn.	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3
17	H. v. Papier, Pappe und Waren daraus	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5

16	H. v. Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
----	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Quellen: SV-Wissenschaftsstatistik; Statistisches Bundesamt; Berechnungen des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (NIW).

Der Wirtschaftsbereich mit dem größten finanziellen FuE-Aufwand gemessen am Umsatz ist die Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (FuE-Intensität von 17,9 Prozent). Dieser Bereich dürfte vor allem durch eine hohe Innovationsrate bei Produkten gekennzeichnet sein. Es folgen Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (14,2 Prozent) und sonstiger Fahrzeugbau (10,0 Prozent). Andere Wirtschaftsbereiche, auf die im Zuge einer ökologischen Modernisierung unter Umständen erhebliche Anpassungserfordernisse zukommen werden, verfügen dagegen über eine geringe FuE-Intensität. Beispielfähig können die Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus (0,2 Prozent FuE-Intensität) oder die Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steine und Erden (1,0 Prozent) genannt werden.

### 4.3.3 Anpassungsfähigkeit an die Qualifikationsbedarfe der ökologischen Modernisierung

Mit einer ökologischen Modernisierung ist ein Strukturwandel des Arbeitsmarktes verbunden. Unter dem Gesichtspunkt einer wirtschafts- und sozialverträglichen Ausgestaltung der ökologischen Modernisierung sind insbesondere die Veränderungen von Qualifikationsanforderungen von Bedeutung. Sie sind im Kontext der generellen mittelfristigen Tendenzen des Angebots und der Nachfrage nach Qualifikationen zu betrachten. Die folgenden Ausführungen stützen sich auf vorliegende Studien, die sich meist auf Aspekte der Qualifikationswirkungen des Klimaschutzes beziehen (s. dazu Blazejczak 2012; Blazejczak und Edler 2011).

#### 4.3.3.1 Mittelfristige Tendenzen von Qualifikationsangebot und Qualifikationsnachfrage

Bei den Geringqualifizierten steht bis zum Jahr 2025 dem sinkenden Arbeitskräfteangebot ein Rückgang des Bedarfs in ähnlichem Ausmaß gegenüber, so dass es mittelfristig bei einem Überangebot bleibt (Helmrich und Zika 2010; Helmrich et al. 2010; Maier et al. 2010). Bei mittleren Qualifikationsniveaus sind Engpässe absehbar: während der Bedarf an Arbeitskräften noch zunimmt, geht das Angebot zurück; je nach den Annahmen über die Entwicklung von Demografie und Erwerbsbeteiligung sowie über die Trends zur Höherqualifizierung übersteigt der Bedarf das Angebot zu einem Zeitpunkt zwischen dem Ende dieses und der Mitte des nächsten Jahrzehnts. Bei einem starken Trend zur Höherqualifizierung kann es bei Hochqualifizierten sogar zu einem Überangebot kommen. Es ist jedoch auch möglich, dass der Arbeitsmarkt für Hochqualifizierte auf mittlere Sicht angespannt bleibt. Als zentrale bildungspolitische Aufgabe zeichnet sich die Qualifizierung von Geringqualifizierten zu einem mittleren Qualifikationsniveau ab.

Unter Berücksichtigung der Flexibilität, die sich dadurch ergibt, dass viele Arbeitskräfte vom erlernten Beruf oder auch als Ungelernte in einen anderen Beruf wechseln, lassen sich als Berufsfelder, in denen das Arbeitskräfteangebot hinter dem -bedarf zurückbleibt, z. B. die Rechts-, Management- und wirtschaftswissenschaftlichen Berufe sowie die Gesundheits- und Sozialberufe und körperpflegerische Berufe identifizieren. Zu den Berufsfeldern mit ausreichendem Arbeitskräfteangebot gehören etwa Maschinen und Anlagen steuernde und wartende Berufe. Bei technisch-naturwissenschaftlichen wie auch einigen anderen Berufen wird der Bedarf durch das Angebot rechnerisch gerade noch gedeckt.

#### 4.3.3.2 Sektorstruktureffekte

Weil sich die Qualifikationsprofile der Wirtschaftssektoren voneinander unterscheiden, bedeutet jeder sektorale Strukturwandel der Beschäftigung gleichzeitig einen Wandel der Qualifikationsstruktur nach erforderlichen Qualifikationsniveaus und -inhalten. In der Vergangenheit war der sektorale Strukturwandel ursächlich für rund die Hälfte des Wandels der Qualifikationsanforderungen; die andere Hälfte ging auf veränderte intrasektorale Qualifikationsmuster zurück (Leszczensky et al. 2009).<sup>28</sup>

Der höchste Anteil von Erwerbstätigen mit geringem Qualifikationsniveau findet sich 2008 im Primärsektor, der geringste im Tertiärsektor (Schmidt 2010). Umgekehrt ist der Anteil der Erwerbstätigen mit hohem Qualifikationsniveau im Tertiärsektor am höchsten und im Primärsektor am niedrigsten. Innerhalb des Tertiärsektors rangiert der Anteil der Hochqualifizierten zwischen über 60 Prozent in Forschung und Entwicklung und rund 8 Prozent im Gastgewerbe. In wissensintensiven Wirtschaftszweigen des Produzierenden Gewerbes beträgt die Hochqualifiziertenquote (gemessen als Anteil der Hochschulabsolventen an den Beschäftigten 2007) 15 Prozent und im Schwerpunkt Elektronik/IKT sogar 18,4 Prozent, während sie im Durchschnitt des Produzierenden Gewerbes nur 8,8 Prozent ausmacht (Leszczensky et al. 2009).

Eine ökologische Modernisierung löst einen zusätzlichen sektoralen Strukturwandel der Beschäftigung aus und ist somit ein wichtiger Treiber zukünftiger Qualifikationsbedarfe (European Commission 2009). Wenn sich im Zuge der ökologischen Modernisierung das Gewicht der Beschäftigung im Tertiär- und Sekundärsektor erhöht, in denen der Anteil Erwerbstätiger mit hohem Qualifikationsniveau höher ist als im Primärsektor (Schmidt 2010), wird der Anteil der Beschäftigten mit hohen Qualifikationsanforderungen insgesamt steigen.

#### 4.3.3.3 Intrasektoraler Strukturwandel

Das Ausmaß der Arbeitsplatzwechsel zwischen Unternehmen derselben Sektoren ist höher als das Ausmaß intersektoraler Arbeitsplatzwechsel (OECD 2011a, European Trade Union Confederation et al. 2007). Ein Arbeitsplatzwechsel innerhalb einer Branche ist im Allgemeinen mit geringeren Suchzeiten und Umqualifizierungsnotwendigkeiten verbunden.

Intrasektorale Strukturverschiebungen treten auf der Leistungsseite auf, weil es in vielen Sektoren eine Anzahl von Anbietern gibt, für die sich durch eine ökologische Modernisierung neue Geschäftsfelder eröffnen. Zudem nutzen einzelne Unternehmen die Chancen, die eine ökologische Modernisierung bietet, in unterschiedlichem Maße und auf unterschiedliche Weise. Auf der Kostenseite treten intrasektorale Strukturverschiebungen auf, weil einzelne Unternehmen unterschiedlich gut gerüstet sind, die Risiken und Belastungen durch eine ökologische Modernisierung zu bewältigen.

Ein starker intrasektoraler Strukturwandel ist bei einer ökologischen Modernisierung in der Energiewirtschaft zu erwarten. Ein dominierendes Merkmal dürfte der Übergang von vormals zentralen hin zu dezentraler organisierten Versorgungsstrukturen sein. Zudem dürfte der Installations- und Wartungsaufwand von kleinteiligen Anlagen zur Nutzung erneuerbarer

---

<sup>28</sup> Bei empirischen Analysen hängt das ermittelte Ausmaß des inter- und intrasektoralen Strukturwandels von der gewählten Sektorklassifikation ab; je detaillierter die Sektorklassifikation, desto größer der inter- und desto kleiner der intrasektorale Strukturwandel.

Energien Beschäftigungschancen auch für mittelständische spezialisierte Handwerks- und Servicebetriebe bieten.

Auch im Verkehrssektor würden Politiken, die das Verkehrsaufkommen dämpfen und zwischen den Verkehrsträgern verschieben, intrasektoralen Strukturwandel bedeuten (European Trade Union Confederation et al. 2007). So könnte die Beschäftigung bei Eisenbahnen zunehmen und die beim LKW-Verkehr geringer ausfallen. Ein Ausbau der Elektromobilität dürfte im Automobilbau zumindest vorübergehend zu veränderten Qualifikationsanforderungen führen.

Einen Vergleich der Qualifikationsprofile in Umweltschutzbereichen mit denen der Gesamtwirtschaft erlaubt eine Studie der OECD für das Jahr 2000 (OECD 2004). Danach beträgt der Anteil der Universitätsabsolventen im Öko-Consulting in Deutschland 54 Prozent gegenüber 15 Prozent im Durchschnitt aller Sektoren. In der Umweltschutzwirtschaft (Eco-Industry) betrug der Anteil von Akademikern hingegen nur 6 Prozent und bei der Abfallentsorgung 5 Prozent. Demgegenüber betragen die Anteile Geringqualifizierter (compulsory school, no learning certificate) im Öko-Consulting 2 Prozent und in der Umweltschutzwirtschaft 28 Prozent bei 14 Prozent in der Gesamtwirtschaft.

Bei forcierter Klimaschutzpolitik wird innerhalb der Sektoren aufgrund des hohen Innovationsgrades vieler Klimaschutztechnologien mit höheren Qualifikationsanforderungen gerechnet (Mohaupt et al. 2011, Dupressoir 2009, European Trade Union Confederation et al. 2007). Allerdings entstehen auch Arbeitsplätze mit geringeren Qualifikationsanforderungen, z. B. bei der Wärmedämmung von Gebäuden und im Zusammenhang mit der Produktion von Biokraftstoffen, und selbst in einer technologieintensiven, jungen Branche wie dem Erneuerbare-Energien-Sektor gibt es mit 5 Prozent einen relativ hohen Anteil Angelernter. Facharbeiter machen 41 Prozent der Beschäftigten aus, kaufmännische Angestellte 27 Prozent, Akademiker 19 Prozent und Meister und Techniker 8 Prozent (Bühler et al. 2007).

Die Bedeutung spezifischer Qualifikationsinhalte für eine ökologische Modernisierung dürfte begrenzt bleiben. Völlig neue Qualifikationsprofile werden kaum erforderlich sein, aber branchenspezifische Ergänzungen, die im Rahmen von Zusatzmodulen zu klassischen Fachausbildungen, durch Fortbildungsmaßnahmen oder im Arbeitsprozess erworben werden können. Spezifische Qualifikationen, die in dieser Branche gefordert werden, umfassen u. a. die Beratung von Kunden über verfügbare technische Lösungen, Energiesparberatung, Ferndiagnose und -reparatur (Kuwan et al. 2009).

Eine ökologische Modernisierungsstrategie dürfte die Bedeutung von überfachlichen Qualifikationen wie Kommunikations-, Kooperations- und Teamfähigkeit, Eigeninitiative, Lernbereitschaft, Flexibilität und Sprachkenntnissen noch verstärken (Mohaupt et al. 2011, Bühler et al. 2007). Darauf verweist auch ein Projekt zur Früherkennung von Qualifikationsbedarfen (Kuwan et al. 2009). Es listet Kundenorientierung, die flexible Anpassung an wechselnde Anforderungen, permanente Lernbereitschaft, Übersicht über Unternehmensprozesse, unternehmerisches Denken und Informationsbeschaffung als wichtige Querschnittsqualifikationen auf.

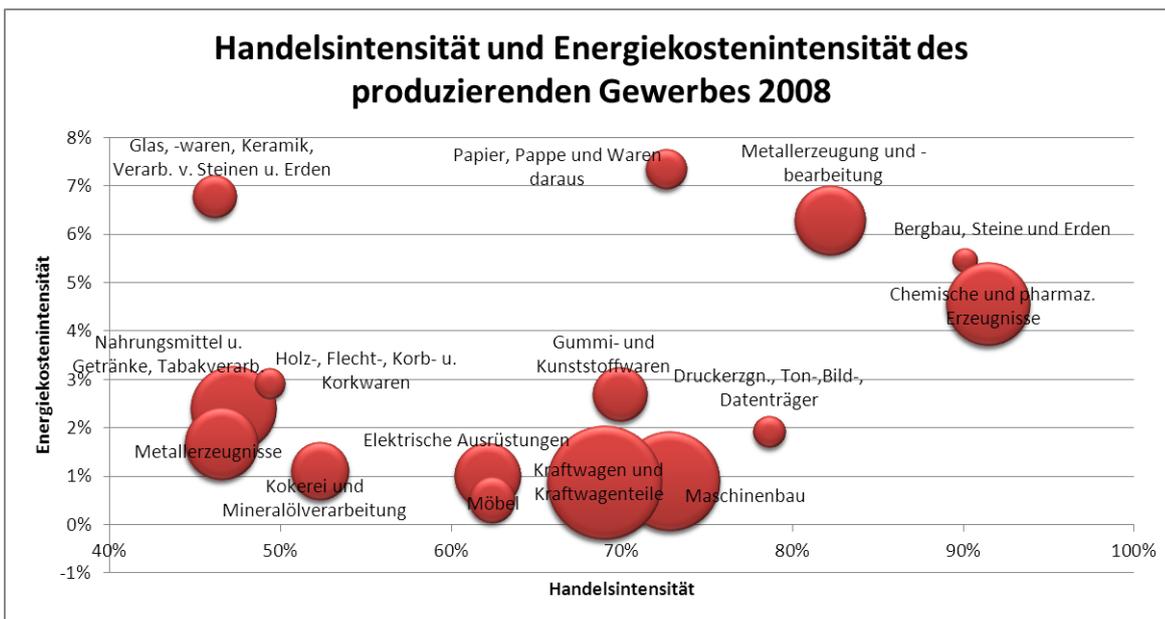
#### **4.4 Schwerpunktsektoren im Rahmen einer ökologischen Modernisierung**

Aufgrund ihrer Umwelt- und Ressourceninanspruchnahme (Abschnitt 2.2) und ihrer wirtschaftlichen Bedeutung (Abschnitt 4.1) können Schwerpunktsektoren identifiziert werden, auf die im Rahmen einer ökologischen Modernisierung die Aufmerksamkeit zu fokussieren ist. Die Berücksichtigung der außenwirtschaftlichen Verflechtung (Kapitel 4.2) und der

Anpassungsfähigkeit (Abschnitt 4.3) der Sektoren kann zudem auf Konflikt- und Synergiepotenziale hinweisen.

Abbildung 9 zeigt in vertikaler Richtung die Energiekostenintensität des produzierenden Gewerbes in der Gliederung der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (StaBuA 2010c, 2011; s. auch Eichhammer et al. 2011). Dabei repräsentiert die Größe der Blasen den Anteil des Sektors an der gesamten Bruttonominalproduktion. Die höchsten Werte der Energiekostenintensität unter den dargestellten Sektoren weisen die Papierherstellung, die Glas- und Keramikindustrie, die Metallherzeugung und -bearbeitung, der Bergbau und die Gewinnung von Steinen und Erden sowie die Chemische Industrie auf. Diese Sektoren sind von Maßnahmen, die zu einer Verteuerung von Energie führen, besonders stark betroffen. Die größte wirtschaftliche Bedeutung unter den genannten Sektoren haben die Chemische Industrie und die Metallherzeugung und -bearbeitung. In diesen Sektoren bestehen also große Potentiale für Beiträge zu gesamtwirtschaftlichen Energieeinsparungszielen. Weitere Sektoren wie der Fahrzeugbau, der Maschinenbau und die Nahrungsmittelindustrie mit geringerer Energiekostenintensität können aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung dennoch Schwerpunktsektoren ökologischer Modernisierungsstrategien darstellen.

Abbildung 9: Zusammenhang von Handelsintensität, Energiekostenintensität und Produktionswert für das produzierende Gewerbe in Deutschland 2008.



Die Fläche der Blasen spiegelt die Höhe des sektoralen Produktionswerts wider. Die Sektoren „Herstellung von Textilien, Bekleidung, Lederwaren u. Schuhen“, „Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“ sowie „Sonstiger Fahrzeugbau“, die tendenziell hohe Handelsintensitäten aufweisen, sind aufgrund statistischer Abgrenzungsprobleme nicht enthalten. Quelle: StaBuA (2010b, 2010c, 2011) und Berechnungen des DIW Berlin.

Zusätzlich zeigt Abbildung 9 in horizontaler Richtung die Handelsintensität der Sektoren. Nur wenige Sektoren wie die Metallherzeugung und -bearbeitung, die Chemische Industrie und die Papierherstellung verfügen gleichzeitig über eine hohe Energiekostenintensität und eine hohe Handelsintensität. Für Sektoren, „oben rechts“ im Diagramm können Ausnahmeregelungen zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit sinnvoll sein. Der energiekostenintensive Bereich der „Herstellung von Glas, Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“, der auch die Zementherstellung umfasst, weist dagegen insgesamt keine besonders hohe Handelsintensität auf. Weite Teile des übrigen produzierenden Gewerbes wie der Fahrzeug-

oder Maschinenbau oder auch die Nahrungsmittelbranche haben relativ geringe Energiekostenintensitäten bzw. geringe Handelsintensitäten.<sup>29</sup>

Es muss allerdings beachtet werden, dass die Analyse auf sektoraler Ebene allenfalls erste Anhaltspunkte für Schwerpunktbereiche einer ökologischen Modernisierung liefern kann und die Kennziffern einzelner Unternehmen von den sektoralen Durchschnittswerten des jeweiligen Wirtschaftsbereichs im Einzelfall deutlich abweichen können (vergleiche StaBuA 2010b).

---

<sup>29</sup> Die Handelsintensität des Sektors Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden ist durch die hohen Importe von Bergbauerzeugnissen geprägt, sie kann nicht als Hinweis auf eine Gefährdung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bergbaus verstanden werden.

## 5 Realisierung von First-Mover-Vorteilen im Kontext der ökologischen Modernisierung

### 5.1 Einleitung

Der Markt für ökologischere Produkte und Dienstleistungen wird als ein wichtiger Bereich des Wachstums in der modernen Volkswirtschaft angesehen. Ein wichtiges Argument in der politischen Diskussion ist, dass Länder und/oder Industriezweige, welche ökologische Neuerungen entwickeln, dadurch mehrere Vorteile erlangen. Sie können einerseits ihren Bedarf an fossilen Brennstoffen und anderen in der Produktion verwendeten Rohstoffen, die nur in begrenztem Umfang verfügbar sind und damit Produktionsengpässe und Kostenanstiege verursachen könnten, in hohem Maße reduzieren. Dadurch können Rohstoffe ebenso wie die Dienstleistungen der Natur (wie z. B. die Absorptionskapazität) langfristig genutzt werden, was essenziell für das Funktionieren der Wirtschaft und ihre Versorgungssicherung ist. Andererseits erringen sie aufgrund dieser Innovationen eine gute Position beim Export von entsprechenden Technologiesgütern in den expandierenden internationalen Markt für saubere Zwischenprodukte und Verbrauchsgüter und sichern dadurch Wirtschaftswachstum und schaffen neue Arbeitsplätze. Tatsächlich wird die Idee, durch die Erschließung von Lead-Märkten First-Mover-Vorteile zu realisieren, gerne genutzt, um politische Technologie- und Innovations-Strategien zu rechtfertigen. Das gilt sowohl für nationale als auch für europäische Strategien wie etwa die Lead Market Initiative der Europäischen Union (European Union 2007).

Im engeren Sinn kennzeichnen Lead-Märkte ein Land bzw. eine Volkswirtschaft, in welcher eine später global erfolgreiche Innovation ihren Ausgang nimmt (Beise 2004). Diese Perspektive fokussiert auf die Faktoren, die dafür verantwortlich sind, dass eine später global erfolgreiche Innovation als erstes in einem bestimmten Land erfolgt. Im weiteren Sinn sind Lead-Märkte mit der Vorstellung von First-Mover-Vorteilen im ausländischen Handel verbunden. Es wird also argumentiert, dass der Handel mit Technologien auch von der Qualität der Technologie und ihrem innovativen Charakter bestimmt wird. Dementsprechend hängen hohe internationale Marktanteile vom Innovationsvermögen und dem erreichten Lerneffekt ab. Wenn ein Land die Führung in einer bestimmten Technologie übernimmt, spezialisiert es sich früh für die Versorgung mit der erforderlichen Technologie. Entsprechend der Logik eines First-Mover-Vorteils sind diese Länder unter diesen Umständen aufgrund ihrer früheren Präsenz auf diesem Markt in der Lage, die internationale Konkurrenz zu dominieren (Porter und Van der Linde 1995).

Dieses Kapitel wird mit einer Auflistung der Lead-Markt-Faktoren beginnen, welche für die Identifizierung von First-Mover-Vorteilen erforderlich sind (Abschnitt 5.2). Danach werden (Abschnitt 5.3) Indikatoren für diese Faktoren für den Bereich der Öko-Innovationen präsentiert. Dieses Kapitel hat einerseits einen methodischen Fokus, indem für die Ausprägung der Faktoren im Kontext ökologischer Innovationen sinnvolle Indikatoren gesammelt und aufgeführt werden. Andererseits gibt dieses Kapitel anhand der Indikatoren einen Überblick über die Position Deutschlands im Vergleich zu anderen Ländern.

Im dritten Teil (Abschnitt 5.4) dieses Kapitels werden Beispielfälle aufgeführt und analysiert, in denen in anderen Ländern First-Mover-Vorteile realisiert und mit ihrer Hilfe ein Lead-Markt geschaffen werden konnte.

## 5.2 Faktoren zur Abschätzung auf Lead-Märkten basierender First-Mover-Vorteile

Um innerhalb einer Volkswirtschaft First-Mover-Vorteile zu realisieren, müssen die inländischen Lieferanten von Innovationen international einen Wettbewerbsvorteil aufweisen, so dass sie und nicht ausländische Konkurrenten die Nachfrage befriedigen. Um diese Vorteile angesichts der Globalisierung der Märkte längerfristig aufrecht zu erhalten, ist es außerdem von Vorteil, Kompetenzcluster zu etablieren, welche schwer in andere Länder mit günstigeren Produktionsbedingungen (z. B. hinsichtlich Produktionskosten) zu transferieren sind. Diese Kompetenzcluster sollten auf technologischen Ressourcen basieren, die eng mit der Nachfrage verbunden, offen für neue Innovationen und horizontal wie vertikal in die Produktionsstrukturen integriert sind (Meyer-Krahmer 2004). Soll für bestimmte Technologiebereiche das Potential von Ländern abgewogen werden, von First Mover-Vorteilen profitieren zu können, müssen die folgenden Faktoren berücksichtigt werden:

- Technologische Leistungsfähigkeit des Landes,
- Qualifizierte Nachfrage nach dieser Technologie in diesem Land,
- Innovationsfreundliche Verordnungen,
- Charakteristiken der Technologie, welche Hindernisse beim internationalen Standortwechsel darstellen können, einschließlich
- Wettbewerbsfähigkeit verwandter Industriesektoren in diesem Land.

### 5.2.1 Technologische Leistungsfähigkeit

Seit der Veröffentlichung des Leontief-Paradoxons und späterer Theorieansätze wie der Technology Gap-Theorie gilt es als zunehmend akzeptiert, dass die Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Handel stark von der technologischen Leistungsfähigkeit abhängt (für einen Überblick siehe Dosi und Soete 1988; Fagerberg 1995). Dadurch hängt die Möglichkeit eines Landes, First-Mover-Vorteile für die Ausbildung eines Lead Marktes zu nutzen, von entsprechenden technologischen Fähigkeiten ab. Wenn ein Land über eine vergleichsweise starke Wissensbasis verfügt, hat es folglich einen Vorteil bei der Entwicklung und Vermarktung zukünftiger Technologien.

Ungeachtet aller Probleme und Schwierigkeiten bei der Messung technologischer Fähigkeit gelten die Indikatoren über FuE-Aufwendungen und Patentindikatoren wie der Patentanteil eines Landes oder seine Spezialisierung hinsichtlich der Patentierung bestimmter Innovationen doch als aussagekräftig und sind in Folge dessen weit verbreitet. Die empirische Relevanz dieser Indikatoren für internationale Handelsmuster, die bereits in den 1980er Jahren unterstellt wurden (Fagerberg 1988; Dosi und Soete 1988), haben in jüngerer Zeit mehrere empirische Studien bestätigt (Blind 2001; Sanyal 2004; Lachenmaier und Wössmann 2006; Madsen 2008). Madsen (2008) unterstreicht dabei besonders die Wichtigkeit der länderübergreifenden Patente. Der Faktor der technologischen Leistungsfähigkeit bezieht sich direkt auf die innovative Technologie, welche bewertet wird, und ist Voraussetzung dafür, dass diese Technologie weiter zum Stand der Technik heranreifen kann.

Es ist bekannt, dass Innovationen und wirtschaftlicher Erfolg auch davon abhängen, wie eine spezifische Technologie in andere relevante Industriesektoren eingegliedert ist. Lerneffekte, Erwartungen der Nutzer der Technologie und Wissens-Spillover sind leichter zu verwirklichen, wenn der Fluss impliziten Wissens durch räumliche Nähe und ein gemeinsames Verständnis über Sprache und Regeln erleichtert wird (Archibugi und Pietrobelli 2004). Weiterhin gibt es viele empirische Hinweise darauf, dass der internationale Konkurrenzkampf zwischen Sektoren

und Technologien stark durch die Komplementarität zwischen verschiedenen, innerhalb einer Volkswirtschaft miteinander verknüpften Sektoren beeinflusst wird (Fagerberg 1995).

### 5.2.2 Qualität der Nachfrage

Die Bedeutung der Nachfrageseite kann bis zu der Arbeit von Linder (1961) zurückverfolgt werden und wird von Autoren wie von Hippel (1988), Porter (1990) oder Dosi et al. (1990) besonders hervorgehoben. Es gibt verschiedene Marktfaktoren, welche auf verschiedene qualitative Aspekte der Nachfrage Bezug nehmen und die Chancen eines Landes beeinflussen, eine Lead-Markt-Position zu entwickeln. Beise (2004) sowie Beise-Zee und Cleff (2004) klassifizieren diese in die fünf Kategorien Preis-, Nachfrage-, Marktstruktur- sowie Transfer- und Exportvorteil, die im Folgenden genauer dargestellt werden.

Im Allgemeinen unterstützt eine wachsende Nachfrage, welche sich besonders an Innovationen orientiert und neue technologischen Lösungen fördert, ein Land darin seine marktführende Position auszubauen. Ein zugrunde liegender Mechanismus ist der *Preisvorteil*. Mit wachsender Nachfrage führen Größenvorteile und Lerneffekte zu einer Senkung der Kosten. Den Arbeiten von von Hippel (1988) und Lundvall (1985) zufolge wird dieser Effekt noch vergrößert, wenn während des Gebrauchs der Technologie Wissen zwischen Nutzern und Produzenten ausgetauscht wird. Diese Nutzer-Produzenten-Interaktion führt zu weiteren Innovationen, welche zusätzliche Lerneffekte und damit zukünftige Preisvorteile herbeiführen.

Die *Nachfragevorteile* zielen auf die Fähigkeit eines Landes ab, einen Markt zu entwickeln und auszubauen, der früher als andere die weltweite Nachfrage widerspiegelt. Das Konzept der Nachfragevorteile ist eng mit dem des Lead-Users verknüpft, welcher immer an innovativen Ansätzen interessiert und bereit ist, dafür höhere Preise zu akzeptieren. Dadurch wird oft angenommen, dass Länder mit höherem Einkommen einen höheren Anteil an innovativen Ansätzen fördern können. Allerdings stellt sich die Situation hinsichtlich ökologischer Innovationen anders dar. Diese sprechen einen gesellschaftlichen Bedarf an, welcher politisch, d. h. mehr durch das Prinzip der Fürsorge und durch Regulierung ausgelöst wird als „normale“ Innovationen. Aufgrund dieser politischen Steuerungsmöglichkeiten eröffnen ökologische Neuerungen eine zusätzliche Möglichkeit einen Nachfragevorteil aufzubauen.

Ein dritter wettbewerbsrelevanter Faktor ist die *Marktstruktur*. Hier wird gemeinhin angenommen, dass eine höhere Wettbewerbsintensität zwischen den Anbietern die Innovativität steigert und sie motiviert neue Märkte zu erschließen. Dieser Mechanismus greift, wenn die innovative Technologie noch nicht ausgereift ist und es ggf. mehrere konkurrierende technische Lösungen gibt, von denen sich längerfristig i. d. R. eine durchsetzt. Andererseits scheint gerade auch im internationalen Kontext die Existenz starker Unternehmen von größerer Wichtigkeit zu sein, was wiederum auf Kosten der Anzahl der Wettbewerber und der Vielfalt konkurrierender, innovativer Lösungen gehen kann.

Der *Transfervorteil* basiert auf einer Art Demonstrationseffekt. Wenn Länder eine große Zahl erfolgreicher Anwendungen einer innovativen Technologie aufweisen und entsprechende technische Standards etabliert haben, üben diese Innovationen auf ausländische Interessenten eine größere Attraktivität aus und es fällt den Anbieterländern leichter ihre Produkte zu exportieren. Dementsprechend wirkt der Transfereffekt zugunsten solcher (Anbieter-)Länder, die eine hohe technologische Reputation genießen.

Demgegenüber zielt der *Exportvorteil* auf die Frage ab, inwieweit die von einem Land angebotene innovative Technologie Standards oder Präferenzen der potenziellen Empfängerländer aufnimmt. Je ähnlicher dementsprechend die den Innovationen eines Landes zugrunde liegenden Präferenzen denen des Weltmarktes sind, je weltoffener die

Technologieentwicklung in diesem Land also ist, desto mehr Exportvorteile können von diesem Land also umgesetzt werden. Umgekehrt ist davon auszugehen, dass Länder, die in ihrem Heimatmarkt eigenständige Speziallösungen gefördert und etabliert haben, nur geringe Exportvorteile geltend machen können.

### 5.2.3 Innovationsfreundliche Regulierung

Eine Lead-Markt-Situation kann, wie bereits angedeutet, durch staatliche Regulierung unterstützt werden, welche einerseits innovationsfreundlich ist und andererseits ein Vorbild und Anreiz für andere Länder darstellt, dem gleichen Regulierungspfad zu folgen (Beise und Rennings 2005; Walz 2007). Dieses Argument bezieht sich auf verschiedene Aspekte: Erstens hängt die Nachfrage nach umweltfreundlichen Technologien sehr stark davon ab, ob und in welchem Umfang die jeweilige Regulierung tatsächlich zu einer Korrektur des Marktfehlers führt, der auf die Externalisierung der von Umweltproblemen verursachten Kosten zurückzuführen sind (Rennings 2000). Ohne solche Regulierungen wäre die Nachfrage deutlich geringer und die verschiedenen Nachfrageeffekte wären weniger stark.

Zweitens sollte die nationale Regulation nicht zu eigentümlichen, landesspezifischen Innovationen führen, d.h. zu Innovationen, deren Einsatz nur innerhalb eines spezifischen nationalen Regulierungssystems sinnvoll und durchsetzbar ist. Stattdessen sollte die Regulierung offen für verschiedene technische Lösungen sein, welche die Chance erhöhen, dass sie die Vorlieben möglichst vieler Importländer treffen.

Drittens sollte die nationale Regulierung auf die Festsetzung solcher Standards hinwirken, die attraktiv sind und von anderen Ländern leicht übernommen werden können. Beispiele dafür sind Produktnormen oder Testprozeduren, welche erfüllt oder befolgt werden müssen, bevor eine innovative Technologie als umweltverträglich eingestuft wird. Wenn die Standards der führenden Länder in anderen Ländern übernommen werden, haben erstere zusätzliche Vorteile auf dem Weltmarkt, weil nicht nur ihre Technologien frühzeitig, d. h. von vorne herein, an die Erfüllung der Standards angepasst worden sind. Sie haben auch mehr Zeit administrative Fähigkeiten zu entwickeln, um mit all diesen Standards umzugehen, was die entsprechenden Transaktionskosten deutlich herabsetzt.

Die Notwendigkeit eines innovationsfreundlichen Regulierungsregimes ist besonders ausgeprägt bei ökologischen Innovationen. Solche Regulierungsregime werden häufig im Bereich von Infrastrukturen wie Energie, Wasser oder Transport eingesetzt, welche aufgrund ihrer physischen und wirtschaftlichen Strukturen durch Monopolisierungstendenzen charakterisiert sind. In diesen Bereichen müsste die Innovationsfreundlichkeit des etablierten Regulierungsregimes, z. B. hinsichtlich der Sicherung geistiger Eigentumsrechte und der Attraktivität für Risikokapital, nicht nur die innovationsfreundliche Erfüllung von Umweltauflagen sicherstellen, sondern auch die ökonomisch vorteilhafte (De-)Regulierung des Marktes. Im Ergebnis käme dies einer dreifachen regulativen Herausforderung gleich: Begrenzung unerwünschter Wissensspillover, Vermeidung natürlicher (Netz-)Monopole und Internalisierung der Kosten der Umweltschädigung (Walz 2007). Meist jedoch ist festzustellen, dass die Regulierung monopolartiger Strukturen klar durch das vorherrschende technologische System geprägt ist.

### 5.2.4 Verlagerungsrelevante Aspekte im Umfeld

Ein First-Mover-Vorteil erfordert, dass zunächst mindestens ein Nischenmarkt existiert, in dem der Wettbewerb nicht so sehr von Kostenunterschieden und der daraus resultierenden Attraktivität des internationalen Produktionsstandortes bestimmt wird, sondern eher durch

Qualitäts- und/oder Leistungsaspekte. Die evolutiv-institutionelle Ökonomie des technischen Wandels unterstreicht, dass das Wissen immer eine implizite, auch als "Tacit knowledge" bezeichnete Komponente aufweist, welche die Übertragung dieses Wissens zwischen verschiedenen Personen und damit den Erwerb von Ressourcen für die Verlagerung wissensintensiver Produktionen in andere Länder deutlich erschwert (Archibugi und Pietrobelli 2004). Dadurch können gerade wissensintensive Güter die Grundlage für länger anhaltende First-Mover-Vorteile bilden. Empirische Ergebnisse deuten darauf hin, dass unter diesen Umständen die Lohnstückkosten für den Exporterfolg eine untergeordnete Rolle spielen (Amable und Verspagen 1995; Wakelin 1998).

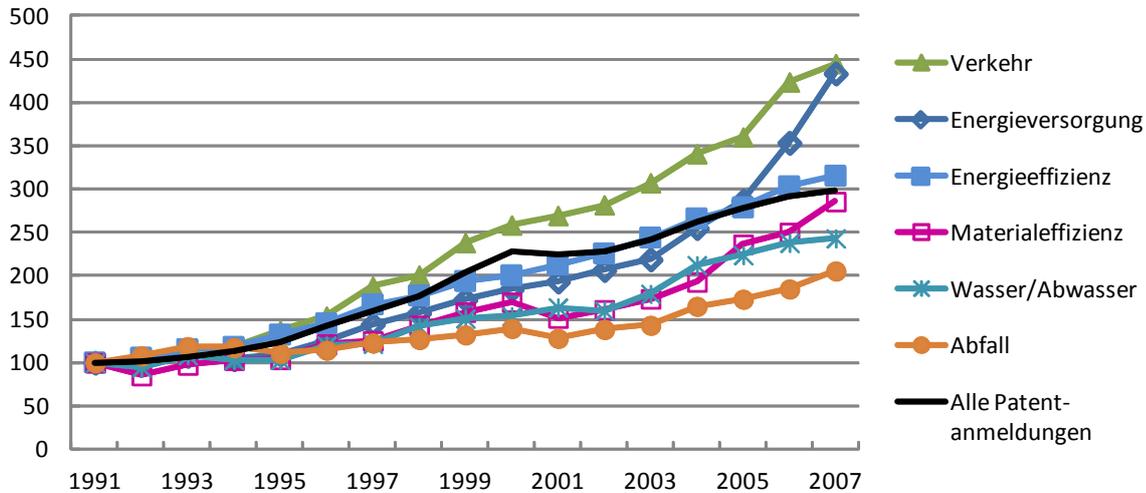
Dennoch ist die Schaffung neuen Wissens natürlich nicht nur notwendig um Exportvorteile zunächst einmal herbeizuführen, sondern auch, um sie längerfristig aufrecht zu erhalten (Andersson und Ejeremo 2008). Erst dadurch arbeiten hohe Innovationsdynamik und mögliche hohe Lerneffekte der Technologie gegen die hauptsächlich kostengetriebene Umlagerung von Produktionsanlagen von ihrem Ursprungsland in andere Länder. Ohne die dauernde Schaffung neuen Wissens würde die Qualitätskomponente einer Technologie an Bedeutung verlieren, was in Übereinstimmung mit der Product Cycle Theory von Vernon (1966) oder den grundlegenden Arbeiten von Krugman (1979) oder Grossman und Helpman (1991) gleichbedeutend damit wäre, nicht länger die Qualitätsleiter emporklimmen zu können, und dazu führen würde, dass die entsprechenden Produktionsanlagen vermehrt in Nachahmerländer mit niedrigeren Produktionskosten verlagert würden.

## 5.3 Bewertung der First-Mover-Vorteile Deutschlands anhand von Lead Markt-Faktoren

### 5.3.1 Technologische Leistungsfähigkeit

Eine technologische Analyse von Öko-Innovationen zeigt, dass sie sehr oft auf Technologien mit mittleren bis hohen Forschungs- und Entwicklungsintensitäten beruhen, aber auch hoch technologisch sein können wie im Falle der Photovoltaik (Walz et al. 2008; Walz et al. 2010). Eine Analyse verschiedener technologischer Prognosen, z. B. der japanischen Delphi-Studie, des UK Foresight Programmes oder des deutschen Foresight-Prozesses des BMBF zeigen, dass für die meisten Öko-Innovationen überdurchschnittliche Lerneffekte erwartet werden. Ein weiterer Indikator ist die Patentdynamik. Für die Messung der technologischen Leistungsfähigkeit einzelner Technologieanbieter bzw. entsprechender Volkswirtschaften mittels Innovationsindikatoren kann auf Erfahrungen der letzten beiden Jahrzehnte zurückgegriffen werden (siehe z. B. Freeman und Soete 2009). Wenn es um den internationalen Vergleich der Leistungsfähigkeit geht, gehören Patente zu den am häufigsten benutzten Innovationsindikatoren. In jüngerer Zeit wurden Patentindikatoren zunehmend auch dazu genutzt, die Leistungsfähigkeit im Bereich der ökologischen Innovationen zu messen (Walz et al. 2008; Walz und Marscheider-Weidemann 2011). Diese Methode differenziert 6 Felder ökologischer Innovationen: (1) Energieeffizienz, sowohl in Gebäuden als auch in der Industrie, (2) umweltfreundliche Energieversorgungstechnologie, einschließlich erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung, (3) Materialeffizienz, einschließlich erneuerbarer Ressourcen und dem Ökodesign von Produkten, (4) energieeffiziente Transporttechnologien, (5) Wasser- und Abwassertechnologien sowie (6) Technologien zum Abfallmanagement einschließlich Recycling. Dadurch sind ökologische Innovationen umfassender festgelegt als die klassischen End-of-Pipe-basierten Umwelttechnologien.

Abbildung 10: Patentedynamiken in verschiedenen Bereichen von Öko-Innovationen (1991=100, weltweit)

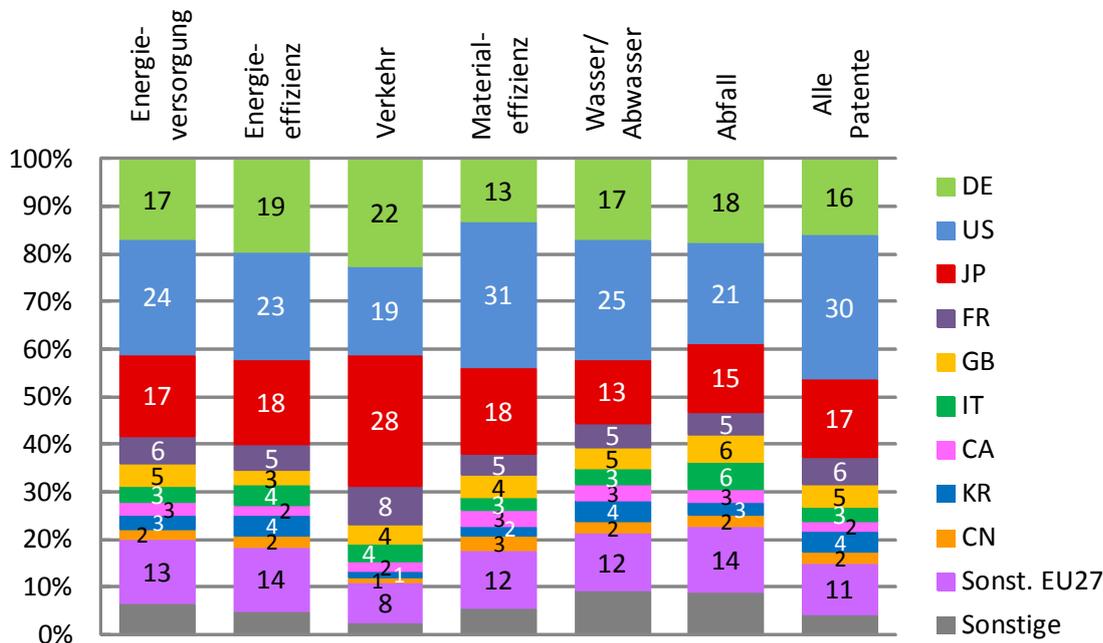


Quelle: Patstat-Datenbank, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Wie in Abbildung 10 dargestellt, übersteigt in den Bereichen nachhaltigen Transports und nachhaltiger Energieversorgung die Dynamik deutscher Patentanmeldungen den Durchschnitt aller Patente (zu denen bspw. auch andere Bereiche wie die Lebenswissenschaften und die Nanotechnologie beitragen). Im Bereich Energieeffizienz entspricht die Dynamik dagegen etwa dem Durchschnitt, wogegen sie bei Materialeffizienz, Wasser/Abwasser und Abfall deutlich schlechter ist. Die Analyse bezieht sich auf Patentanmeldungen bei der World Intellectual Property Organization (WIPO) und dadurch auch auf länderübergreifende Patente (Konzeptionelle Überlegungen dazu von Frietsch und Schmoch 2010). Dadurch werden nicht individuelle Märkte einzelner Länder bewertet, sondern gezielt auf den länderübergreifenden Charakter des Technologiewettbewerbs abgezielt.

Alternativ dazu können die auf diese Weise erfassten Patentdaten auch dazu verwendet werden diejenigen Technikbereiche aufzeigen, in denen die Patentanmelder eines Landes bereits eine breitere internationale Wettbewerbsfähigkeit aufweisen. Dies geschieht, wie in Abbildung 11 dargestellt, anhand der Patentanteile führender Umwelttechnologieanbieter. Das letzte Jahr mit hoher Datenverfügbarkeit ist 2007. Um die Analyse auf eine solidere statistische Datenbasis zu stellen und zufällige Fluktuationen einzelner Jahre auszugleichen, wurden die Patentzahlen der Jahre 2003 bis 2007 zusammengefasst.

Abbildung 11: Patentanteil führender Anbieterländer von Öko-Technologien (in Prozent; Zahlen von 2003 bis 2007 aggregiert)



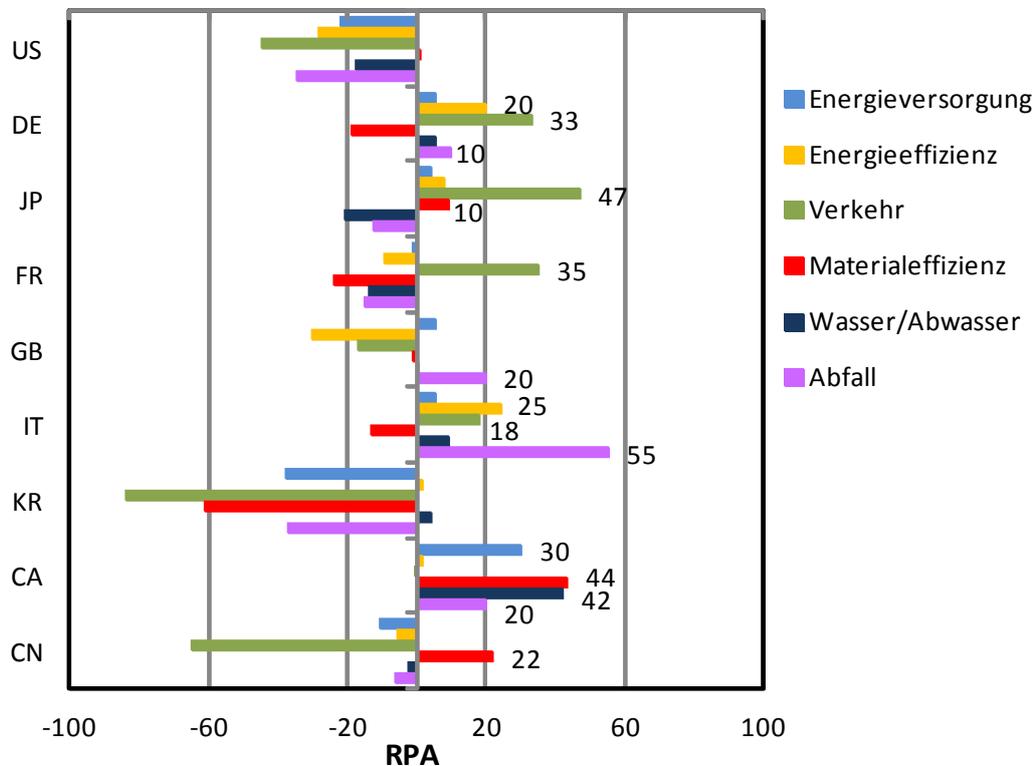
Quelle: Patstat-Datenbank, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Ohne Frage haben hier große Länder einen Vorteil gegenüber kleineren. Um die verschiedenen Länder vergleichbar zu machen, können Patentintensitäten genutzt werden, welche die Zahl der länderübergreifenden Patente zu der Anzahl der Einwohner oder dem BIP der Volkswirtschaft in Relation setzen.

Obwohl das BIP Deutschlands deutlich kleiner als das der USA und auch Japans ist, ist sein Patentanteil der drittgrößte, nur wenig kleiner als der Japans. In allen Öko-Technologiebereichen mit Ausnahme der Materialeffizienz ist der Patentanteil Deutschlands noch einmal größer als im Durchschnitt aller Patentanmeldungen und rangiert damit jeweils an zweiter Stelle, entweder hinter den USA oder Japan. Die folgenden Länder Frankreich, Großbritannien und Italien liegen deutlich abgeschlagen im Bereich zwischen 3 und 8 Prozent, Kanada, Korea und China noch weiter abgeschlagen im Anteilsbereich zwischen 2 und 4 Prozent.

Wenn ein Land in einer Technologie spezialisiert ist, kann davon ausgegangen werden, dass es den Anbietern dieser Technologie leichter fällt, Investitions- und Humankapital für die weitere Entwicklung zu akquirieren. Aus dieser Logik heraus stellt die Spezialisierung ein gutes Maß für das zukünftige Wettbewerbspotenzial einer neuen Technologie, im vorliegenden Fall im Bereich der Öko-Innovationen, dar. Typischerweise wird der RPA (= relative patent advantage) als ein geeigneter Indikator für die Messung der Patentspezialisierung verwendet, wobei positive Werte eine Spezialisierung anzeigen. Bei Werten größer 15 kann diese als signifikant, größer 50 als hoch bewertet werden. Ein Wert von 100 würde auf den (theoretischen) Fall einer vollständigen Spezialisierung hindeuten.

Abbildung 12: Spezialisierung der Patentanmeldungen führender Länder für verschiedene Öko-Technologien (gemessen als RPA-Wert, Erläuterungen im Text)



Quelle: Patstat-Datenbank, Berechnungen des Fraunhofer ISI

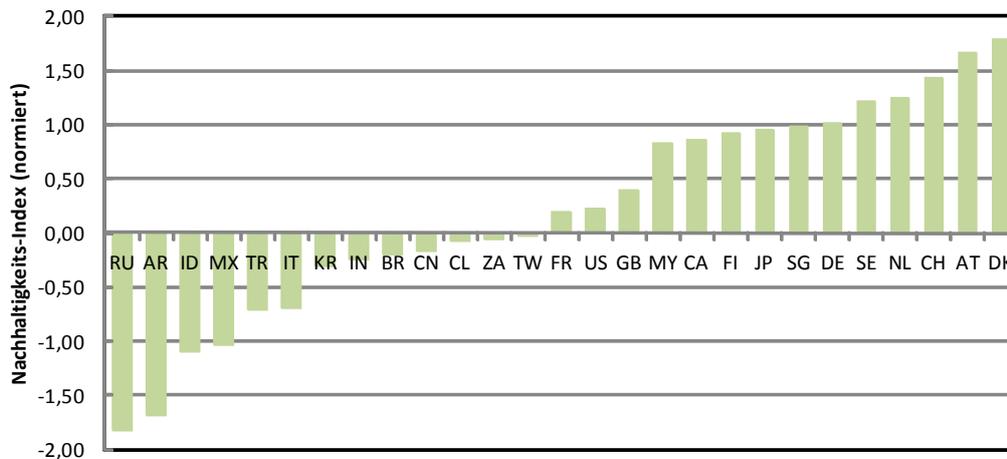
Aus Abbildung 12 wird ersichtlich, dass unter Zugrundelegung einer Schwellenwertes von 15 Deutschland eine Spezialisierung in zwei Technologiebereichen aufweist: energieeffizienter Verkehr und Energieeffizienz. Damit steht es besser da als die USA, die keine Spezialisierung aufweisen und Japan, das sich nur im Verkehrsbereich hervortut. Besonders in Erscheinung treten dagegen Italien und Kanada, die in jeweils 4 Bereichen eine eindeutige Spezialisierung zeigen.

### 5.3.2 Qualität der Nachfrage

Fragt man sich auf der Suche nach einem Indikator, worin sich der Nachfragevorteil eines Landes niederschlagen könnte, so kann die größere Offenheit der Gesellschaft und der Märkte für zukünftige Herausforderungen angeführt werden. Öko-Innovationen erfüllen in diesem Zusammenhang den Zweck Umweltbelastung zu reduzieren und eine größere Nachhaltigkeit zu erreichen. Bei Ländern, denen Umwelt und Nachhaltigkeit ein wichtiges Anliegen sind, kann daher auch davon ausgegangen werden, dass sie einen Nachfragevorteil aufweisen. Allerdings ist es auch in diesem Fall nicht einfach festzustellen, welche Länder eine Führungsposition aufweisen. Der hier angewendete Ansatz besteht darin, subjektive Kennzahlen zu verwenden, wie sie bspw. bei der Befragung von Experten durch das World Economic Forum (WEF 2008) und das Institute of Management Development (IMD 2006) erfasst werden. Diese Daten spiegeln allgemein die Abwägung und das Gewicht sozialer und umweltbedingter Kriterien innerhalb der Entscheidungsprozesse von Akteuren in nationalen Innovationssystemen wider. Sie können daher leicht als Hinweis auf die gesellschaftliche Verankerung von Nachhaltigkeitskonzepten als leitendes Prinzip im technologischen

Entwicklungsprozess angesehen werden. Die Faktorenanalyse nutzend wurde basierend auf den relevanten Indikatoren<sup>30</sup> ein Nachhaltigkeitsindex gebildet (siehe Walz et al. 2010; Peuckert 2011). Für diesen Index wurden 55 Länder berücksichtigt, sowohl OECD-Länder als auch Schwellen- und einige Entwicklungsländer, für welche die Indikatorwerte verfügbar waren. Die Indexwerte sind normiert, so dass ein Wert von Null anzeigt, dass die allgemeine Innovationsfähigkeit eines Landes im Durchschnitt aller 55 in diese Analyse einbezogenen Länder liegt. Abbildung 13 zeigt die resultierenden Werte für ausgewählte Länder. Basierend auf dieser Herangehensweise kann Ländern wie Dänemark oder Österreich auf jeden Fall ein Nachfragevorteil zugeordnet werden. Für Deutschland ist dieser Index nicht überragend, aber doch weit überdurchschnittlich ausgeprägt.

Abbildung 13: Nachhaltigkeitsindex (normiert) für eine Auswahl von Industrie- und Schwellenländern



Quelle: Peukert 2011

Der Marktstrukturvorteil betrachtet den Wettbewerb zwischen den Technologieanbietern. Allerdings handelt es sich hierbei um ein sehr technologiespezifisches Charakteristikum. Daher ist es nicht möglich die Marktstruktur für den ganzen (oder größere Teil-) Bereich(e) der Ökoinnovationen als Kennzahl zu erfassen.

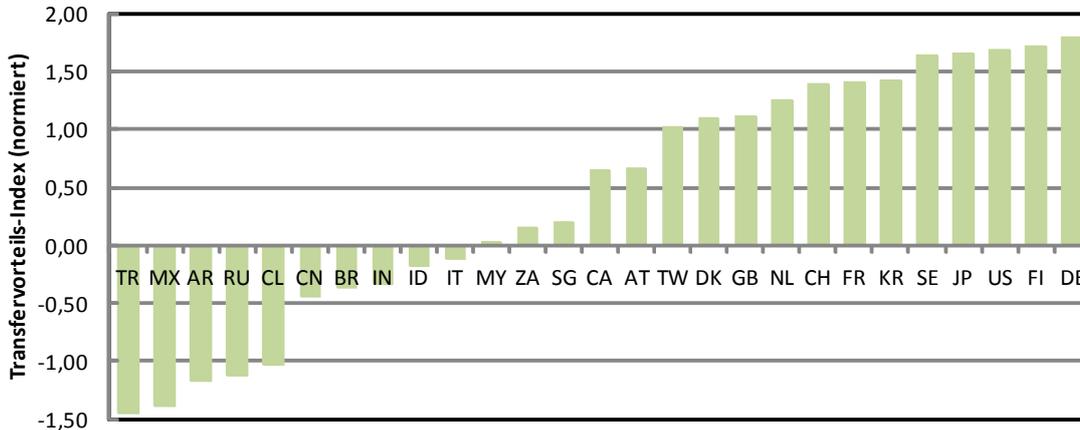
Der Transfervorteil steht in engem Zusammenhang mit dem technologischen Ansehen eines Landes. Wenn Länder also ein hohes technologisches Ansehen aufweisen, haben sie auch einen Transfervorteil. Eine Methode dieses Ansehen zu messen, können wiederum subjektive Werte sein, wie sie im Rahmen der Expertenbefragungen des World Economic Forum (WEF 2008)

<sup>30</sup> Die relevanten Indikatoren umfassen folgende wirtschaftliche (1-3) und soziale Aspekte (4-6):

- (1) Berücksichtigung von Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltaspekten im Management,
- (2) Schutz von Ökosystemen durch die Wirtschaft,
- (3) Stringenz der Umweltgesetzgebung,
- (4) Hohe soziale Verantwortlichkeit der führende Wirtschaftskräfte,
- (5) Priorität von Nachhaltigkeit in Unternehmen und
- (6) Priorität soziale Kohäsion bei der Regierung/Politik.

erfasst werden. Hier gibt es verschiedene Fragen, die in Richtung technologischen Ansehens zielen. Die Faktoranalyse nutzend wurde daher ein Index konstruiert, der die verschiedenen Indikatoren verdichtet (Peuckert 2011). Auf dieser Basis nimmt, wie in Abbildung 14 dargestellt, Deutschland vor Finnland eine Spitzenstellung hinsichtlich des Transfervorteils ein.

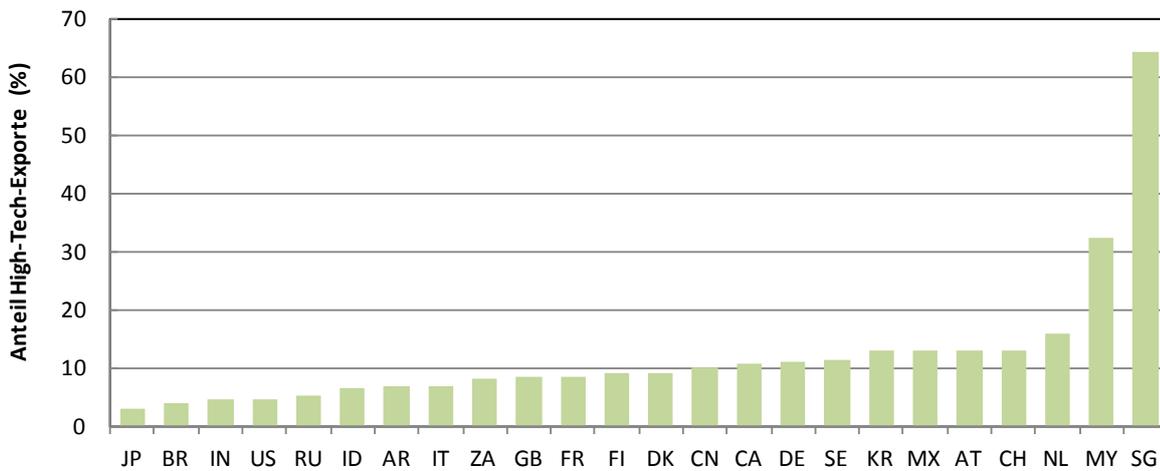
Abbildung 14: Technologische Reputation als Index für Transfervorteil (normiert) für eine Auswahl von Industrie- und Schwellenländern



Quelle: Peuckert 2011

Der Exportvorteil zielt auf die Vorteile eines Landes ab, die durch seine Offenheit begründet sind. Jedoch fokussieren die Befragungsdaten, die vom World Economic Forum unter dieser Bezeichnung gesammelt und dargestellt werden, mehr auf nach innen bezogene Offenheit, das heißt, auf den Zufluss von Kapital und Wissen von außerhalb, um Innovationen im Inland Vorschub zu leisten (siehe Peuckert 2011). Diese Daten scheinen dadurch weniger geeignet für die Bewertung solcher Exportvorteile wie sie für die Beurteilung von Lead Markt-Potenzialen relevant sind. Letztere sollten eher berücksichtigen, wie internationale Präferenzen in der Nachfrage im Binnenmarkt berücksichtigt werden. Außenhandelsdaten scheinen aus dieser Perspektive besser geeignet Exportvorteile im hier dargestellten Sinn widerzuspiegeln. Der Anteil forschungs- und entwicklungsintensiver Exportgüter am BIP der jeweiligen Länder wird daher als Indikator genutzt. Je höher dieser Wert ist, desto stärker ist die Wirtschaft durch die Nachfrage von außerhalb des Landes bestimmt. High-Tech Güter sind in diesem Zusammenhang besonders relevant, weil sie zu Öko-Innovationen in einem engen Zusammenhang stehen. Wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist, weist Deutschland keinen überragenden, aber dennoch einen deutlichen Anteil auf. Für ein insgesamt so starkes Exportland wie Deutschland wäre ein höherer Anteil der High-Tech-Exporte allein kaum erreichbar.

Abbildung 15: Anteil der FuE-intensiven Exporte am BIP



Quelle: UN-Comtrade-Daten, Berechnungen des Fraunhofer ISI

### 5.3.3 Innovationsfreundliche Regulierung

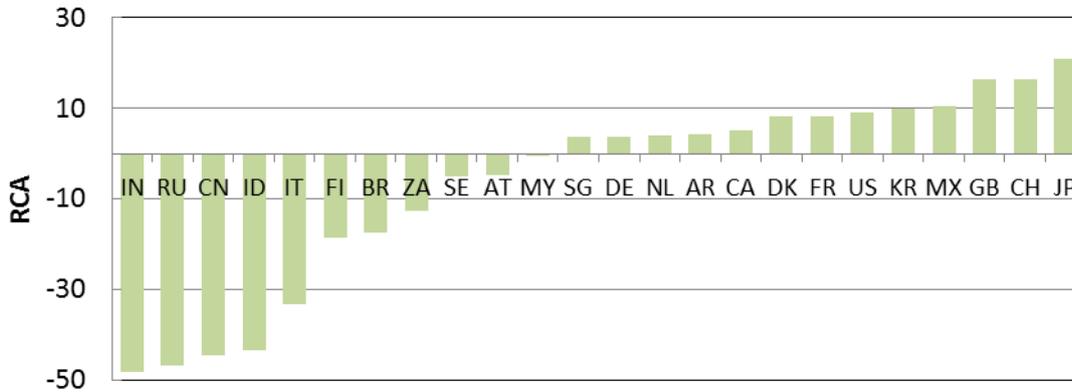
Die beständige Entwicklung eines Lead-Marktes wird auch durch eine innovationsfreundliche Regulierung unterstützt. Jedoch gibt es kein Konzept, wie dieser Zusammenhang für ökologische Innovationen in ihrer Gesamtheit gemessen werden kann. Die Erfassung von Expertenmeinungen über die Innovationsfreundlichkeit zielt typischerweise auf die Behinderung des Innovationsprozesses durch die Regulierung, z. B. auf bürokratische Prozeduren ab. Jedoch weichen ökologische Innovationen hier klar von normalen Innovationen ab. Aufgrund des Externalitätenproblems und der Existenz monopolartiger Strukturen im Bereich der entsprechenden Technologieanbieter ist die Regulierung eine Schlüsselvoraussetzung für ökologische Innovationen. Walz et al. (2011) fassen den empirischen Stand der Forschung zur Rolle von Regulierungen so zusammen, dass verschiedene Fallstudien, die einen technologischen Innovationssystemansatz anwenden, die Relevanz von Regulierungen gezeigt hätten. Allerdings scheine es keine einfachen Indikatoren dafür zu geben um festzustellen, inwieweit eine öko-innovationsfreundliche Regulierung besteht. „Weiche“ Kontextfaktoren spielen dabei eine wichtige Rolle. Die Ergebnisse zu Auswirkungen der politischer Mittelwahl erscheinen jedoch zweideutig: ökonomische Schätzungen weisen entweder abhängig von der Technologie oder der Innovationsphase auf widersprüchliche Ergebnisse (Johnstone et al. 2010) oder deuten auf nur geringe, wenig signifikante Einflüsse hin (Walz et al. 2011). Offenbar müssen innovationsfreundliche Regulierungen also auf einem technologiespezifischen Level bewertet werden, was im vorliegenden Kontext nicht möglich ist.

### 5.3.4 Technologisches Umfeld

Es wird weithin angenommen, dass Innovationen und wirtschaftlicher Erfolg auch davon abhängen, wie eine spezifische Technologie in ein relevantes Industriecluster eingebettet ist. Es gibt aussagekräftige empirische Belege dafür, dass der internationale Wettbewerb von Sektoren und Technologien größtenteils durch den Wettbewerb von verketteten Sektoren beeinflusst wird. Um diese Situation empirisch zu erfassen, wurden die RCA-Werte der FuE-intensiven Güter des jeweiligen Landes verwendet. RCA steht für Relative Comparative Advantage und ist ein Maß für die Spezialisierung des Außenhandels eines Landes in einer bestimmten (Technologie-) Sparte. Werte über 0 weisen auf eine Spezialisierung eines Landes im entsprechenden Techniksektor hin. Die Zahlen in Abbildung 16 zeigen, für welche Länder

Vorteile hinsichtlich der Verknüpfung von ökologischen Innovationen mit komplementären Sektoren wahrscheinlich sind.

Abbildung 16: Relative Comparative Advantage (RCA) für FuE-intensive Technologien



Quelle: UN-Comtrade-Daten, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Deutschland weist, wie für ein bedeutendes Exportland typisch, keine starke Spezialisierung ( $RCA > 10$ ) auf, weil sich das Außenhandelsvolumen naturgemäß auf viele Gruppen von Gütern verteilt. Die Spezialisierung ist dennoch gerade angesichts dieses hohen Gesamtvolumens mit einem positiven RCA-Wert immer noch bemerkenswert.

## 5.4 Internationale Fallbeispiele zur Umsetzung von First-Mover-Vorteilen

### 5.4.1 Einleitung

Die im Folgenden identifizierten und beschriebenen Vorreiterstrategien sind das Ergebnis einer Literaturstudie. Diese zielt darauf ab, aufzuzeigen, wie von Vorreitern Umweltschutztechnologien massiv gefördert werden, um auf internationalen Zukunftsmärkten die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Zu diesem Zweck wird zunächst anhand von Kriterien eine Übersicht der Bedeutung von einzelnen Ländern im weltweiten Handel gegeben. Die im Folgenden dargestellten Ländern zeichnen sich durch eine besonders erfolgreiche, charakteristische und innovationsorientierte Umweltregulierung bzw. aufschlussreiche Fälle für die Förderung von Umweltschutztechnologien aus. Im Mittelpunkt stehen dabei die Betrachtungsfelder Analyse und Evaluation sowie Übertragbarkeit und Schlussfolgerung.

Als Kriterien für die Identifikation der zu untersuchenden Vorreiterstrategien werden der Exportanteil im weltweiten Handel, die Exportentwicklung und der Anteil der Patentanmeldungen im Bereich der Umweltschutzgüter genommen. Diese Angaben lassen Rückschlüsse zu, ob sich Länder durch ihre innovationsorientierte Umweltregulierung Wettbewerbsvorteile im weltweiten Handel sichern und aufgrund dessen Marktanteile erobern konnten und wie zukunftsfähig diese Entwicklung ist (z. B. durch Patentanmeldungen innovativer Technologien). Die Ergebnisse für die Kriterien sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Überblick zur Bedeutung von einzelnen Ländern beim weltweiten Handel mit Umweltschutzgütern

Länder / Kriterien	Exportanteil im weltweiten Handel (in Prozent) <sup>31</sup>					Exportentwicklung im Bereich EE (2000-2010, in Prozent) <sup>33</sup>	Anteil der Patentanmeldungen im Bereich der Umweltschutzgüter <sup>32</sup>
	Ern. Energie	En. Effizienz	Verkehr	Materialeff.	Abfall		
China	17,5	12	12	4	4	1530%	1,6%
Dänemark	5,3	-	-	-	-	420%	-
Deutschland	17,5	18	14	11	17	500%	19%
Frankreich	3,2	5	5	5	5	200%	5,6%
Italien	6,3	10	4	4	6	300%	3,6%
Japan	6,4	8	14	5	14	230%	18,4%
GB	1,9	4	4	5	5	130%	4,4%
USA	10,7	10	9	8	15	320%	23%

Quelle: eigene Zusammenfassung

## 5.4.2 Fallstudie China

### 5.4.2.1 Kurzüberblick

Chinas wirtschaftlicher Aufstieg in den letzten Jahrzehnten wird bestimmt durch hohes Wachstum, das mit gleichzeitiger Industrialisierung und Urbanisierung einhergeht. Diese Entwicklung erfolgt allerdings auf der Grundlage des Abbaus natürlicher Ressourcen sowie der zunehmenden Verschmutzung der Umwelt. Die kürzlich erreichte Position Chinas als weltweit größter Emittent von Kohlendioxid bildet dabei den letzten Höhepunkt dieser Entwicklung. Eine Umkehr dieses Trends ist vorerst nicht in Sicht. In Reaktion auf die steigende inländische Nachfrage nach Energie, baute China 2009 neue Kohlekraftwerke mit einer Gesamtkapazität, die größer ist als die aller Kraftwerke im US-Bundesstaat New York zusammen (Pew Charitable Trusts 2010: 48).

<sup>31</sup> Die Exportanteile im Bereich erneuerbare Energien ergeben sich als Durchschnitt der Steigerungen in den Teilbereichen Photovoltaik, Solarthermie und Wind (Groba und Kemfert 2011: 25).

<sup>32</sup> Die Anteile der Patentanmeldungen ergeben sich als Durchschnittswert der Patentanmeldungen in den Bereichen erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Verkehr, Materialeffizienz und Abfall (Walz et al. 2008).

<sup>33</sup> Die Exportentwicklungen beziehen sich auf den Bereich Erneuerbare Energien. Die angegebene Steigerung für den Bereich erneuerbarer Energien ergibt sich als der Durchschnitt der Steigerungen in den Teilbereichen Photovoltaik, Solarthermie und Wind (Groba und Kemfert 2011: 25).

Die chinesische Regierung hat allerdings erkannt, dass ein Wirtschaftsmodell auf der Grundlage des Abbaus natürlicher Ressourcen langfristig an seine Grenzen stoßen wird. Dementsprechend genießt die Umformung der Wirtschaft in Richtung einer Green Economy eine hohe Priorität auf der Agenda der chinesischen Regierung. Das National Climate Change Program von 2007 und ambitionierte Umweltziele im 12. 5-Jahres Plan (2011-2016) markieren wichtige Schritte in der Umsetzung einer Strategie mit dem Ziel einer „grünen“, beziehungsweise nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung. Die Strategie sieht vor, dass die grüne Industrie eine der tragenden Säulen der chinesischen Wirtschaft werden soll (The Climate Group 2011: 4). Die Bedeutung, welche die chinesische Regierung diesen Ambitionen gibt, wird durch die Tatsache verdeutlicht, dass China im Jahr 2009 mit 34,6 Milliarden US-Dollar die höchsten Investitionen weltweit im Bereich von Umweltschutzgütern zu verzeichnen hatte (Pew Charitable Trusts 2010: 49).

#### 5.4.2.2 Deskription

Die chinesische Regierung bedient sich einer Reihe von Politikinstrumenten zur Förderung von Umwelt- und Klimaschutztechniken. In diesem Kapitel werden die Instrumente beispielhaft für zwei Schlüsselsektoren der grünen Industrie dargestellt: erneuerbare Energien und Elektromobilität.

Im Bereich erneuerbarer Energien hat die chinesische Regierung klare Ziele für deren Ausbau formuliert, um eine langfristige Grundlage für Investitionen zu schaffen. Im Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy der chinesischen Planungskommission aus dem Jahr 2007 wird das Ziel zum Ausbau erneuerbarer Energien auf 15 Prozent des Primärenergieverbrauchs im Jahr 2020 festgesetzt (NDRC 2007: 5). Daneben existieren auch Ziele für einzelne Technologiefelder im Bereich erneuerbarer Energien. Solarenergie soll eine Gesamtkapazität von 1,8 Gigawatt (GW) bis 2020 erreichen, während Windkraft auf eine Gesamtkapazität von 30 GW kommen soll. Im Zuge des erfolgreichen Ausbaus erneuerbarer Energien in China in den letzten Jahren wird aber erwartet, dass die Ziele für das Jahr 2020 erhöht werden. So soll beispielsweise die Windkraftkapazität von 30 GW im Jahr 2020 auf 150 GW erhöht werden, was dem Fünffachen des jetzigen Ziels entspricht (Seligsohn et al. 2009).

Diese Ziele sollen mit einem Mix von Instrumenten zur Förderung und Verbreitung von Schlüsseltechnologien erreicht werden. Dabei setzt die chinesische Regierung auf Instrumente zur Förderung einzelner Technologien. Für den Bereich Solarenergie z. B. beinhaltet dies eine Kombination gezielter Förderung von groß angelegten Vorzeigeprojekten sowie den Einsatz von Einspeisetarifen. Das Solar Sun Subsidy Program zielt in diesem Zusammenhang auf die Förderung von Vorzeigeprojekten im Bereich Photovoltaik. Die engagierte Umsetzung des Programmes hat maßgeblich dazu beigetragen, in China einen inländischen Markt für Photovoltaik zu etablieren (PEW Charitable Trusts 2010: 48). Des Weiteren wurde in der Provinz Jiangsu mit Einspeisetarifen als Verbreitungsinstrument von Solarenergie experimentiert. Der Erfolg dieses Unterfangens führte dazu, dass die National Energy Administration 2010 ein nationales Programm von Einspeisetarifen startete. Ziel des Programmes ist es, eine zusätzliche Gesamtkapazität von Photovoltaikanlagen in Höhe von 280 MW an das Stromnetz anzuschließen. Im Bereich Windenergie haben sich Einspeisetarife bereits als effektives umweltpolitisches Instrument auf nationaler Ebene durchgesetzt (PEW Charitable Trusts 2010: 48).

Zur Förderung von Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien ist die chinesische Regierung zusätzlich bemüht, die Investitionen, welche in diesen Bereich und besonders in Forschung und Entwicklung (FuE) fließen, gezielt zu fördern. Hierfür bedient sich die chinesische Regierung unterschiedlicher Arten von Subventionen: Beispielsweise hat die

chinesische Regierung Fonds eingerichtet, die Investitionen in Forschung und Entwicklung wirtschaftlich attraktiver machen. So wurde der Renewable Energy Special Fund der NDRC speziell zur Förderung von Technologien im Bereich der Erneuerbaren eingerichtet. Daneben bieten auch unspezifische nationale Fonds Möglichkeiten, Investitionen im Bereich erneuerbarer Energien zu verstärken (Jungfeng und Lingjuan 2009: 35). Ferner ermöglicht die nationale Regierung die Kreditaufnahme von Unternehmen, die Investitionen tätigen wollen. Hier bietet die Regierung öffentliche Bürgschaften für Kredite an. Chinesische Staatsbanken stellen außerdem günstige Darlehen für Hersteller bereit. Auf regionaler Ebene wiederum finden sich Steuervergünstigungen als Mittel zur Steigerung von Investitionen. In der Provinz Jiangsu zum Beispiel wird jeder neuen Photovoltaik-Fabrik 50 Prozent der Mehrwertsteuer im ersten und 25 Prozent im zweiten Jahr zurückerstattet (Grau et al. 2011: 30).

Im Bereich der Elektromobilität verfolgt die chinesische Regierung langfristige Ziele. Das Technologiefeld der Elektromobilität soll hierbei ein Industriesektor werden, in dem China Leitmarkt und Leitanbieter<sup>34</sup> sein soll. Bereits heute bietet Chinas technologischer Vorsprung bei mobilen Batterien die Möglichkeit einer technologischen Führerschaft (Bär 2010: 18). Für das Jahr 2020 strebt die chinesische Regierung darum an, die Nutzung von 1 Millionen Elektroautos auf den chinesischen Straßen zu erreichen (APCO 2010: 5). Die Instrumente zur Erreichung dieses Umweltziels werden derzeit in chinesischen Großstädten getestet. Im Vordergrund stehen Subventionsinstrumente. In Großstädten wie Shanghai oder Shenzhen erhalten Käufer eines E-Mobils einen Nachlass (PEW Charitable Trusts 2010:48). Daneben werden noch weitere finanzielle Anreize geschaffen. Diese gehen von der kostenlosen Bereitstellung von Kfz-Kennzeichen bis zu niedrigeren Parkgebühren. Insgesamt zielen die Maßnahmen darauf ab, den Kaufanreiz zu steigern. Auf Seiten der Hersteller werden Fonds eingerichtet, die Hersteller finanziell unterstützen. Darüber hinaus sind die Pilotstädte von der nationalen Regierung dazu verpflichtet, die notwendige Infrastruktur wie die Errichtung von Aufladestationen, die eine Nutzung von Elektroautos überhaupt erst ermöglicht, zu bauen.

#### 5.4.2.3 Analyse und Evaluation

Die von der chinesischen Regierung eingesetzten Instrumente erfüllen die Voraussetzung einer innovationsfreundlichen Umweltregulierung<sup>35</sup>. Zum einen basieren die Instrumente auf einer strategischen Planung und Zielformulierung, die in den 5-Jahres Plänen und in Grundsatzpapieren zu mittel- bis langfristigen Entwicklungszielen festgesetzt sind. Des Weiteren setzen die Instrumente sowohl für Hersteller als auch für Konsumenten ökonomische Anreize, um die Investitionen in Umweltschutzgüter zu verstärken. Die Instrumente berücksichtigen die verschiedenen Phasen einer Innovation von der Erfindung bis zu der Verbreitung. Die Einspeisetarife zielen beispielsweise klar auf die Verbreitung einer Technologie ab, es gibt aber auch diverse Arten von Subventionen, die auf die Förderung der

---

<sup>34</sup> Unter Leitanbieter wird die Marktführerschaft in einem entsprechenden internationalen Markt verstanden. Marktführer ist, wer unter allen Anbietern den größten Marktanteil besitzt (Simon 2007: 75). Ein Leitmarkt definiert sich als geographisch abgegrenzter Markt, der globale Innovationen durch günstige lokale Präferenzen und Rahmenbedingungen stärker fördert als dies in anderen Ländern geschieht. Kennzeichnend sind vor allem Wettbewerbsvorteile durch wirtschaftliche Attribute wie Preis- und Kostenvorteile, hohe Nachfrage- und Einkommenselastizitäten sowie Vorteile bei der Exportwirtschaft und den wirtschaftlichen Strukturen (Klodt 2011).

<sup>35</sup> Die folgende Beschreibung basiert auf den Elementen einer innovationsfreundlichen Regulierung, wie sie in Jänicke et al. (2007: 16) dargestellt ist.

Erfindung neuer Technologien abzielen. Die unterschiedlichen Instrumente ergänzen sich dabei und unterstützen Innovationen als Prozesse.

Der durch die Instrumente induzierte Innovationsdruck ist hoch, wobei die Herausforderung eher in der Adaption existierender Technologien als in der Entwicklung neuer Technologien besteht (Rennings et al. 2008: 157). Mit Ausnahme des Bereiches mobiler Batterien ist China nicht die Erfindungswerkstatt der Welt. Den chinesischen Herstellern fehlen hierfür moderne Technologien, Produktionsverfahren und das entsprechend qualifizierte Personal. Daher konzentriert sich die chinesische Regierung bei ihrer Politik auf die Erschließung bereits existierender Technologien und versucht aufgrund von Kostenvorteilen auf internationale Märkte vorzudringen.

Im Bereich der erneuerbaren Energien wird dieses Vorgehen deutlich. Die Unterstützung von Forschung und Entwicklung im Technologiefeld der Photovoltaikanlagen macht lediglich 1 Prozent des Gesamtvolumens der eingesetzten Förderinstrumente aus (Grau et al. 2011: 35). Dies zeigt, dass der Fokus der Regierung auf der Markteinführung der Technologie liegt. Dementsprechend sprang die inländische Installation von Photovoltaikanlagen auch in den Jahren der Einführung der oben beschriebenen Instrumente sprunghaft von 0 MW im Jahr 2006 auf 160 MW im Jahr 2008 an (Grau et al. 2011: 32). Zudem ist China in 2008 zum größten Photovoltaik-Hersteller der Welt aufgestiegen (GTAI 2009). Der Kostenvorteil von vergleichsweise billiger Produktion bietet chinesischen Herstellern die Möglichkeit, auch internationale Märkte zu erschließen. Der Exportanteil für Photovoltaikanlagen stieg als Konsequenz in den Jahren von 2005 bis 2010 von 17,8 auf 39,1 Prozent an (Groba und Kemfert 2011: 24). Wichtige branchenspezifische Indikatoren für die Wettbewerbsfähigkeit wie z. B. der relative Welthandelsanteil (RWA<sup>36</sup>) oder der Revealed Comparative Advantage (RCA<sup>37</sup>) zeigen außerdem, dass China hier wettbewerbsfähig ist und einen komparativen Vorteil genießt. So war der RWA Wert im Jahr 2010 für erneuerbare Energien in China mit 2,9 mehr als doppelt so hoch wie der deutsche Wert mit 1,4 (Groba und Kemfert 2011: 28). Dieser Technologiebereich zeigt daher, dass die oben beschriebene Strategie der Regierung durchaus erfolgreich sein kann. Dies ist im Technologiefeld der Windenergie nur eingeschränkt der Fall. Hier blieben die Exportanteile von 2005 zu 2010 mit 5,8 Prozent und 5,9 Prozent vergleichsweise konstant (Groba und Kemfert 2011: 24). Auch die Indikatoren für die Wettbewerbsfähigkeit deuten darauf hin, dass China hier keinen komparativen Vorteil hat.<sup>38</sup> Es ist zu vermuten, dass chinesische Hersteller hier technologisch noch zurückliegen.

Der Bereich der Elektromobilität ist gekennzeichnet durch ein langfristiges Vorgehen der chinesischen Regierung. Hier ergibt sich aufgrund eines technologischen Vorsprungs die Möglichkeit für China, Leitmarkt und Leitanbieter zu werden. Dementsprechend sind auch die Umweltziele in diesem Technologiefeld vergleichbar mit entsprechenden Zielen in Ländern wie Japan oder Deutschland. Im internationalen Vergleich ist die Bandbreite von unterschiedlichen

---

<sup>36</sup> Der relative Welthandelsanteil (RWA) drückt den relativen Welthandelsanteil einer Volkswirtschaft an einer bestimmten Warengruppe aus. Dabei ist der RWA-Wert umso größer, je stärker das Gewicht der jeweiligen Warengruppe im Vergleich zum Gesamthandel ist.

<sup>37</sup> Der Revealed Comparative Advantage zeigt den Grad der Außenhandelspezialisierung eines Technologiefeldes im Vergleich zu anderen Technologien an. Der RCA für China im Bereich Photovoltaik ist 3,2 (Groba und Kemfert 2011: 28). Wenn der RCA > 1, dann liegt ein komparativer Vorteil in diesem Technologiefeld vor.

<sup>38</sup> Der Wert für den RCA ist mit 1 indifferent zwischen Vorteil und Nachteil (Groba und Kemfert 2011: 28).

Instrumenten, die in den Pilotstädten eingesetzt werden, als vorbildlich einzuschätzen. Allerdings ist der internationale Markt im Technologiefeld Elektromobilität noch zu klein, um große Exporterfolge einzufahren. Langfristig ist aber damit zu rechnen, dass dies aufgrund der derzeitigen Ausrichtung der chinesischen Regierung ein wichtiger Exportmarkt für China darstellen wird.

Insgesamt ist die chinesische Strategie zur Förderung von Umweltschutzgütern erfolgreich. Der Erfolg basiert auf einer umfangreichen innovationsfreundlichen Umweltregulierung und einer klugen Nutzung der eigenen inländischen Ressourcen. Kurzfristig kann China in vielen Bereichen nicht die Technologieführerschaft übernehmen, sondern beschränkt sich auf die Erschließung bereits existierender Technologie und versucht durch eine vergleichsweise billige Produktion diese Exportmärkte zu erschließen. Bezeichnend ist hierfür, dass der weltweite Anteil der Patentanmeldungen im Bereich der Umweltschutzgüter in China gerade 1,6 Prozent beträgt<sup>39</sup>. Dass diese Strategie Erfolg hat, zeigen aber zum einen die hohen Exportanteile in den Bereichen erneuerbare Energien und nachhaltige Mobilität von 17,5 Prozent und 12 Prozent sowie die Exportentwicklung in der erneuerbare Energien-Branche, die sich in den Jahren 2000 bis 2010 verfünffach hat. Es ist damit zu rechnen, dass China in Zukunft ein noch größerer Konkurrent wird und Kostendruck in vielen Umwelttechnologiebereichen ausübt. Langfristig versucht die Regierung wiederum, die Technologieführerschaft durch die Förderung von Forschung und Entwicklung voranzutreiben. In vielen Zukunftsmärkten wie beispielsweise der Elektromobilität ist damit zu rechnen, dass China first mover advantages realisieren kann.

#### 5.4.2.4 Schlussfolgerung und Übertragbarkeit

Die chinesische Regierung orientiert sich in ihrer Strategie zur Förderung von Umweltschutzgütern an den Strategien der Industriestaaten. Dies wird offensichtlich an den eingesetzten Instrumenten, die keine Innovationen im Bereich der politischen Instrumentierung darstellen. Dennoch können aus der Strategie der chinesischen Regierung wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die aufgrund der vergleichbaren Größe von China und der EU vor allem für die europäische Ebene von Interesse sein können.

Die Politik im Bereich der erneuerbaren Energien zeigt, wie ein Land seine Ressourcen erfolgreich nutzt, um Wettbewerbsvorteile in Märkten von Umweltschutzgütern zu realisieren. Das Technologiefeld Photovoltaik zeigt beispielhaft, wie schnell China auf internationalen Märkten Erfolg hat, wenn die entsprechende Technologie erschlossen wird und die vergleichsweise teure Konkurrenz aus den Industriestaaten ausgestochen wird.

Für diese Felder reicht für Deutschland nicht aus, sich auf die Qualität zu konzentrieren, sondern auch Kosteneinsparpotentiale sollten früh realisiert werden. Mit Blick auf dieses Ziel besteht auf Seiten der EU ein Wettbewerbsvorteil darin, dass die notwendigen Voraussetzungen für die Erforschung neuer Technologien und Produktionsverfahren bereits geschaffen sind und auch qualifiziertes Personal bereitsteht. Das Beispiel des Technologiefeldes Photovoltaik zeigt, dass es dringend geboten ist, diese Vorteile auch wirklich zu nutzen. Im Gegensatz zu dieser Notwendigkeit steht die Tatsache, dass die Summe zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Technologiefeld Photovoltaik in Deutschland nur 3 Prozent der Mittel zur Förderung der Verbreitung von Photovoltaikanlagen ausmacht (z. B. durch die

---

<sup>39</sup> Siehe Tabelle 8 oben (auch für die folgenden Zahlen).

Einspeisevergütung). Dies fällt damit nur geringfügig höher aus als z. B. in China, wo sich der entsprechende Wert auf 1 Prozent beläuft (Grau et al. 2011: 35).

Zuletzt stellt die Elektromobilität ein Technologiefeld dar, in dem China technische Vorteile besitzt, und es für Deutschland und die EU aufzuholen gilt. In diesem Feld kommt vor allem Chinas Ansatz der Pilotstädte zum Tragen. Dadurch können eine Reihe von unterschiedlichen Instrumenten zur Förderung von Elektromobilität auf ihre Tauglichkeit überprüft werden. Die Best Practice-Beispiele werden dann auf nationaler Ebene umgesetzt. Für die EU könnte entsprechend eine Möglichkeit darin bestehen, in einer Anzahl von Städten ambitioniertere Ziele in diesem Feld zu setzen, um Erfahrungswerte zu sammeln. Dies könnte auch angesichts der Tatsache, dass Elektromobilität mit großen Infrastrukturveränderungen einhergeht, von Vorteil sein. Darüber hinaus ist es notwendig, technische Barrieren abzubauen. Während sich in China bereits einheitliche Standards für Ladestationen durchgesetzt haben, ist dies in der EU noch nicht der Fall. Solche Barrieren könnten aber dazu führen, dass China in Zukunft eher First Mover-Vorteile realisieren wird.

### 5.4.3 Fallstudie USA

#### 5.4.3.1 Kurzüberblick

Als führende Wirtschaftsnation sind die USA auch im Bereich der Umweltschutzgüter Vorreiter. Mit 55,9 Milliarden US-Dollar an Investitionen in erneuerbare Energien im Jahr 2011 nehmen die USA international einen der vordersten Plätze der Förderung dieses Bereichs ein (Bloomberg New Energy Finance 2012). Dabei hinkt die Bundesebene in ihrem Reformwillen allerdings einigen Bundesstaaten deutlich hinterher. So konnte beispielsweise 2009 ein nationaler Standard, der einen bestimmten Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung verlangt hätte, nicht durchgesetzt werden, weil die notwendige Mehrheit im Kongress nicht erreicht wurde (PEW Charitable Trusts 2010: 71). Die Umweltpolitik der amerikanischen Regierung beschränkt sich daher zum großen Teil auf Instrumente, die ökonomische Anreize setzen und für Unternehmen oder Branchen keine Verpflichtungen darstellen. Im Rahmen dieser Vorgehensweise genießt die Förderung von Umweltschutzgütern allerdings eine hohe Bedeutung. Stellvertretend hierfür steht die im internationalen Vergleich hohe Summe von 66 Milliarden US-Dollar des amerikanischen Stimuluspaketes, die zur Finanzierung der Förderung von Umweltschutzgütern eingesetzt wurde (PEW Charitable Trusts 2010: 71).

Größere Anstrengungen im Bereich der umweltpolitischen Instrumente sind eher auf Ebene der amerikanischen Bundesstaaten zu verzeichnen. So haben 28 Bundesstaaten Standards für erneuerbare Energien, die auf nationaler Ebene nicht durchgesetzt werden konnten<sup>40</sup>. Als Vorreiter haben sich hier zum einen zehn Staaten im Nordosten der USA hervorgetan, die eine Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) gründeten mit dem Ziel, ein Cap-and-Trade System für CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung einzuführen. Dieses trat im Jahr 2009 in Kraft (Rennings et al. 2008: 143). Zum anderen ist hier der California Climate Action Plan zu nennen, mit dem der Bundesstaat Kalifornien eine umfangreiche Strategie zur Erreichung von Klimazielen auf den Weg gebracht hat. In einigen Regionen der USA wird durch die Gesetzgebung auf verschiedenen Politikebenen darum bereits eine umfangreiche

---

<sup>40</sup> Siehe hierfür: [http://apps1.eere.energy.gov/states/maps/renewable\\_portfolio\\_states.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/states/maps/renewable_portfolio_states.cfm).

Umweltregulierung mit einer Bandbreite an innovationsorientierten Instrumenten eingesetzt. Diese wird im Folgenden dargestellt und ausgewertet.

#### 5.4.3.2 Deskription

Innerhalb des Mehrebenensystems der USA sind Unterschiede in der Stringenz der Umweltregulierung zu erkennen. Kalifornien nimmt eine Vorreiterposition in der Umweltpolitik ein. Hinzu kommt, dass Kalifornien aufgrund seiner Position als bevölkerungsstärkster und wirtschaftlich bedeutendster US-Bundesstaat eine besondere Bedeutung innerhalb der Vereinigten Staaten zukommt. Daher werden im Folgenden die eingesetzten Instrumente zur Förderung von Umweltschutzgütern auf nationaler Ebene sowie in Kalifornien vorgestellt. Beispielhaft wird dies anhand der Bereiche erneuerbare Energien und nachhaltige Mobilität beschrieben.

Durch den Global Warming Solutions Act von 2006 hat sich Kalifornien verbindliche Klimaschutzziele gesetzt. Im Jahr 2020 sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf das Niveau von 1990 zurückgeführt sein, was einer Reduktion von 15 Prozent im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 2010 gleichkommt (California Environmental Protection Agency 2010: 2). Bis 2050 soll schließlich eine Reduktion von 80 Prozent gegenüber dem 1990er-Stand realisiert werden (Rennings et al. 2008: 142). Die Förderung erneuerbarer Energien ist dabei eines der Mittel, durch das sich die Regierung in Kalifornien verspricht, dieses Ziel zu erreichen. Als Instrument zur Verbreitung erneuerbarer Energiequellen wurde hierfür 2002 ein Renewable Portfolio Standard eingeführt, der eine Stromversorgung von 33 Prozent aus erneuerbaren Energiequellen im Jahr 2030 vorsieht (California Environmental Protection Agency 2010: 3). Durch dieses Instrument wird von Stromversorgern in Kalifornien verlangt, den Anteil von erneuerbaren Energien in ihrem Portfolio jährlich um 1-2 Prozent zu steigern, bis der angestrebte Anteil von 33 Prozent im Jahr 2020 erreicht ist. Die Standards werden seit 2008 außerdem noch von Einspeisetarifen für kleine Solaranlagen unterstützt.

Einen Schwerpunkt für die Erreichung der kalifornischen Klimaschutzziele bildet der Transportsektor. Dieser ist in Kalifornien für etwa 41 Prozent der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich (Rennings et al. 2008: 143). Zur Transformation des Transportsektors in Richtung einer nachhaltigen Mobilität hat sich die kalifornische Regierung ambitionierte Ziele gesetzt. Laut der Pavley Bill sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2016 um 30 Prozent reduziert werden (California Environmental Protection Agency 2010). Das Hauptinstrument zur Erreichung dieses Ziels ist die Festsetzung von Abgasstandards. Die kalifornischen Abgasstandards sind im amerikanischen Vergleich die strengsten und liegen signifikant unter den nationalen Standards. Im Rahmen der Pavley Bill soll es zu einer schrittweisen Herabsetzung der Obergrenzen für CO<sub>2</sub>, CO-, HC- und NO<sub>x</sub>-Emissionen kommen. Dabei soll der Anteil der Fahrzeuge der im Vergleich lockereren Norm zu Gunsten des Anteils der Fahrzeuge der strengeren Norm kontinuierlich gesenkt werden. Die strengste Ausprägung des Abgasstandards wird Zero Emission Vehicle genannt. Unter dieser Kategorie fallen Fahrzeuge wie Elektrofahrzeuge. Seit 2003 beträgt ihr Anteil an den Neuzulassungen 10 Prozent (Rennings et al. 2008: 143). Die Quote von 10 Prozent kann zu 8 Prozent allerdings aus teilweise emissionsfreien Fahrzeugen wie z. B. Fahrzeugen mit hybriden Antrieben erfüllt werden. Die Standardsetzung wird ergänzt mit einer finanziellen Unterstützung der kalifornischen Regierung für den Erwerb von Elektrofahrzeugen. Die Subvention beläuft sich auf 5.000 US-Dollar bei Erwerb eines Elektrofahrzeuges (Roland Berger 2010: 30).

Die Subvention fällt bei der Betrachtung der nationalen Ebene sogar noch höher aus. Der Erwerb eines Elektrofahrzeuges wird hier mit einer Steuergutschrift in Höhe von 7.500 US-Dollar gefördert (Roland Berger 2010: 28). Noch höher fällt die Steuergutschrift für den Bau von

Aufladestationen aus. Diese rangiert in der Höhe von 30.000 US-Dollar (Roland Berger 2010: 28). Neben der Schaffung solcher ökonomischer Anreize für Verbraucher setzt die amerikanische Regierung im Bereich nachhaltiger Mobilität vor allem auf die Bereitstellung von Geldmitteln für Hersteller. Für Batterietechnologie stellt die Regierung Mittel in Höhe von 2 Milliarden US-Dollar zur Verfügung. Die Herstellung von kraftstoffeffizienten Fahrzeugen wiederum wird gefördert durch Darlehen in Höhe von 25 Milliarden US-Dollar (Roland Berger 2010: 28).

### 5.4.3.3 Analyse und Evaluation

Eine umfassende innovationsfreundliche Umweltregulierung lässt sich in den Vereinigten Staaten nicht flächendeckend vorfinden. Der Mangel an umweltpolitischen Instrumenten auf nationaler Ebene ist hierfür maßgeblich verantwortlich. Dieser Mangel wird aber zum Teil auf bundesstaatlicher Ebene ausgeglichen. Kalifornien wurde im vorherigen Abschnitt als Beispiel eines Bundesstaates beschrieben, der durch seine zusätzlichen umweltpolitischen Instrumente im Mehrebenensystem der Vereinigten Staaten die Voraussetzungen einer umfassenden innovationsfreundlichen Umweltregulierung erfüllt. Auf der Grundlage einer strategischen Planung und Zielformulierung werden hier Instrumente eingesetzt, die ökonomische Anreize zur Erfindung von Umweltschutzgütern und deren Verbreitung bieten. Hersteller und Konsumenten werden durch die Instrumente gleichermaßen berücksichtigt. Der beginnende Emissionshandel wird in Zukunft zusätzlich dazu führen, dass auch Unternehmen verstärkt als Konsumenten von Umweltschutzgütern auftreten werden.

Bei der Bewertung des Innovationsdrucks muss vor dem Hintergrund des oben beschriebenen Sachverhaltes ebenfalls zwischen nationaler und bundesstaatlicher Ebene unterschieden werden. Der Innovationsdruck auf nationaler Ebene ist als eher gering einzuschätzen, da Instrumente, die eine Adaption von neuen Technologien erfordern, kaum eingesetzt werden. Die amerikanische Regierung hat ihren Fokus bei der Förderung von Technologien auf die Bereitstellung von finanziellen Mitteln gelegt. Insgesamt erweckt die Herangehensweise auf nationaler Ebene den Eindruck, dass die Förderung von Umweltschutzgütern eher als wirtschaftspolitisches denn als umweltpolitisches Thema betrachtet wird. In der Konsequenz sind die amerikanischen Umweltstandards in vielen Technologiefeldern im internationalen Vergleich nicht die anspruchsvollsten (Rennings et al. 2008: 158). Da aber Umweltstandards in Zukunft eine wichtigere Rolle auf den Märkten spielen werden, drohen hierdurch Marktanteile verloren zu gehen. Ebenso führt das Fehlen einer langfristigen Strategie der Regierung in diesem Bereich zu einer gedämpften Erfolgserwartung in Umweltschutzgüterinvestitionen. Investitionen könnten deswegen zurückgehalten werden. Allerdings birgt die Herangehensweise der amerikanischen Regierung auch Vorteile in der Förderung von Umweltschutzgütern, die als vorbildlich zu bezeichnen sind. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung im Bereich Umwelt z. B. sind im internationalen Vergleich mit einem Anteil von 17 Prozent am höchsten (Legler et al. 2006: 64). Ein begünstigender Faktor ist dabei sicherlich das Climate Change Technology Programm, in der behördenübergreifend Forschung und Entwicklung koordiniert wird. Auch die Investitionen in Risikokapital sind im internationalen Bereich am höchsten (PEW Charitable Trusts 2010: 10). Die USA sind daher vor allem bei Innovationen im Bereich der Umweltschutzgüter führend (PEW Charitable Trusts 2010: 10). Ein Rückstand wiederum besteht bei Projekten zur konkreten Adaption dieser Innovationen. Hierfür fehlen noch die Instrumente, die eine Verbreitung von Technologien fördern.

Der Innovationsdruck in Kalifornien ist im Vergleich zur nationalen Ebene deutlich höher. Die anspruchsvollen Umweltziele weisen Kalifornien als internationalen Vorreiter aus. Dies gilt unter anderem für das Ziel des Ausbaus erneuerbarer Energien (33 Prozent im Jahr 2020) sowie

die ständige Verschärfung der Abgasstandards in Richtung eines Zero-Emission Vehicles. Vor allem für die Erfüllung des Abgasstandards gilt, dass amerikanische Unternehmen verstärkt in Forschung und Entwicklung investieren, um neue Technologien zu entwickeln, die in den Fahrzeugen verwendet werden (Rennings et al. 2008: 144). Ergänzt werden diese Instrumente durch eine Anzahl von Subventionen auf Konsumenten- und Produzentenseite, welche die Investitionen zur Forschung und Entwicklung von Technologien sowie zu deren Verbreitung weiter verstärken. Kalifornien ist aufgrund dieser umfangreichen innovationsfreundlichen Regulierung nicht nur ein Vorreiter in den USA, sondern auch international.

Trotz eines Mangels an Instrumenten auf nationaler Ebene finden sich im Mehrebenensystem der USA erfolgreiche Strategien zur Förderung von Umweltschutzgütern, welche die USA zum Teil zum Vorreiter machen. Dies lässt sich nicht zuletzt auch in quantitativen Zahlen belegen. Die USA sind zum Beispiel mit einem Patentanteil von 23 Prozent<sup>41</sup> im Bereich der Umweltschutzgüter bei Innovationen führend. Gründe hierfür sind die hohen Ausgaben in Forschung und Entwicklung sowie die hohen Investitionen in Risikokapital, welche die nationale Regierung zum größten Teil selbst tätigt, aber auch durch ökonomische Anreize fördert. Mit einem Exportanteil von 10,7 Prozent im Bereich erneuerbarer Energien sowie 9 Prozent im Verkehr spielen die USA im internationalen Vergleich eine wichtige Rolle in den Märkten für Umweltschutzgüter. Die Exportentwicklung in den Jahren von 2000 bis 2010 von 320 Prozent zeigt weiterhin, dass die Entwicklung positiv verläuft. Die Steigerung der Exporterfolge von Umweltschutzgütern wird dabei zum Teil der oben beschriebenen Clean Energy Technology Exports Initiative zugerechnet (Rennings et al. 2008: 193). Die Exportanteile sind allerdings auch nicht in einer Größenordnung angesiedelt, die erlaubt, von einer herausragenden Stellung der USA zu sprechen. Im Bereich erneuerbarer Energien ist China führend, während im Bereich nachhaltiger Mobilität Japan und China mehr als die USA exportieren. Der Mangel an anspruchsvollen Umweltstandards auf nationaler Ebene dürfte ein Grund hierfür sein.

#### 5.4.3.4 Schlussfolgerung und Übertragbarkeit

Es ist wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass die nationale Vorreiterrolle Kaliforniens stark an Rahmenbedingungen geknüpft ist, die eine Übertragung auf Europa bzw. Deutschland kaum möglich macht. Die Ausgangssituation für die kalifornische Klimaschutzpolitik lässt sich zurückführen auf den Mangel an umweltpolitischen Instrumenten auf nationaler Ebene. Europa bzw. Deutschland dagegen sind durch eine umfangreiche Umweltregulierung auf supranationaler sowie nationaler Ebene gekennzeichnet. Die oben angesprochenen Initiativen sind auch auf die besonderen Bedürfnisse und Verhältnisse in Kalifornien zugeschnitten. In Bezug auf die strengen kalifornischen Abgasregelungen ist zum Beispiel festzustellen, dass es in Kalifornien keine großen Produktionsstätten für Autos und somit auch keine starke Lobby der Automobilhersteller gibt (Rennings et al. 2008: 150). Dies dürfte erheblich dazu beigetragen haben, dass die Pavley Bill verabschiedet und erfolgreich implementiert werden konnte. Aufgrund der hohen Bedeutung der Automobilindustrie in Deutschland stellt sich die Situation hier deutlich anders dar und lässt die Übertragbarkeit unwahrscheinlich erscheinen.

Trotzdem lassen sich Erkenntnisse aus der kalifornischen Klimapolitik gewinnen. Das Beispiel Kalifornien zeigt, dass es wünschenswert ist, wenn in einem großen Binnenmarkt einzelne Staaten eine Vorreiterrolle einnehmen (Rennings et al. 2008: 145). So können innovative

---

<sup>41</sup> Siehe Tabelle 8 (auch für die weiteren in diesem Abschnitt benutzten Zahlen).

Politiken im kleineren Maßstab ausprobiert werden, bevor sie auf Bundesebene umgesetzt werden. Durch sein hohes Marktpotential haben Kaliforniens strenge Standards Auswirkungen auf den gesamten US-Markt und sogar darüber hinaus. Indem Kalifornien seine Vorreiterposition im Klimaschutz ausbaut, wird der Markt für bestimmte Technologien (bspw. zur Emissionsreduktion) gestärkt und deren Förderung begünstigt.

Die kalifornischen Abgasstandards machen deutlich, wie anspruchsvolle Umweltregulierung nicht nur amerikanische, sondern auch europäische und japanische Hersteller zu substanziellen Investitionen in FuE motiviert (Rennings et al. 2008: 147). Hier kann die EU nicht mithalten, da sie bei der Aushandlung von Standards oftmals unter dem technisch Machbaren bleibt. Zwei Designelemente der kalifornischen Abgasstandards begünstigen die Förderung von Technologien zusätzlich. Zum einen geben die Abgasstandards eine langfristige Orientierung vor, weil alle Obergrenzen bis zum Zero Emission Vehicle bestimmt sind. Zum anderen werden die Obergrenzen kontinuierlich gesenkt. Beides verlangt von den Unternehmen eine kontinuierliche Anpassung und es wird somit eine langfristige Basis für die Förderung von Investitionen geschaffen. Ein kontinuierlicher Investitionsfluss ist die Konsequenz. Auf europäischer Ebene sind die Abgasstandards dagegen nicht bis zur strengst möglichen Obergrenze (Null-Emission) bestimmt und es findet keine kontinuierliche und vorhersehbare Senkung statt. Es ist daher zu bezweifeln, dass dies eine ausreichend langfristige Orientierung für Unternehmen zur Förderung von Investitionen in Forschung und Entwicklung bietet.

Während die Maßnahmen auf nationaler Ebene vielfach denen in Europa bzw. Deutschland hinterher hinken, sind zwei Aspekte der Förderung von Umweltschutzgütern in den USA allerdings als vorbildlich zu bezeichnen. Die USA verwenden einen ressortübergreifenden, integrativen Ansatz bei der Förderung von Exporten und Innovationen. Hierfür wurden zwei zentrale koordinierende Stellen eingerichtet, die möglichst viele Akteure aus staatlichen und privaten Bereichen einbeziehen. Die Förderung profitiert dadurch von dem Informationsaustausch und der Abstimmung zwischen den einzelnen Akteuren. Für Europa und Deutschland ist zu überlegen, ob ein solcher integrativer Ansatz gestärkt werden sollte. Im Bereich von Innovationen sind die USA auch als führend einzuschätzen. Dies liegt sowohl an den hohen Ausgaben in Forschung und Entwicklung als auch an den Investitionen in Risikokapital, die in den USA traditionell hoch sind. Mit Blick auf die Kostenkonkurrenz von China gilt es für Europa und Deutschland, insbesondere im Bereich der Forschung seine derzeitigen Wettbewerbsvorteile zu stärken. Die Herangehensweise der USA im Bereich der Innovationen kann dabei ein Anhaltspunkt sein.

#### 5.4.4 Fallstudie Japan

##### 5.4.4.1 Kurzüberblick

Das Tohoku-Erdbeben am 11. März 2011 mit der anschließenden Nuklearkatastrophe von Fukushima hat der japanischen Gesellschaft die Risiken der zivilen Nutzung der Nuklearenergie mit großer Vehemenz vor Augen gehalten. Seitdem befürwortet eine Mehrheit der Gesellschaft, die zuvor die Förderung von Atomenergie unterstützte, den graduellen Ausstieg (Saaler 2011: 1) und die japanische Regierung treibt die Bemühungen um eine Energiewende voran. Den erneuerbaren Energien kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. So verwundert es nicht, dass der für sein Krisenmanagement kritisierte Premierminister Naoto Kan erst seinen Rücktritt erklärte, als das Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien, welches unter anderem Einspeisetarife festlegte, von beiden Kammern des japanischen Parlaments verabschiedet worden war (Saaler 2011: 2).

Aber auch in anderen Bereichen von Umweltschutz ist die japanische Regierung aktiv. Der Fokus der Bemühungen liegt auf nationaler Ebene. Hier zeichnet sich die Umweltpolitik durch eine Zusammenarbeit der Ministry of Environment (MoE) und dem Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) aus. Die Regierung verzichtet in ihrer Umweltpolitik zum großen Teil auf Top-Down Maßnahmen und setzt eher auf einen kooperativen Politikstil, der Wirtschaft, Zentralregierung und Ministerialbürokratie zusammenführt. In der Umweltregulierung finden sich dementsprechend vor allem Instrumente, die auf Selbstverpflichtung der Unternehmen und ökonomische Anreize setzen, und weniger ordnungspolitisch eingreifen oder Sanktionen verhängen (Rennings et al. 2008: 181). Mit dieser Strategie ist Japan bemüht, die Förderung von Umweltschutzgütern voranzutreiben. Im Folgenden wird diese Strategie detailliert für einzelne Bereiche von Umweltschutzgütern beschrieben.

#### 5.4.4.2 Deskription

Japan verfolgt eine langfristige Strategie zur Förderung von Umweltschutzgütern. Die New Growth Strategy der japanischen Regierung aus dem Jahr 2009 setzt dafür entsprechende wirtschaftliche Ziele für das Jahr 2020. 1,3 Millionen neue Arbeitsplätze sollen geschaffen und eine Wertschöpfung von 50 Billionen Yen in Märkten von Umweltschutzgütern erreicht werden (Japanese Cabinet 2009: 16). Daneben hat sich die japanische Regierung aber auch Umweltziele gesetzt. Als Unterzeichner des Kyoto-Protokolls hat sich Japan verbindlich dem Klimaschutz verschrieben. Eine Reduzierung von 25 Prozent bis zum Jahr 2020 (im Vergleich zu 1990) ist angepeilt, bis 2050 soll eine Reduktion von 80 Prozent erreicht werden (Japanese Cabinet 2009: 21). Aufgrund des hohen Anteils von Atomenergie am Energiemix und eines möglichen Atomausstiegs, der nur mit der Steigerung der Kapazitäten von Kohlekraftwerken zu realisieren ist, wurde das 2020-Ziel allerdings vorerst offiziell außer Kraft gesetzt (Saaler 2011: 3). Für die Erreichung der Klimaschutzziele wurde eine Reihe weiterer Ziele für wichtige Sektoren, die zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen, formuliert. Im Verkehrssektor sollen die Verkäufe von Hybrid- und Elektrofahrzeugen 2020 einen Anteil von 20-50 Prozent aller Fahrzeugverkäufe erreichen. Im Jahr 2030 soll dieser Anteil auf 50-70 Prozent wachsen. Der Anteil von Elektrofahrzeugen soll sich hierbei auf 15-20 Prozent 2020 bzw. 20-30 Prozent 2030 belaufen (METI 2010a: 1). Für den Ausbau der erneuerbaren Energien wird ein Anteil von 20 Prozent an der Stromversorgung im Jahr 2020 angestrebt (Saaler 2011: 4). Die zur Erreichung dieser Ziele eingesetzten Instrumente werden im Folgenden beispielhaft für die Bereiche nachhaltige Mobilität und Abfall beschrieben.

Zur Erreichung der Ziele im Verkehrssektor werden ausschließlich ökonomische Anreize gesetzt. Hybrid- und Elektrofahrzeuge sollen verbreitet werden, indem die noch bestehenden Differenzkosten zwischen diesen und konventionellen Fahrzeugen nicht von den Konsumenten, sondern durch Subventionen vom Staat getragen werden. Beim Erwerb eines Elektrofahrzeuges wird maximal die Hälfte der Differenzkosten von der nationalen Regierung übernommen (Roland Berger 2010: 34). Zusätzlich wird auf regionaler Ebene eine weitere Übernahme der Differenzkosten angeboten. In der Präfektur Kanagawa zum Beispiel wird zusätzlich ein Viertel der Kosten übernommen (Roland Berger 2010: 34). Um weitere ökonomische Anreize zu schaffen, bietet die nationale Regierung beim Erwerb von Hybrid- und Elektrofahrzeugen Steuererleichterungen an. Die Steuer für den Erwerb eines Fahrzeuges wird erlassen, ebenso eine Car Weight Tax, die auf alle Fahrzeuge erhoben wird. Auf Herstellerseite wiederum subventioniert die japanische Regierung Forschung und Entwicklung in Batterietechnologien. In enger Zusammenarbeit mit den japanischen Autoherstellern wird sowohl die Entwicklung von Batterien als auch die Forschung in deren Verbesserung finanziell gefördert. Die Ziele, die dadurch erreicht werden sollen, wurden im Next Generation Vehicle Plan 2010 festgehalten. Bis zum Jahr 2030 soll es gelingen, eine Steigerung der Leistung von Batterien um das

Siebenfache (gegenüber 2006) herbeizuführen und gleichzeitig die Kosten von Batterien um 97,5 Prozent gegenüber der Kosten 2006 zu senken (METI 2010a: 3).

Der Bereich Abfall wird vom 3R-Programm (reduce, reuse, recycle) abgedeckt. Das Programm zielt sowohl auf die Reduktion des Abfallaufkommens als auch auf die Förderung der Wiedergewinnung von Wertstoffen ab, um die Schaffung einer nachhaltigen Kreislaufgesellschaft<sup>42</sup> zu ermöglichen. Das Programm deckt damit neben der Material- und Wertstoffgewinnung aus entsorgten Produkten auch den Rohstoff- und Materialeinsatz in der Herstellungs- und Gebrauchsphase von Produkten ab. Im Programm werden Ziele zur Reduktion der Abfalldeponierung, zur Steigerung der Recyclingraten und Ressourcenproduktivität definiert, die in enger Abstimmung mit der Privatwirtschaft erfolgten und zum Teil entsprechende Ziele der Privatwirtschaft aufnehmen (Rennings et al. 2008: 180). Die in der Regel nicht verpflichtenden Ziele sind als Orientierungshilfe für Firmen gedacht. Das Programm setzt vor allem darauf, dass japanische Unternehmen eigenes Interesse an einer Lösung der Abfallproblematik entwickeln. Die Rolle der japanischen Regierung beschränkt sich auf Subventionsprogramme, die die Förderung von Technologien zur Erreichung der Ziele vorantreiben. Subventionen reichen dabei von direkten Fördermitteln für die Entwicklung neuer Technologien über Niedrigzinsdarlehen bis zu Steuervergünstigungen (Rennings et al. 2008: 181).

#### 5.4.4.3 Analyse und Evaluation

Die innovationsfreundliche Umweltregulierung in Japan ist durch eine kohärente Strategie zur Förderung von Umweltschutzgütern gekennzeichnet. Sie bietet eine langfristige Orientierung auf der Grundlage von Umweltzielen, die teilweise bis zum Jahr 2050 bestimmt sind. Eine Besonderheit in diesem Zusammenhang ist, dass neben den Umweltzielen auch wirtschaftliche Ziele für den Bereich der Umweltschutzgüter bzw. für einzelne Technologien (z. B. Batterietechnologien für Elektrofahrzeuge) formuliert sind. Bei den eingesetzten Instrumenten gilt das Prinzip, dass die Förderung der Forderung vorgezogen wird. Folglich finden sich vor allem solche Instrumente, die ökonomische Anreize setzen. Auf Seiten der Hersteller wird die Forschung und Entwicklung gefördert, während Konsumenten wie im Fall von Elektrofahrzeugen beim Erwerb von Umweltschutzgütern unterstützt werden. Verpflichtende Maßnahmen dagegen werden mit Ausnahme des früheren Renewable Electricity Standard nicht getroffen. Die Regierung setzt stark auf die Eigeninitiative der Unternehmen. Dazu passt auch der kooperative Politikstil der japanischen Regierung, bei dem Entscheidungen unter Einbindung der relevanten Stakeholder getroffen werden. Inwiefern diese Form der innovationsfreundlichen Umweltregulierung erfolgreich ist, muss für jeden beschriebenen Bereich einzeln analysiert und ausgewertet werden.

Für die Bereiche nachhaltiger Mobilität und Abfall scheint die Strategie zu funktionieren. In beiden Bereichen besitzt Japan einen hohen globalen Exportanteil von 14 Prozent (siehe Tabelle 8). Auch hier sind verschiedene Ursachen auszumachen. Im Gegensatz zum Ausbau erneuerbarer Energien basiert die Planung auf ambitionierten Umweltzielen. Obwohl zum Beispiel Japan bereits 1997 über die weltweit höchste Ressourcenproduktivität verfügte, wurden im Zusammenhang mit dem 3R-Programm noch strengere Ziele formuliert (Rennings

---

<sup>42</sup> Der Begriff Kreislaufgesellschaft muss vom deutschen Begriff Kreislaufwirtschaftssystem des Dualen System Deutschlands (DSD) unterschieden werden, weil der japanische Begriff einen holistischen Ansatz und damit einen breiteren Maßnahmenkatalog impliziert (Rennings et al. 2008: 178).

et al. 2008: 79). Die eingesetzten Instrumente wurden auch zu einem frühen Zeitpunkt eingesetzt, so dass sich Japan Wettbewerbsvorteile sichern konnte, indem Technologien schnell zum Einsatz kamen und verbreitet wurden. Die Hybridtechnologie etablierte sich für japanische Unternehmen als Beispiel frühzeitig für Mittelklasse-Pkws mit Ottomotor. Die Unternehmen konzentrieren sich nun darauf, Effizienzsteigerungen zu erzielen, um die Technologie weiter am Markt zu verbreiten (Doll 2007: 23). Die Grundlage für den Erfolg der von der Regierung eingesetzten Instrumente ist auch nur auf der Grundlage des Zusammenspiels zwischen innovationsorientierten Unternehmen und innovationsoffenen Konsumenten zu erklären. So formulierte die Regierung die Ziele im 3R-Programm auf der Grundlage von Zielen, die sich die entsprechenden Unternehmen in den Sektoren zum Teil bereits vorher selbst gesetzt haben (Rennings et al. 2008: 180). Die Unternehmen, so wirkt es, haben die Umweltproblematik erkannt und wollen sich selbst aktiv beteiligen. Für die Verbreitung neuer Technologien sind allerdings auch die Kundenpräferenzen zu berücksichtigen, da die Kunden mit ihrer Kaufentscheidung entscheidend an der Verbreitung von Technologien vor allem im Bereich nachhaltiger Mobilität beteiligt sind. Die Offenheit gegenüber technologischen Neuerungen ist dabei ein Merkmal der japanischen Bevölkerung, welches die frühzeitige Verbreitung von Technologien verstärkt. Auf der Grundlage dieses Zusammenspiels ist es sinnvoll, wie im Fall der japanischen Regierung, seinen Schwerpunkt auf Subventionen zu setzen. Der Erfolg insbesondere im Bereich Abfall ist letztlich auch damit zu erklären, dass der Ansatz des 3R-Programms alle Phasen eines Produktes erfasst, wodurch sich im Gesamtbild neue Möglichkeiten zur Erreichung von Umweltzielen ergaben.

Die japanische Strategie zur Förderung von Umweltschutztechnologien ist in einigen Bereichen erfolgreicher als in anderen. Die massive Förderung von Forschung und Entwicklung hat zur Folge, dass die japanische Wirtschaft eine der innovativsten in diesem Bereich ist. Mit einem Anteil von 18,4<sup>43</sup> Prozent an den Patentanmeldungen im Bereich der Umweltschutzgüter gehört Japan mit den USA und Deutschland zur Spitzengruppe. Im Bereich Verkehr belegt Japan mit einem globalen Exportanteil von 14 Prozent den Spitzenplatz, während das Land im Bereich Abfall hinter den USA nur auf dem zweiten Platz rangiert. Der Erfolg in diesen Bereichen ist wie oben beschrieben mit den günstigen Voraussetzungen für die Strategie der japanischen Regierung zu erklären. Auf der anderen Seite ist der globale Exportanteil im Bereich erneuerbarer Energien mit 6,4 Prozent im Mittelfeld und im Vergleich zu 2005 gesunken. Diese Entwicklung wurde damit erklärt, dass trotz früh eingesetzter Instrumente und eines hohen globalen Marktanteils die japanische Regierung keine ambitionierten Ziele verfolgt hat und dazu versäumt hat, Instrumente zu benutzen, die den Innovationsdruck auf die Unternehmen erhöhen. Dies hat anderen Ländern, insbesondere China, ermöglicht, Japans Wettbewerbsvorteile aufzuholen und Marktanteile zu sichern.

#### 5.4.4.4 Schlussfolgerung und Übertragbarkeit

Aus der Strategie der japanischen Regierung können wichtige Erkenntnisse für Deutschland gewonnen werden. So zeigt das Beispiel Japan, dass eine Strategie, die auf die Eigeninitiative der Unternehmen abzielt, Erfolg haben kann. Dies ist eine wichtige Erkenntnis besonders für den Bereich der Energieeffizienz, in dem die EU und Deutschland keine verpflichtenden Maßnahmen getroffen haben. Ein Grund für die erfolgreiche Implementierung der freiwilligen Selbstverpflichtung in Bereichen wie Abfall liegt im vorbildlichen kooperativen japanischen

---

<sup>43</sup> Siehe Tabelle 8 oben (auch für die weiteren in diesem Abschnitt benutzten Zahlen).

Politikstil zwischen Politik, Wirtschaft und Verwaltung auf nationaler Ebene. Kontinuierliche Diskussions- und Aushandlungsprozesse ermöglichen es hier den Akteuren, sich bereits im Vorfeld auf Ziele und Maßnahmen zu einigen, die von allen Beteiligten akzeptiert werden. Zudem besitzen die beteiligten Wirtschafts- und Branchenverbände eine integrierende Wirkung auf ihre Mitglieder und tragen damit zur Umsetzung der Maßnahmen bei (Rennings et al. 2008: 190). Eine weitere Rolle spielt die Androhung von strikteren Regelungen, die allerdings erst dann erfolgen, wenn die Zielgruppen sich nicht an die Ergebnisse der Aushandlungsprozesse halten.

## 5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie im Abschnitt 5.3 dieses Kapitel gezeigt wurde, ist die technologische Leistungsfähigkeit im Bereich der Öko-Innovationen in Deutschland hoch, weist aber in den Teilbereichen deutliche Unterschiede auf. So liegen bei der Innovationsdynamik der nachhaltige Verkehr und die nachhaltige Energieversorgung vorne, wogegen die Patentspezialisierung in den Bereichen Verkehr und Energieeffizienz besonders herausragt. Bei den Patentanteilen wiederum liegen bis auf die Materialeffizienz alle Bereiche über dem Durchschnitt. Teilweise sind Rückstände einzelner Bereiche (z. B. Innovationsdynamik in den Bereichen Wasser/Abwasser und Abfall) möglicherweise aber auch auf „kulturelle Eigenarten“ dieser Bereiche zurückzuführen, wenn bspw. die Patentierung dort als Mittel der Wahrung geistigen Eigentums nur eine untergeordnete Rolle spielt. Daher kann die technologische Leistungsfähigkeit in den meisten Bereichen als für die Konstituierung eines Lead-Marktes ausreichend angesehen werden.

Hinsichtlich der Qualität der Nachfrage ist eine Differenzierung nach Technikbereichen aufgrund fehlender Daten nicht möglich. Für die Öko-Innovationen insgesamt kann aber festgestellt werden, dass Deutschland sowohl bei der Ausrichtung auf das Ziel der Nachhaltigkeit als auch bezüglich seiner technologischen Reputation überdurchschnittliche oder gar Spitzenwerte belegt. Dass der Anteil der FuE-intensiven Exporte demgegenüber etwas abfällt, hängt mit der insgesamt starken Außenhandelsposition Deutschlands zusammen.

Schließlich liegt trotz des „Handicaps“ eines insgesamt sehr starken Außenhandels, demgegenüber eine weitere Profilierung schwierig ist, die Spezialisierung des Außenhandels im Bereich der Öko-Innovationen immer noch deutlich im positiven Bereich. Alle gefundenen Daten lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass die Öko-Innovationen in Deutschland ein deutliches Lead-Markt-Potenzial aufweisen, dabei ergeben sich aus den hier durchgeführten Fallstudien Hinweise für den weiteren Ausbau dieser Position.

In Abschnitt 5.4 wurden die Strategien dreier Länder untersucht, die mit Blick auf die massive Förderung von Umweltschutztechnologien zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit auf den internationalen Zukunftsmärkten als Vorreiter eingestuft werden können. Aus diesen Fallstudien ergeben sich Hinweise, in welchen Bereichen sich Deutschland im Hinblick auf den künftigen Wettbewerb auf diesen Zukunftsmärkten noch besser aufstellen kann. Dazu gehört bspw. die Notwendigkeit, Umweltstandards weiterhin und im internationalen Vergleich hoch zu halten, da sich hieraus nicht nur eine Förderung zur Adaption bereits bestehender Technologien ergibt, sondern wesentliche Anreize zur Entwicklung neuer Technologien gesetzt werden. Als Fazit der Fallstudien ist festzuhalten, dass Deutschland derzeit eine herausragende Stellung im internationalen Wettbewerb einnimmt. Um diese zu wahren, erscheint es angezeigt das Förderkonzept um bestimmte Aspekte zu ergänzen und insbesondere den Unternehmen eine verlässliche Planungsgrundlage für ihre Investitionen zu liefern.

## **6 Volkswirtschaftliche Wirkungen ökologischer Modernisierungsstrategien in den Fokusbereichen**

### **6.1 Erneuerbare Energien**

Der Ausbau erneuerbarer Energien ist ein Kernstück einer ökologischen Modernisierungsstrategie. Es geht dabei um die Entwicklung und Verbreitung neuer Lösungen bei der Energiebereitstellung, die auf Umweltentlastungen durch verringerte Emissionen von Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen zielen. Dies geht Hand in Hand mit einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit der Anbieter von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien. Importe von Energieträgern werden durch inländische wirtschaftliche Aktivitäten zur Herstellung und zum Unterhalt von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien substituiert. Zudem ergeben sich Vorteile durch eine verbesserte Versorgungssicherheit; politische Abhängigkeiten werden durch Diversifizierung verringert und die inländische Wirtschaft wird vor Preissteigerungen und Preisschwankungen auf internationalen Märkten für Energieträger geschützt.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden die möglichen wirtschaftlichen Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien in Deutschland bis zum Jahr 2050 in Form von Szenarien dargestellt.

Die wirtschaftlichen Impulse eines Ausbaus der erneuerbaren Energien sind soweit wie möglich aus den aktuellen Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global abgeleitet worden (Nitsch et al. 2012).<sup>44</sup> Die Leitstudie präsentiert zielorientierte Szenarien, die zeigen, wie die Energieversorgung zu gestalten ist, um die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung zu erreichen.

#### **6.1.1 Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung**

Das Energiekonzept der Bundesregierung (BMW i und BMU 2010) zielt auf die Verringerung der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40 Prozent bis 2020, um 55 Prozent bis 2030 und um 80 bis 95 Prozent bis 2050 (Tabelle 9). Dazu sollen sowohl die Energieeffizienz gesteigert als auch die Nutzung der erneuerbaren Energien vorangetrieben werden. Die Endenergieproduktivität soll um 2,1 Prozent pro Jahr gesteigert und dadurch – bei einem angenommenen Wirtschaftswachstum von 0,8 Prozent pro Jahr – eine Minderung des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent bis 2020 und um 50 Prozent bis 2050 gegenüber 2008 erreicht werden.<sup>45</sup> Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist eine deutliche Steigerung der Rate der energetischen Sanierung von Gebäuden; diese Strategie wird im Zusammenhang mit Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz (Kapitel 6.2) untersucht.

---

<sup>44</sup> Der Benennung der Vorläuferstudien folgend wird diese Studie auch „Leitstudie 2011“ genannt, obwohl dies nicht der offizielle Titel ist.

<sup>45</sup> Zur Erfüllung der Emissionsziele muss der verbleibende fossile Primärenergieanteil eine deutlich geringere CO<sub>2</sub>-Intensität aufweisen als heute, d. h. weitgehend erdgasbasiert sein. Alternativ müsste die CCS-Technologie in nennenswertem Umfang angewendet werden (Nitsch et al. 2012).

Der verbleibende Energiebedarf soll zu einem steigenden Anteil durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Im Jahr 2020 wird ein Mindestanteil von 18 Prozent erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch angestrebt, 2030 sollen es mindestens 30 Prozent und 2050 mindestens 60 Prozent sein. Am Bruttostromverbrauch soll der Anteil erneuerbarer Energien 2020 bereits mindestens 35 Prozent, 2030 mindestens 50 Prozent und 2050 mindestens 80 Prozent betragen.

Tabelle 9: Ausgewählte Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung

	2020	2030	2050
Minderung der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 in Prozent	-40	-55	-80 bis -95
Minderung des Primärenergieverbrauchs gegenüber 2008 in Prozent <sup>1</sup>	-20	k.A.	-50
Minderung des Stromverbrauchs gegenüber 2008 in Prozent <sup>2</sup>	-10	k.A.	-25
Mindestanteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch in Prozent	18	30	60
Mindestanteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in Prozent	35	50	80

1 Primärenergieverbrauch ohne nicht-energetischen Verbrauch

2 Nitsch et al. (2012) beziehen dieses Ziel auf den Endenergieverbrauch an Strom, inklusive neuer Verbraucher wie Elektroautos. Im Energiekonzept gibt es hierzu keine Angaben.

Quelle: BMWi und BMU 2010, sowie Nitsch et al. 2012, Tabelle 2-1, S. 46.

## 6.1.2 Energiewirtschaftliche Kennzahlen der Szenarien

Die wirtschaftlichen Impulse, die als exogene Vorgaben in die quantitativen Modellanalysen eingehen, orientieren sich an den energiewirtschaftlichen Kennzahlen der aktuellen Langfristszenarien (Nitsch et al. 2012). Die modellierte Basisvariante beruht dabei auf dem „Szenario 2011 A“, das die oben diskutierten Zielsetzungen des Energiekonzepts konsequent abbildet und bis zum Jahr 2050 zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen von gut 81 Prozent führt. Als eine alternative Variante wird das „Szenario 2011 THG95“ untersucht. In diesem Szenario werden die Treibhausgasemissionen bis 2050 um gut 86 Prozent, bis zum Jahr 2060 sogar um knapp 95 Prozent gegenüber 1990 reduziert. Dies impliziert eine weitgehende Vollversorgung mit erneuerbaren Energien in allen Nutzungsbereichen bereits im Jahr 2050.

Im Szenario 2011 A verringert sich der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um rund 20 Prozent bis 2020, um 35 Prozent bis 2030 und um fast 50 Prozent bis 2050 (Tabelle 10). Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch steigt dabei von 9,4 Prozent in 2010 auf rund 20 Prozent in 2020, 32 Prozent in 2030 und 53 Prozent in 2050.

Dementsprechend vermindert sich der Anteil anderer Energieträger. Besonders stark geht demnach der Kohleanteil zurück, während Erdgas auch 2050 noch ein bedeutender Energieträger sein wird. Weiter wird davon ausgegangen, dass Kernenergie entsprechend des Bundestagsbeschlusses vom 30. Juni 2011 ab Ende 2022 nicht mehr zur Verfügung stehen wird.

Tabelle 10: Energetische Kenngrößen des Szenarios 2011 A

	2010	2020	2030	2050
Verringerung des Primärenergieverbrauchs gegenüber 2008 in Prozent	1,2	19,9	34,7	48,9
Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Prozent	9,4	19,9	32,0	52,8
Anteil fossiler Energien am Primärenergieverbrauch in Prozent	79,7	73,6	68,0	47,2
davon Mineralöl	33,3	31,0	29,1	23,9
Kohle*	24,5	14,3	10,1	2,3
Erdgas u. ä.	21,9	28,3	28,8	20,9
Anteil Kernenergie am Primärenergieverbrauch in Prozent	10,9	6,4	0,0	0,0

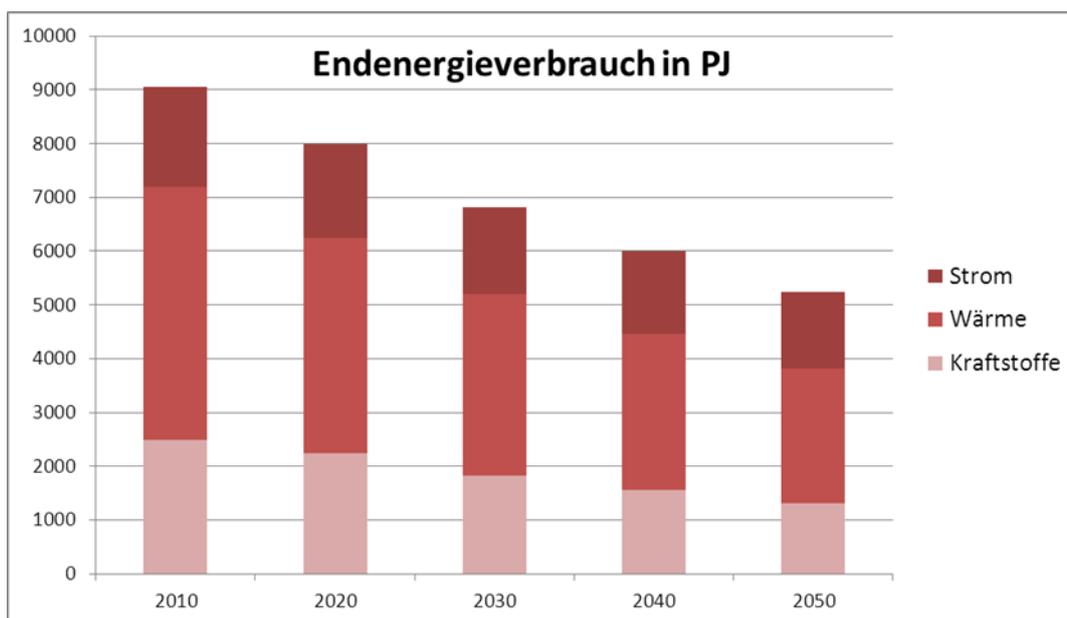
Primärenergie nach Wirkungsgradmethode; Primärenergieverbrauch einschließlich, erneuerbare Energien ohne nicht-energetischen Verbrauch.

\*Einschl. sonst. fossiler Brennstoffe und fossilem und nuklearem Stromimportsaldo.

Quelle: Nitsch et al. 2012 und eigene Berechnungen.

Die bedeutendste Komponente des Endenergieverbrauchs entfällt aktuell auf den Wärmebereich. Dies trifft in Szenario 2011 A auch langfristig zu (Abbildung 17). Bis zum Jahr 2050 geht der Endenergieverbrauch bei Kraftstoffen und im Wärmebereich anteilig am stärksten zurück. Absolut betrachtet ist die Verbrauchsminderung bei der Wärme am größten. Der Endenergieverbrauch beim Strom sinkt am wenigsten, da es bis zum Jahr 2050 zu einer verstärkten Nutzung von Elektrizität im Wärme- und Verkehrsbereich kommen soll.

Abbildung 17: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und seiner Komponenten im Szenario 2011 A nach Nitsch et al. (2012)



Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Endenergie im Wärmebereich steigt von gut 10 Prozent in 2010 auf ca. 52 Prozent in 2050, und damit etwas geringer als der Anteil der

erneuerbaren am gesamten Endenergieverbrauch (Tabelle 11). Den größten Anteil erreichen erneuerbare Energien beim Stromverbrauch; er steigt von 20 Prozent in 2010 auf knapp 86 Prozent in 2050. Absolut gesehen ist die Endenergie aus erneuerbaren Energien beim Strom aber in 2050 (mit 1214 PJ) immer noch etwas geringer als bei der Wärmebereitstellung (1317 PJ). Bei den Kraftstoffen steigt der Anteil erneuerbarer Energien von gut 5 Prozent in 2010 auf rund 20 Prozent in 2030 und fast 42 Prozent in 2050 an. „Kraftstoffe“ beinhalten in der Definition von Nitsch et al. (2012: 136) fossile Kraftstoffe, erneuerbar erzeugten Wasserstoff sowie Biokraftstoffe, zu denen wiederum Biodiesel, Bioethanol und BtL<sup>46</sup> (für Flugzeuge) gehören. Der Einsatz von Strom im Verkehrsbereich (Elektrofahrzeuge sowie Bahn) zählt in dieser Abgrenzung nicht zu den Kraftstoffen.

Tabelle 11: Anteile der erneuerbaren Energien an den Komponenten des Endenergieverbrauchs im Szenario 2011 A

	2010	2020	2030	2050
Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Prozent	11,0	22,8	35,6	58,7
Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch Strom in Prozent	20,0	47,1	67,6	85,8
Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch Wärme in Prozent	10,4	18,4	28,9	52,3
Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch Kraftstoffe in Prozent	5,2	11,8	19,7	41,5

Quelle: Nitsch et al. 2012, Tabelle 4-2, S. 106.

Im Vergleich zu den in Tabelle 11 gezeigten Werten nimmt das Szenario 2011 THG95 bis zum Jahr 2050 noch höhere Anteile erneuerbarer Energien in allen Nutzungsbereichen an. Insbesondere wird in diesem Szenario langfristig noch mehr EE-Strom erzeugt, der direkt für die Elektromobilität, zur Wärmebereitstellung oder für eine Umwandlung in erneuerbaren Wasserstoff oder erneuerbares Methan genutzt werden kann. Die installierte erneuerbare Stromerzeugungsleistung (ohne Import von erneuerbarer Elektrizität) ist demnach bereits im Jahr 2030 um etwa 12 Prozent höher als im Szenario 2011 A, in 2050 sogar um 29 Prozent (Tabelle 12). Dementsprechend steigt der Investitionsbedarf. Zusätzlich erfordert das Szenario THG 95 bis 2050 erhöhte Investitionen in den Stromimport (Netzausbau) sowie Elektrolyse (Speicherung). Die Wirkungen dieses ambitionierteren Szenarios werden in Form einer Sensitivitätsanalyse in Kapitel 6.1.6.3 untersucht.

<sup>46</sup> Biomass to Liquid; Biomasseverflüssigung.

Tabelle 12: Installierte Stromerzeugungskapazitäten erneuerbarer Energien im Szenarienvergleich zwischen 2011 A und 2011 THG95 in GW

	2030		2050	
	2011 A	2011 THG95	2011 A	2011 THG95
Wasser	4,9	4,9	5,2	5,2
Wind	67,2	77,8	82,8	115,3
Photovoltaik	61,0	67,9	67,2	81,8
Biomasse	10,0	10,0	10,4	10,4
Geothermie	1,0	1,0	3,0	4,9
Summe	144,2	161,6	168,6	217,5
Import erneuerbarer Energien	3,6	5,4	10,4	29,0
Strom aus erneuerbaren Energien insgesamt	147,8	167,0	179,0	246,5

Quelle: Nitsch et al. (2012), Tabellen 4-4 und 5-11.

Im Szenario 2011 A sinken die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>47</sup> von 779 Millionen Tonnen im Jahr 2010 auf 521 Millionen Tonnen in 2020, 365 Millionen Tonnen in 2030 und schließlich 154 Millionen Tonnen im Jahr 2050 (Tabelle 13). Gegenüber 1990 macht das bis 2020 einen Rückgang um 48 Prozent, bis 2030 um knapp 64 Prozent und bis 2050 um fast 85 Prozent aus. Durch den Einsatz erneuerbarer Energien werden im Jahr 2020 220 Millionen Tonnen, 2030 rund 300 Millionen Tonnen und 2050 fast 400 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden.

Tabelle 13: Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Szenario 2011 A

	2010	2020	2030	2050
CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mio. t p.a.	779	521	365	154
Durch erneuerbare Energien vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mio. t p.a.	115	220	303	396
Verringerung der CO <sub>2</sub> -Emissionen gegenüber 1990 in Prozent	22,1	47,9	63,5	84,6
Verringerung der THG-Emissionen gegenüber 1990 in Prozent <sup>1</sup>	22,1	46,8	61,6	81,1

<sup>1</sup> Einschließlich Landnutzungsänderungen, in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

Quelle: Nitsch et al. (2012), Tabelle 4-2.

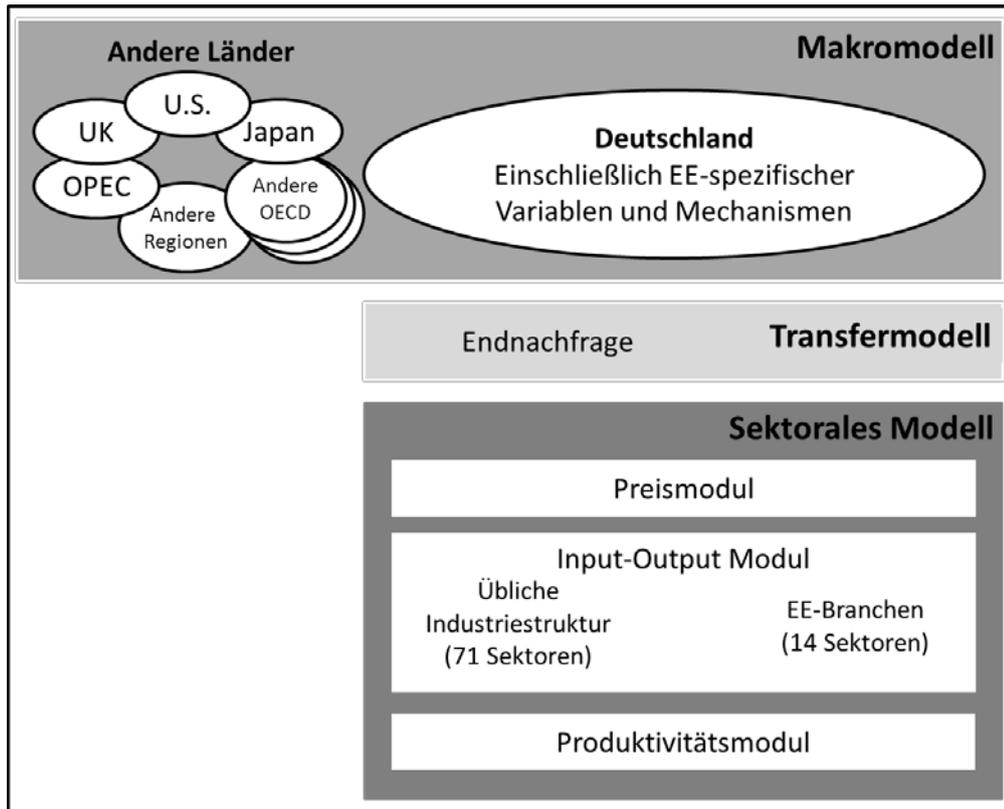
### 6.1.3 Erläuterungen zur Modelltechnik

Zur quantitativen Analyse der Szenarien bis 2030 wird das Modell Sectoral Energy-Economic Econometric Model (SEEM) des DIW Berlin eingesetzt (Blazejczak et al. 2011). Es beruht auf dem makroökonomischen Mehrländermodell National Institute Global Econometric Model

<sup>47</sup> Inklusiv Emissionen aus Hochofenprozessen.

(NiGEM) des britischen National Institute of Economic and Social Research und wurde am DIW Berlin durch ein sektorales Teilmodell für Deutschland erweitert, das die 71 Sektoren der amtlichen Input-Output-Rechnung und darüber hinaus 14 Sektoren zur Herstellung und dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien abbildet. Das Modell erlaubt die Simulation dynamischer volkswirtschaftlicher Wirkungen sowohl auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene als auch hinsichtlich der Effekte in einzelnen Branchen (Abbildung 18).

Abbildung 18: Struktur des Modells SEEM



Quelle: DIW Berlin

Alle Modelle, die zur Abschätzung der Wirkungen umweltpolitischer und anderer Strategien eingesetzt werden, beruhen auf der Annahme, dass wesentliche Verhaltensweisen und Strukturen der Vergangenheit auch in Zukunft gültig bleiben. Je weiter sich die Abschätzungen in die Zukunft erstrecken, desto weniger ist damit zu rechnen, dass diese Voraussetzung erfüllt ist.

Deshalb wurden für die langfristigen Wirkungen einzelner Impulse Multiplikatoren ermittelt, die angeben, wie sich das BIP und seine Komponenten sowie die Beschäftigung und weitere makroökonomische Variablen in Folge einer dauerhaften Erhöhung der einzelnen Impulse um 1 Mrd. Euro verändern. Diese Multiplikatoren wurden für jedes Jahr mit den jeweiligen Impulsen multipliziert. Die aus dieser Rechnung resultierenden Gesamtwirkungen bis zum Jahr 2030 wurden mit Hilfe von Korrekturvektoren so skaliert, dass die Ergebnisse der Modellsimulation bis 2030 exakt repliziert werden. Für die Jahre 2030 bis 2050 wurden dann unter Zuhilfenahme fortgeschriebener Multiplikatoren und Korrekturvektoren die Spätwirkungen früherer Impulse und die Wirkungen der weiteren Impulse auf die ökonomischen Variablen simuliert. Dabei werden durch die Korrekturfaktoren Interaktionen

zwischen den Impulsen und makroökonomische Wechselwirkungen zumindest teilweise berücksichtigt.

Es muss jedoch festgehalten werden, dass die Modellierung der Auswirkungen ökologischer Modernisierungsstrategien nach 2030 mit deutlich zunehmenden Unsicherheiten behaftet ist. Deswegen haben die Ergebnisse für diesen Zeitraum lediglich illustrativen Charakter: sie zeigen eher die Richtung als die Größenordnung der ökonomischen Wirkungen an.

#### 6.1.4 Ökonomische Impulse des Ausbaus der erneuerbaren Energien

Ausgangspunkt der Szenariorechnungen sind Impulse – unmittelbare wirtschaftliche Wirkungen – des Ausbaus erneuerbarer Energien, die aus vorliegenden Untersuchungen ermittelt wurden (s. u.). Die ökonomischen Folgewirkungen dieser Impulse können durch einen Vergleich von Modellläufen ermittelt werden, bei denen die Impulse einmal berücksichtigt sind und einmal unberücksichtigt bleiben. Vergleichsbasis ist dabei ein Null-Szenario, ein hypothetisches Szenario, bei dem angenommen ist, dass der Ausbau erneuerbarer Energien vollständig unterbleibt. Dem Null-Szenario werden mehrere Alternativ-szenarien gegenübergestellt. Eines davon ist das Basisszenario, die übrigen dienen dazu, die Sensitivität der Resultate in Bezug auf wichtige Annahmen zu überprüfen.

In den Langfristszenarien („Leitstudie 2011“) wird die Frage, mit welchen Instrumenten der Ausbau der erneuerbaren Energien erreicht werden kann, nicht behandelt. Auch für die hier vorgelegten Simulationsrechnungen wurde der Zusammenhang zwischen Instrumenteneinsatz und den wirtschaftlichen Impulsen, die mit einem Ausbau der erneuerbaren Energien verbunden sind, nicht modelliert.<sup>48</sup> Es wurde angenommen, dass geeignete Instrumente zur Verfügung stehen, um den angenommenen Ausbaupfad der erneuerbaren Energien zu erreichen. Eine weitere Modellannahme besteht darin, dass über Instrumente wie beispielsweise die EEG-Umlage oder Biokraftstoffquoten die Zusatzkosten (Differenzkosten) des Ausbaus der erneuerbaren Energien letztendlich den privaten Haushalten angelastet werden.<sup>49</sup>

Die hier vorgelegten Wirkungsanalysen gehen von einem zielorientierten Ausbau der erneuerbaren Energien unter einer Reihe von technisch-ökonomischen und ökologischen Nebenbedingungen aus, wie von Nitsch et al. (2012) beschrieben.<sup>50</sup> Andere Ausbaupfade – die mit geringeren Gesamtkosten einhergehen könnten – sind ebenfalls denkbar. Prinzipiell wirkt das EEG – ein wesentliches Instrument des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich – in diese Richtung. Es ist jedoch nicht untersucht worden, ob eine Umgestaltung des EEG oder der Einsatz anderer Instrumente zu wesentlich veränderten Kosten und zu einer unterschiedlichen Kostenanlastung führen würde und welche energie- und gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen das hätte.

Folgende Impulse wurden berücksichtigt (Tabelle 14):

---

<sup>48</sup> Anforderungen an solche Instrumente werden in allgemeiner Form im Zwischenbericht 2 diskutiert.

<sup>49</sup> Diese Annahme erscheint vor dem Hintergrund der bisherigen Erfahrungen mit der EEG-Umlage durchaus sinnvoll. Haushalte bezahlen als nicht-privilegierte Endverbraucher nicht nur den größten Teil der EEG-Umlage, sondern tragen letztendlich auch die Zusatzkosten von energiebedingt steigenden Güterpreisen.

<sup>50</sup> Die grundlegenden Rahmenbedingungen beschreiben Nitsch et al. (2012) auf S. 43-56, wesentliche Annahmen für Einzelbereiche der Energieversorgung auf S. 57-59.

- Der Ausbau erneuerbarer Energien verlangt Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (EE-Anlagen). Produktions- und beschäftigungswirksam in Deutschland sind dabei nur die Anlagen aus heimischer Produktion; importierte EE-Anlagen bleiben deshalb an dieser Stelle unberücksichtigt.
- Für installierte EE-Anlagen fallen Betriebs- und Wartungsausgaben an. Sie steigen im Laufe der Zeit mit dem Bestand an EE-Anlagen an und übersteigen schließlich die EE-Investitionen aus heimischer Produktion. Aufgrund ihrer spezifischen Lieferstruktur werden Ausgaben für Biomassebrenn- und -treibstoffe gesondert berücksichtigt.
- Den Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien stehen Minderinvestitionen in fossile und nukleare Anlagen zur Energieumwandlung gegenüber. Sie sind allerdings wesentlich geringer als die EE-Investitionen, weil letztere höhere spezifische Investitionskosten aufweisen. Zudem weisen Windenergie- und PV-Anlagen wegen der naturbedingten Fluktuation von Wind und Sonneinstrahlung im Vergleich zu fossilen und nuklearen Großkraftwerken eine deutlich geringere Anzahl von Volllaststunden auf, so dass zur Bereitstellung gleicher Strommengen deutlich höhere Kapazitäten notwendig sind.
- In dem Maße wie konventionell erzeugte Energie durch erneuerbare Energien ersetzt wird, verringern sich die Importe fossiler Energieträger. Bezogen auf die kumulierten Investitionen in EE-Anlagen (als Proxy für den Bestand) machen die Minderimporte einheitlich über alle Szenarien anfangs 7 Prozent aus, diese Relation steigt allmählich bis auf etwa 12 Prozent an.<sup>51</sup> In Relation zu den gesamten Ausgaben für den Ausbau der erneuerbaren Energien (Investitionen, Betriebskosten und Biomassenachfrage) betragen die Minderimporte konstant über die Zeit rund 4 Prozent.
- Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland schafft die Basis für zusätzliche Exportchancen für Anlagen und Komponenten. Die Exporte von EE-Anlagen und Komponenten werden auf Basis einer Methode abgeschätzt, die bereits in anderen Studien erprobt wurde (Blazejczak und Edler 2008; Lehr et al. 2011). Hier ist angenommen worden, dass die deutschen Anbieter von EE-Anlagen zwar nicht ihre heutigen Anteile am Weltmarkt halten können, weil auch andere internationale Wettbewerber auf die Märkte drängen, dass aber die deutschen Anbieter ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit soweit beibehalten, dass sie vom zu erwartenden dynamischen Anstieg der weltweiten Nachfrage profitieren können. Dies führt zu einem deutlichen Anstieg der Exporte in der Zukunft.
- Systemanalytische Differenzkosten bilden den Unterschied zwischen den Vollkosten der Energieversorgung mit einem EE-Ausbaupfad und einem hypothetischen Alternativszenario ohne erneuerbare Energien ab.<sup>52</sup> In Abhängigkeit von der angenommenen Kostenentwicklung von EE-Technologien und der Preisentwicklung

---

<sup>51</sup> Im Gegensatz dazu sinken die Minderimporte im Verhältnis zu den kumulierten Investitionen im Bereich der Energieeffizienz von anfangs 13 Prozent auf später 8 Prozent. Dies liegt daran, dass die kostengünstigen Einsparmaßnahmen im Industriebereich im Zeitverlauf annahmegemäß an Gewicht verlieren.

<sup>52</sup> Das Konzept der systemanalytischen Differenzkosten wird von Nitsch et al. (2012) verwendet. Im Unterschied zu den systemanalytischen Differenzkosten beschreiben die sogenannten EEG-Differenzkosten den Unterschied zwischen den durch das EEG garantierten Vergütungszahlungen an EE-Anlagenbetreiber und dem Börsenpreis für Strom.

fossiler Brennstoffe sinken die systemanalytischen Differenzkosten im Laufe der Zeit. Nitsch et al. (2012) zufolge können sie langfristig sogar negative Werte annehmen, d. h. es kommt zu „Differenzgewinnen“. Die Differenzkosten tragen annahmegemäß die Letztverbraucher über höhere Preise für Energie und energiehaltige Produkte. Für die privaten Haushalte bedeutet das eine Verringerung des realen verfügbaren Einkommens, das für den Konsum zur Verfügung steht, solange die Differenzkosten positiv sind. Die Differenzkosten erreichen in der Basisvariante bereits um 2015 ihren maximalen Wert und sinken danach. Nach 2025 entstehen „Differenzgewinne“; die Nutzung erneuerbarer Energien ist demnach billiger als eine (hypothetische) konventionelle Energieerzeugung, und das verfügbare Einkommen der Haushalte liegt daher annahmegemäß höher als im Nullszenario.

Tabelle 14: Impulse des Ausbaus erneuerbarer Energien - Basisvariante in Milliarden Euro in Preisen von 2000 pro Jahr

	2010	2020	2030	2040	2050
Investitionen in EE-Anlagen aus heimischer Produktion	15,9	12,3	11,0	11,3	12,2
Ausgaben für den Betrieb von EE-Anlagen	5,0	9,4	11,7	12,1	13,1
Ausgaben für Biobrenn- und Treibstoffe	5,6	10,1	11,5	11,1	10,5
Minderinvestitionen in konventionelle Energieanlagen	3,7	2,2	2,8	2,8	3,2
Minderimporte fossiler Energieträger	6,2	17,9	33,1	47,8	66,4
Exporte von EE-Anlagen und Komponenten	11,0	24,5	30,2	35,9	41,6
Differenzkosten	10,7	9,5	-8,1	-35,6	-59,6

Quelle: Nitsch et al. (2012) und Berechnungen des DIW Berlin

### 6.1.5 Ökonomische Wirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien

Über ein komplexes Geflecht von Interdependenzen haben die genannten Impulse Auswirkungen auf die Einkommen einer Volkswirtschaft und ihre Verwendung sowie auf die Beschäftigung. Die quantitativen Analysen mit dem Modell SEEEM zeigen, dass der Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland zu zusätzlichen Einkommen führt. Das Bruttoinlandsprodukt ist im Zeitraum 2010 bis 2030 in realer Rechnung anfangs um 2 Prozent und später um gut 3 Prozent höher als in einem kontrafaktischen Szenario ohne erneuerbare Energien (Tabelle 15). Entscheidend für dieses Ergebnis ist, dass zusätzliche volkswirtschaftliche Produktionsfaktoren mobilisiert werden können. In der Basisvariante geschieht das durch eine Beschleunigung des Produktivitätsfortschritts. Die Arbeitsproduktivität pro Arbeitskraft (Personenproduktivität) ist in 2010 um knapp 2 Prozent, in 2030 um gut 3 Prozent höher als ohne den Ausbau erneuerbarer Energien. Der Anstieg der Personenproduktivität<sup>53</sup> – entweder über eine Verlängerung der durchschnittlichen Arbeitszeit (Arbeitsstunden pro Arbeitskraft) oder über eine höhere Stundenproduktivität – ist kurzfristig damit zu erklären, dass die Unternehmen Arbeitskräfte vorgehalten haben, die nun intensiver beschäftigt werden. Mittelfristig dürften angesichts struktureller Diskrepanzen von Arbeitskräfteangebot und -nachfrage drohende Lohnsteigerungen die Unternehmen veranlassen, Potentiale für

<sup>53</sup> Personenproduktivität = Stundenproduktivität\*Arbeitsstunden pro Arbeitskraft.

Produktivitätssteigerungen zu nutzen. Längerfristig kann der simultane Anstieg von Produktion und Produktivität durch eine beschleunigte Diffusion von Innovationen erklärt werden. Der annähernd gleichgroße Anstieg von Wertschöpfung und Produktivität impliziert eine kaum veränderte Beschäftigung; nur anfangs ist die Beschäftigung etwas höher (um gut 40 Tausend Personen). Langfristig entwickeln sich im Modell Beschäftigung und Produktion im Gleichschritt.

Die privaten Anlageinvestitionen (ohne Wohnungsbauinvestitionen, die nur wenig berührt werden) sind in realer Rechnung anfangs um gut 13 Prozent, in 2030 immer noch um gut 7 Prozent höher als ohne den Ausbau erneuerbarer Energien. Darin kommt nicht nur der Impuls höherer Investitionen in EE-Anlagen zum Tragen, sondern auch die höhere Investitionstätigkeit in anderen Wirtschaftsbereichen aufgrund der insgesamt gestiegenen Wirtschaftsaktivität. Diese zusätzlichen Investitionen tragen ebenfalls dazu bei, dass die Produktivität steigt. Die höheren Einkommen ermöglichen auch einen höheren privaten Verbrauch. Er ist in 2030 gegenüber dem Nullszenario um mehr als 3,5 Prozent höher; dazu trägt nicht zuletzt die Verringerung der Energiekosten bei, für die die negativen Differenzkosten stehen.

Der Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland verbessert die Position deutscher Anbieter von EE-Technologien auf internationalen Märkten. Die gesamten Exporte sind in realer Rechnung um etwa 1 Prozent höher als im Nullszenario. Das ist etwas weniger als der Impuls bei den Exporten von EE-Anlagen und -Komponenten. Die Dämpfung des Exportimpulses (um ca. 18 Prozent in 2030) kommt dadurch zustande, dass eine Veränderung der relativen Preise zu geringeren Exporten anderer Güter führt. Gleichzeitig sind aber auch die Importe insgesamt aufgrund der hohen Elastizität der Importnachfrage des Konsums, der Investitionen und der Exporte trotz der Minderimporte fossiler Brennstoffe höher, sodass sich der Exportüberschuss nur wenig verändert. Anfangs, solange der Bestand an EE-Anlagen noch kleiner ist, sind die Minderimporte fossiler Energieträger noch gering, so dass der Importanstieg aufgrund der höheren Nachfrage kräftig ausfällt; das erklärt den niedrigeren Außenbeitrag am Anfang der Untersuchungsperiode.

Tabelle 15: Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien - Basisvariante Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Nullszenario

	2010	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	2,1	2,8	3,1	3,6	4,3
Privater Verbrauch	1,1	2,2	3,7	5,0	6,0
Private Anlageinvestitionen ohne Wohnungsbauinvestitionen	13,5	10,0	7,4	6,8	6,2
Ausfuhr	1,0	1,2	0,9	0,8	0,8
Einfuhr	1,6	0,9	0,9	0,8	0,8
Personenproduktivität	2,0	2,8	3,1	3,6	4,3
Erwerbstätige in Tausend	43	14	3	5	7

\* soweit nicht anders angegeben

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

Die Ergebnisse für die Zeit nach 2030 zeigen, dass der Ausbau erneuerbarer Energien auch in diesem Zeitraum zu höheren Realeinkommen führt.<sup>54</sup> Angebotsseitig wird das im Basisszenario – wie auch im Zeitraum davor – eher durch eine höhere Arbeitsproduktivität als durch zusätzliche Beschäftigung ermöglicht; letztere ist nur wenig höher als im Nullszenario. Für diesen Zeitraum erscheint eine solche Entwicklung eher plausibel als eine Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte, da diese Periode aufgrund des demographischen Wandels durch ein deutlich zurückgehendes Arbeitskräfteangebot geprägt sein wird.

## 6.1.6 Sensitivitätsrechnungen

In Form von Sensitivitätsrechnungen wird die Robustheit der Ergebnisse des Basisszenarios überprüft. Dazu werden einzelne wichtige Annahmen über bestimmte im Simulationsmodell abgebildete Wirkungszusammenhänge modifiziert. Es wird eine Sensitivitätsrechnung durchgeführt, in der der durch die Differenzkosten bedingte Anstieg der Energieausgabenbelastung der Haushalte eine Preis-Lohn-Spirale in Gang setzt, die die internationale Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigt. In einer weiteren Sensitivitätsrechnung wird beleuchtet, wie sich andere Annahmen zur Flexibilität des Arbeitsmarktes auswirken. Schließlich wird analysiert, wie sich ein noch anspruchsvollerer Pfad des Ausbaus der erneuerbaren Energien mit dem Ziel einer weitgehenden Vollversorgung im Jahr 2050 auswirkt.

### 6.1.6.1 Beeinträchtigte internationale Wettbewerbsfähigkeit

In dieser Sensitivitätsanalyse wird unterstellt, dass der durch die Differenzkosten bedingte Anstieg der Energiepreise zum Auslöser von Verteilungauseinandersetzungen wird und eine Preis-Lohn-Spirale in Gang kommt. In einem solchen Szenario werden aufgrund der beeinträchtigten preislichen Wettbewerbsfähigkeit die höheren Exporte von EE-Anlagen und -Komponenten durch Mindereexporte anderer Branchen konterkariert (Tabelle 16). Die realen Exporte könnten dann um bis zu 0,5 Prozent (in 2030) niedriger ausfallen. Bei unveränderten Importwirkungen ist in diesem Fall der Außenbeitrag geringer als im Nullszenario. Aufgrund der Lohnsteigerungen würde der private Verbrauch gegenüber dem Nullszenario fast ebenso stark zunehmen wie in der Basisvariante, die Investitionen würden sogar noch etwas stärker steigen. Das BIP wäre allerdings nur geringfügig höher. Die geringere Wachstumsbeschleunigung müsste auf dem Arbeitsmarkt keine negativen Konsequenzen haben, wenn - wie aufgrund des Zusammenhangs von Wachstum und Produktivitätsfortschritts (vgl. 6.1.5) zu erwarten - die Beschleunigung des Produktivitätsfortschritts entsprechend niedriger ausfällt; gegenüber dem Nullszenario wären die Beschäftigungswirkungen wie im Basisszenario gering. Es zeigt sich in diesem Szenario, dass eine Erhöhung der Ausfuhrüberschüsse in realer Rechnung keine notwendige Voraussetzung dafür ist, dass ein Ausbau der erneuerbaren Energien zu höherem privatem Verbrauch führt.

---

<sup>54</sup> Die Werte für die Jahre 2040 und 2050 in den Ergebnistabellen sind immer blass markiert, da sie als deutlich weniger belastbar angesehen werden müssen als die Ergebnisse für 2010-2030.

Tabelle 16: Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien - Variante Beeinträchtigung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000. Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Nullszenario

	2010	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	1,3	1,1	1,1	1,2	1,3
Privater Verbrauch	0,8	1,5	3,2	4,3	5,3
Private Anlageinvestitionen ohne Wohnungsbauinvestitionen	13,5	9,9	7,5	6,9	6,3
Ausfuhr	-0,2	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4
Einfuhr	1,5	1,2	1,7	1,6	1,5
Personenproduktivität	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3
Erwerbstätige in Tausend	44	2	2	4	6

\*soweit nicht anders angegeben.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

#### 6.1.6.2 Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte

Die Beschäftigungswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien hängen wesentlich von den Strukturrelationen ab, die – auch in regionaler Hinsicht – auf dem Arbeitsmarkt herrschen. Insbesondere kommt es darauf an, in welchem Umfang im Zuge der höheren Produktion Personen aus der Arbeitslosigkeit aktiviert werden können. Nimmt man – anders als in der Basisvariante – an, dass dies – auch aufgrund wirkungsvoller Qualifizierungsmaßnahmen – mittelfristig in bedeutenden Umfang gelingt, ist durchaus vorstellbar, dass der Ausbau erneuerbarer Energien spürbare positive Nettobeschäftigungseffekte auslöst (Tabelle 17). Unter den Annahmen der Variante „Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte“ ist die Beschäftigung in 2020 um rund 150 Tausend Personen und in 2030 um rund 260 Tausend Personen höher als im Nullszenario. Das impliziert eine weniger starke Beschleunigung des Produktivitätsfortschritts als im Basisszenario; in 2030 ist das BIP wie im Basisszenario um 3,1 Prozent, die Personenproduktivität anders als dort aber nur um 2,4 Prozent höher als im Nullszenario.

Tabelle 17: Wirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien - Variante „Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte“ Entstehung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Nullszenario

	2010	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	2,1	2,8	3,1	3,6	4,3
Personenproduktivität	1,9	2,4	2,4	2,4	2,5
Erwerbstätige in Tausend	72	151	263	427	593

\*soweit nicht anders angegeben

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

In den Jahren nach 2030 ergeben sich aufgrund der kennziffernbasierten Fortschreibung ständig steigende Beschäftigungswirkungen, weil die Beschleunigung des Produktivitätsfortschritts mit der Wachstumsbeschleunigung nicht Schritt hält. Dieses Ergebnis ist so zu interpretieren, dass es beim Ausbau der erneuerbaren Energien auch auf lange Sicht

eine Chance für positive Beschäftigungswirkungen gibt. Die Größenordnung ist jedoch unsicher, weil es schwierig ist, das Ausmaß des technischen Fortschritts in der fernen Zukunft abzuschätzen. Zudem sind die Beschäftigungswirkungen in den Jahren nach 2030 – anders als für die Zeit davor – nicht auf ihre Konsistenz mit der Entwicklung des Arbeitskräfteangebots geprüft worden.<sup>55</sup>

### 6.1.6.3 Weitgehende Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

Diese Sensitivitätsanalyse untersucht die Effekte des „Szenario 2011 THG95“ der Langfristszenarien, das – wie in Kapitel 6.1.2 beschrieben – bis zum Jahr 2060 eine Verminderung der Treibhausgasemissionen um 95 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 vorsieht. In diesem Szenario kommt es insbesondere im Strombereich bereits im Jahr 2050 zu einer weitgehenden Vollversorgung aus erneuerbaren Energien. Es unterscheidet sich von der Basisvariante dadurch, dass ungefähr vom Jahr 2030 an höhere Investitionen in EE-Anlagen sowie höhere Betriebskosten anfallen. Gleichzeitig entwickeln sich sowohl die Minderimporte konventioneller Energieträger als auch die Differenzkosten noch dynamischer als in der Basisvariante. Exporte und Biomassenachfrage ändern sich annahmegemäß jedoch nicht (Tabelle 18).

Tabelle 18: Impulse des Ausbaus erneuerbarer Energien – THG95 in Milliarden Euro in Preisen von 2000 pro Jahr

	2010	2020	2030	2040	2050
Investitionen in EE-Anlagen aus heimischer Produktion <sup>1</sup>	15,9	14,3	14,2	15,7	19,7
Ausgaben für den Betrieb von EE-Anlagen	5,0	10,0	13,4	14,9	18,0
Ausgaben für Biobrenn- und Treibstoffe	5,6	10,1	11,5	11,1	10,5
Minderinvestitionen in konventionelle Energieanlagen	3,7	2,5	3,6	3,9	5,1
Minderimporte fossiler Energieträger	6,2	19,7	39,7	60,0	86,8
Exporte von EE-Anlagen und Komponenten	11,0	24,5	30,2	35,9	41,6
Differenzkosten	10,7	9,6	-9,1	-42,2	-80,0

<sup>1</sup> Zusätzliche Investitionen in Elektrolyse und Stromimporte teilweise berücksichtigt

Quelle: Nitsch et al. 2012 und Berechnungen des DIW Berlin

Die Erhöhung des Bruttoinlandsprodukts fällt in der Variante THG95 in den Jahren ab 2020 bis 2030 etwas stärker aus als in der Basisvariante (Tabelle 19; vgl. auch Tabelle 15). Der Grund dafür sind die höheren Impulse aus Ausgaben und Minderimporten sowie höhere „Differenzgewinne“, die für Entlastungen von Energiekosten und eine Erhöhung der verfügbaren Einkommen der Haushalte stehen. Bezogen auf die zusätzlichen Ausgaben (Investitionen in EE-Anlagen, Betriebskosten und Biobrennstoffkosten) ist die Erhöhung des BIP etwas höher als in der Basisvariante (es ergibt sich ein Faktor 2,43 statt 2,33 in 2020 und 3,14 statt 2,90 in 2030). Auch nach 2030 sind die Ausgaben und Minderimporte im Szenario THG95 höher als im Basisszenario, und die negativen Differenzkosten sinken weiter. Dies wird bei der Fortschreibung berücksichtigt, so dass sich auch eine stärkere Erhöhung des BIP ergibt als im Basisszenario. In welchem Umfang dies zu positiven Beschäftigungseffekten führt, hängt vom

<sup>55</sup> In der Basisvariante stellt sich diese Frage nicht, weil die Nettobeschäftigungswirkungen dort nicht ins Gewicht fallen.

Ausmaß der Produktivitätserhöhung und den Verhältnissen auf dem Arbeitsmarkt ab. Für die in Tabelle 19 ausgewiesenen Ergebnisse ist angenommen worden, dass sich die Produktivität etwa im selben Maße erhöht wie das BIP, so dass die Beschäftigung annähernd unverändert bleibt.

Tabelle 19: Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien - Variante THG95 Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Nullszenario

	2010	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	2,1	2,9	3,4	4,5	5,6
Privater Verbrauch	1,1	2,3	3,8	5,5	7,0
Private Anlageinvestitionen ohne Wohnungsbauinvestitionen	13,5	11,0	8,7	9,4	10,3
Ausfuhr	1,0	1,2	0,9	1,0	1,1
Einfuhr	1,6	1,0	0,9	0,9	0,9
Personenproduktivität	2,0	2,9	3,4	4,5	5,6
Erwerbstätige in Tausend	43	16	5	6	9

\*soweit nicht anders angegeben

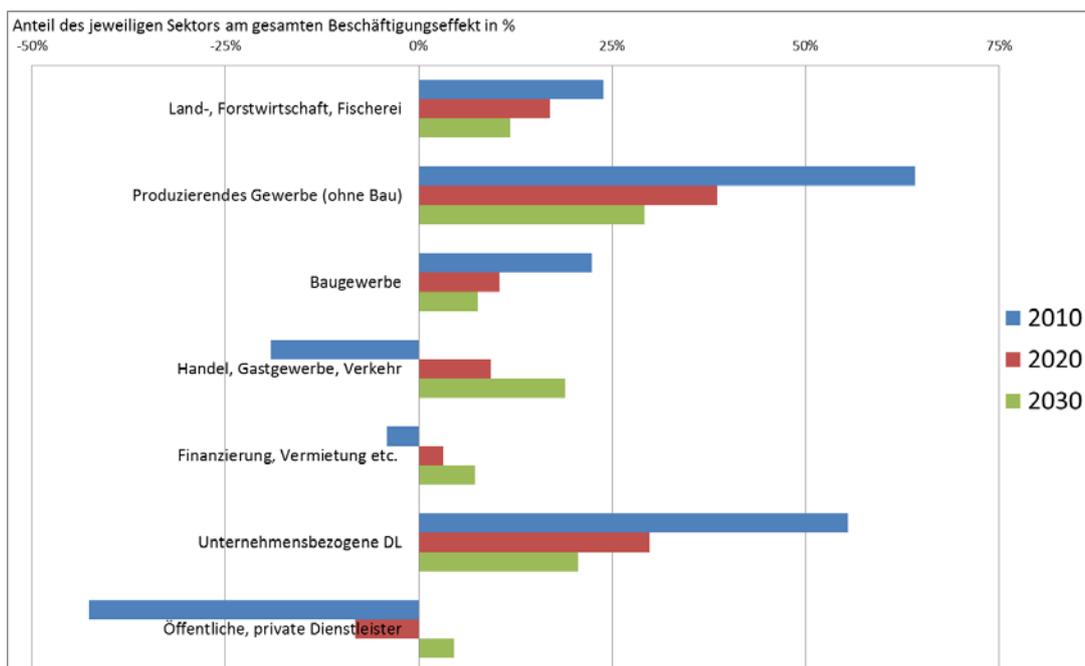
Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

### 6.1.7 Sektorale Strukturwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien

Abbildung 19 zeigt die Anteile einzelner Wirtschaftssektoren am gesamten Beschäftigungseffekt in der Variante „Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte“ im Zeitverlauf bis 2030. Die Beschäftigungswirkungen konzentrieren sich im verarbeitenden Gewerbe sowie bei den unternehmensbezogenen Dienstleistungen. Beide Bereiche profitieren als unmittelbare Lieferanten von EE-Anlagen und von Dienstleistungen, die mit dem Betrieb dieser Anlagen verbunden sind, außerdem als Lieferanten wichtiger Vorleistungen. Da beide Bereiche eine vergleichsweise hohe Produktivität aufweisen, kommt es durch die Gewichtsverlagerung der Beschäftigung zu diesen Branchen zu einem produktivitätserhöhenden Struktureffekt. In den öffentlichen und eher haushaltsbezogenen privaten Dienstleistungssektoren ist die Beschäftigung zunächst etwas geringer als im Nullszenario.

Im Zeitverlauf wird das sektorale Muster der Beschäftigungseffekte etwas gleichmäßiger, weil dann die Folgewirkungen gegenüber den Impulsen mit ihrer stark konzentrierten Lieferstruktur stärker werden.

Abbildung 19: Sektorale Verteilung der Beschäftigungseffekte in der Variante “Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte”  
- Gesamter Effekt = 100 Prozent



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

## 6.2 Energieeffizienz

Die Steigerung der Energieeffizienz, d. h. die Erzielung eines höheren Beitrags zum Wohlstand aus der eingesetzten Energie, ist ein zentraler Bestandteil einer ökologischen Modernisierungspolitik. Indikatoren für eine steigende Energieeffizienz sind eine sinkende Energieintensität (Primärenergieeinsatz pro Einheit wirtschaftlicher Leistung) oder eine steigende Energieproduktivität (wirtschaftliche Leistung pro Einheit Primärenergie).<sup>56</sup> In einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive beeinflusst also der Entwicklungspfad der Energieeffizienz unmittelbar die Relation zwischen wirtschaftlichem Wachstum und Energieverbrauch. Sollen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch entkoppelt werden, gelingt dies nur über eine Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Energieeffizienz. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich unmittelbar die Verflechtung mit anderen umweltpolitischen Handlungsfeldern. So hängt die Erreichung der klimapolitischen Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen – neben Änderungen im Primärenergiemix – zu einem erheblichen Teil von der Entwicklung der Energieeffizienz ab. Auch die Erreichung der Ausbauziele für erneuerbare Energien, die zum Beispiel im Strombereich als Anteil am gesamten Stromverbrauch formuliert sind, wird von der Entwicklung der Energieeffizienz beeinflusst, weil diese zusammen mit dem wirtschaftlichen Wachstum die Stromnachfrage bestimmt.

Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz bestehen – in unterschiedlicher Höhe – in verschiedensten Wirtschaftssektoren und Nutzungsbereichen. Die quantitative Modellierung der ökonomischen Wirkungen fokussiert im Folgenden auf private Haushalte, Gewerbe Handel und Dienstleistungen sowie die Industrie. Ein Schwerpunkt wird aufgrund des großen Anteils der Wärmebereitstellung am Endenergieverbrauch auf den Raumwärmebedarf in Wohngebäuden gelegt (vgl. Abbildung 17 in Kapitel 6.1.2). Die möglichen wirtschaftlichen Wirkungen einer Steigerung der Energieeffizienz in diesen Bereichen in Deutschland bis zum Jahr 2050 werden in Form von Szenarien und Sensitivitätsrechnungen dargestellt.

Dabei wird wie bereits bei der quantitativen Analyse der ökonomischen Folgewirkungen von Strategien zur Förderung erneuerbarer Energien das Modell SEEEM des DIW Berlin eingesetzt (vgl. Kapitel 6.1.3). Das Modell erlaubt ausgehend von ökonomischen Impulsen, die mit einer Forcierung der Energieeffizienz einhergehen, deren ökonomische Folgewirkungen zu untersuchen. Dazu werden die Differenzen zwischen Modellläufen, die unterschiedliche Pfade der Energieeffizienz repräsentieren, ausgewertet. Dabei können aus modelltechnischen Gründen Ergebnisse nur bis zum Jahr 2030 in einem konsistenten Modellrahmen generiert werden. Danach werden die Wirkungen mit einem Extrapolationsverfahren erfasst (vgl. Kapitel 6.1.3).

Die unmittelbaren wirtschaftlichen Impulse, die mit Strategien zur Beschleunigung der energetischen Effizienz verbunden sind, werden auf der Basis vorliegender Untersuchungen ermittelt. Sie werden außerhalb des Modellierungsinstruments SEEEM abgeschätzt.

---

<sup>56</sup> Nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AG Energiebilanzen 2012) ist die Energieproduktivität im Zeitraum 2000 bis 2011 im Jahresdurchschnitt um 1,8 Prozent gestiegen.

## 6.2.1 Ziele im Bereich der Energieeffizienz

Zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen hat die Bundesregierung im Jahr 2007 den ersten Nationalen Energieeffizienz-Aktionsplan an die EU-Kommission übermittelt. Darin wurden (nach Stromfaktoren gewichtete) Energieeinsparrichtwerte definiert, nach denen der Energieverbrauch gegenüber einer Referenzperiode (der Durchschnitt der Jahre 2001 bis 2005) zwischen Anfang 2008 und Ende 2016 um insgesamt 9 Prozent vermindert werden soll (NEEAP 2007). Der zweite Nationale Energieeffizienz-Aktionsplan zeigt auf, dass Deutschland dieses Ziel sogar übererfüllen wird (NEEAP 2011).

Weiterreichende Ziele hat die Bundesregierung in ihrem Energiekonzept definiert (BMWi und BMU 2010). Sie sind in Tabelle 9 im Kapitel 6.1.1 zusammengefasst. Durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wird zum einen gegenüber dem Jahr 2008 eine Minderung des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent bis 2020 und um 50 Prozent bis 2050 angestrebt. Zum anderen soll der Stromverbrauch um 10 Prozent bis zum Jahr 2020 und um 25 Prozent bis zum Jahr 2050 (jeweils gegenüber 2008) gesenkt werden. Beim Wärmebedarf in Gebäuden wird eine Reduktion um 20 Prozent bis zum Jahr 2020 und um 80 Prozent bis zum Jahr 2050 (wiederum jeweils gegenüber 2008) angestrebt.

Zur Erreichung dieser Ziele wird bezogen auf den Endenergieverbrauch eine Steigerung der jährlichen Energieproduktivität auf 2,1 Prozent als notwendig angesehen. Dies bedeutet eine deutliche Erhöhung gegenüber den in den letzten elf Jahren erzielten Steigerungsraten. Bei einem höheren als dem dabei angenommenen Wirtschaftswachstum von 0,8 Prozent pro Jahr, muss die Energieproduktivität entsprechend stärker steigen, um das Reduktionsziel beim Primärenergiebedarf zu erreichen

Ausgehend von der Tatsache, dass in Deutschland rund 40 Prozent des Primärenergiebedarfs auf den Wärmebedarf des Gebäudebestandes entfallen, hat die Beschleunigung der energetischen Gebäudesanierung einen wichtigen Stellenwert. Um das ehrgeizige Ziel der Bundesregierung zu erreichen, den Wärmebedarf des Gebäudesektors bis zum Jahr 2050 um 80 Prozent zu reduzieren, sind erhebliche Anstrengungen erforderlich. Neben einer zunehmenden Einbindung der erneuerbaren Energien in den Wärmemarkt und ambitionierten Standards für Neubauten ist vor allem eine deutliche Beschleunigung der energetischen Gebäudesanierung im Bestand notwendig. Es wird davon ausgegangen, dass im Gebäudebestand eine Verdopplung der bisherigen Modernisierungsrate von rund 1 Prozent auf 2 Prozent pro Jahr notwendig ist.

Auch über die energetische Gebäudesanierung hinaus ist es wichtig, die vorhandenen Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz besser als bisher zu nutzen und neue Potentiale zu erschließen. Im Bereich der privaten Haushalte kommen hier unter anderem die Bereitstellung von Warmwasser, das Kochen und die Steigerung der Energieeffizienz bei Haushaltsgeräten wie Kühlschränken oder Waschmaschinen sowie bei der Beleuchtung in Betracht. Die Potentiale im Bereich Mobilität und Verkehr werden an anderer Stelle der Untersuchung detailliert betrachtet (vgl. Kapitel 6.3). Sie werden daher im Folgenden komplett ausgeklammert. Weitere Effizienzpotentiale jenseits der energetischen Gebäudesanierung bestehen in den Bereichen Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie der Industrie, in denen vielfältige technologische Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowohl bei der Nutzung von Brennstoffen als auch von Elektrizität bestehen.

## 6.2.2 Ökonomische Annahmen und Kennziffern für Szenarien zur Steigerung der Energieeffizienz

Für die vorliegende Analyse wurde eine Reihe von Studien ausgewertet, die sich mit ökonomischen Effekten von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz beschäftigen. Ein breites Spektrum von Maßnahmen wird in der Studie Modell Deutschland (WWF 2009) untersucht, die von den Forschungsinstituten Ökoinstitut und Prognos bearbeitet wurde. Auch in der Studie Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative (Pehndt et al. 2011) werden die ökonomischen Impulse eines breiten Maßnahmenbündels untersucht. Der energetischen Gebäudesanierung kommt im Kontext aller Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz eine wichtige Rolle zu. Deshalb werden eine Reihe weiterer Studien ausgewertet, die sich schwerpunktmäßig mit den ökonomischen Kosten und Erträgen der Sanierung des Gebäudebestandes beschäftigen. Die Studie Anforderungen an einen Sanierungsfahrplan – Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 (NABU e.V. 2011) leitet zentrale ökonomische Kennziffern her, die bei einer beschleunigten Sanierung zu beachten sind. Die Studie baut bei wichtigen Basisdaten (Mengengerüst) auf der Studie WWF 2009 auf. Wichtige Strukturdaten und Kennziffern zur energetischen Modernisierung liefern auch die Studien des IW (IW Köln 2012), die Shell Hauswärme-Studie (Shell 2011) und die Studie Ökologische und ökonomische Optimierung des Wärmemarktes (Biogasrat e.V. 2012).

### 6.2.2.1 Energetische Sanierung des Wohngebäudebestandes

Relevante Rahmendaten zum Bestand an Wohngebäuden werden regelmäßig vom Institut Wohnen und Umwelt erhoben (IWU 2011). Nach diesen Erhebungen (Tabelle 20) gab es am Jahresende 2011 rund 39,4 Mill. Wohnungen in Deutschland, die gesamte Wohnfläche betrug 3,4 Mrd. m<sup>2</sup>. Gut 23 Prozent der Wohnfläche sind vor dem Jahr 1948 errichtet worden. Rund 36 Prozent der Einfamilien- und Reihenhäuser sowie gut 30 Prozent der Mehrfamilienhäuser sind nach der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung von 1977 erbaut worden und erfüllen damit bereits bestimmte Mindeststandards zum Energieverbrauch.

Tabelle 20: Strukturdaten des deutschen Wohngebäudebestandes im Jahr 2009 (Jahresende)

Baualtersklasse/ Gebäudetyp <sup>1)</sup>	<1948	1949- 1957	1958- 1968	1969- 1978	1979- 1983	1984- 1994	1995- 2001	2002- 2009	Summe
	<b>Anzahl der Wohnungen in Tausend</b>								
EFH und RH	5.030	1.810	2.920	2.690	1.340	1.820	1.790	1.190	18.590
MFH und GMH	4.020	2.570	4.250	3.980	1.560	2.350	1.600	510	20.840
Summe	9.050	4.380	7.170	6.670	2.900	4.170	3.390	1.700	39.430
	<b>Wohnfläche in Millionen m<sup>2</sup></b>								
EFH und RH	513	184	297	291	158	214	214	151	2.022
MFH und GMH	286	162	281	236	108	160	119	41	1.393
Summe	799	346	578	527	266	374	333	192	3.415

	Anteil der Wohnfläche nach Altersklassen in Prozent								
EFH und RH	25,4	9,1	14,7	14,4	7,8	10,6	10,6	7,5	100,0
MFH und GMH	20,5	11,6	20,2	16,9	7,8	11,5	8,5	2,9	100,0
Summe	23,4	10,1	16,9	15,4	7,8	11,0	9,8	5,6	100,0
	Durchschnittliche Wohnfläche in m <sup>2</sup>								
EFH und RH	102	102	102	108	118	118	120	127	109
MFH und GMH	71	63	66	59	69	68	74	80	67
Summe	88	79	81	79	92	90	98	113	87

1) EFH=Einfamilienhaus, RH=Reihenhaus, MFH=Mehrfamilienhaus, GMH=großes Mehrfamilienhaus

Quelle: IWU 2011

Die jährliche Sanierungsrate des Altgebäudebestandes (Altbau bis zum Errichtungsjahr 1978) wird derzeit auf rund 1,1 Prozent geschätzt (IWU und BEI 2010).<sup>57</sup> Die Sanierungsrate wird als ein gewichteter Durchschnitt aus Einzelmaßnahmen (Dämmung Außenwand, Dämmung Dach/Obergeschossdecke, Dämmung Fußboden/Kellerdecke, Fenstererneuerung) berechnet, wobei die Gewichtung die Heizenergieeinsparung der Einzelmaßnahmen widerspiegelt. Einzelmaßnahmen werden wesentlich häufiger durchgeführt (bei rund 3 Prozent des Wohnungsbestandes, wenn man auch die Modernisierung der Heizungsanlage berücksichtigt), Komplettsanierungen deutlich seltener, so dass Teilsanierungen bei der energetischen Sanierung bisher als die Regel angesehen werden können. Im Durchschnitt lassen sich für Selbstnutzer höhere Modernisierungsquoten als für Vermieter nachweisen. Dies ist ein Ausdruck von Hemmnissen, die aus dem Vermieter-Mieter-Dilemma resultieren<sup>58</sup>.

Die zukünftigen Maßnahmen und Wirkungen der energetischen Gebäudesanierung hängen von der weiteren Entwicklung des Gebäudebestandes ab. Wesentliche Determinanten der Nachfrage nach Wohnraum sind die demografische Entwicklung und die Haushaltsstruktur, insbesondere die durchschnittliche Haushaltsgröße. Bei der Bevölkerungsfortschreibung wird in der Regel auf eine der Varianten der 12. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes Bezug genommen. Obwohl es in allen Varianten in Zukunft zu einem spürbaren Rückgang der Bevölkerung in Deutschland kommt (von derzeit knapp 82 Millionen Personen auf 77 bis 79 Millionen im Jahr 2030 und 69 bis 73 Millionen im Jahr 2050), geht die Mehrzahl der Szenarien zur Entwicklung der Wohnfläche noch von einem Anstieg der nachgefragten Wohnfläche bis zum Jahr 2030 aus, bevor es dann zu einem Rückgang kommt. Maßgeblich für diese Entwicklung ist der deutlich zunehmende Anteil von 1-Personen-Haushalten an der Gesamtzahl der Haushalte, der zu einem Anstieg der nachgefragten Wohnfläche pro Kopf führt.

<sup>57</sup> Bezogen auf den Gesamtgebäudebestand errechnet sich eine Sanierungsrate von unter einem Prozent.

<sup>58</sup> Bei selbstgenutztem Wohnungseigentum fallen sowohl die Kosten (in Form der zu finanzierenden Maßnahmen zur energetischen Gebäudesanierung) wie auch die Erträge (in Form der eingesparten Energiekosten) bei der gleichen wirtschaftlichen Einheit an. Bei vermietetem Wohnungseigentum entstehen die Kosten beim Eigentümer, die Erträge jedoch beim Nutzer der Wohnung. Die Kosten der energetischen Gebäudesanierung müssen in diesem Fall aus Steigerungen der Kaltmiete erwirtschaftet werden. Ob der notwendige Anstieg der Kaltmiete erzielt werden kann hängt u. a. auch von den Bedingungen des jeweiligen lokalen Mietmarktes ab. Für diese Konstellation wird auch der Begriff Nutzer-Investor-Dilemma benutzt.

In den hier angestellten Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Wohnfläche bis zum Jahr 2030 auf 3,7 Mrd. m<sup>2</sup> steigt, um danach wieder leicht auf 3,6 Mrd. m<sup>2</sup> im Jahr 2050 zurückzugehen. Im gesamten Zeitraum 2010 bis 2050 beträgt die Zunahme somit 5,8 Prozent, im Zeitraum 2010 bis 2030 8 Prozent.

### 6.2.2.2 Modernisierungstempo im Referenz- und im Modernisierungsszenario

Verglichen werden zwei Szenarien der energetischen Gebäudesanierung. Das Referenzszenario schreibt den bisherigen Verlauf der Modernisierung des Gebäudebestandes fort. Die Sanierungsaktivitäten im Gebäudebestand unterscheiden sich nach Baualtersklassen und nach Haustypen. Die Eckwerte für die angenommenen Modernisierungsraten sind in Tabelle 21 dargestellt. Es wird zusätzlich zu den Unterschieden nach Baualtersklasse und Gebäudetyp noch berücksichtigt, dass sich die Modernisierungsraten im Zeitablauf je nach Ausgangsalter des Gebäudes ändern. Heute junge Gebäude werden zunächst kaum modernisiert; mit zunehmendem Gebäudealter wächst die Modernisierungsrate. Heute bereits alte Gebäude werden zunächst häufig saniert, ihre Modernisierungsrate nimmt jedoch langfristig ab. Insgesamt ergibt sich bezogen auf den gesamten erfassten Bestand im Referenzszenario eine im Zeitlauf nahezu konstante Modernisierungsrate von gut 1 Prozent.

Dem Referenzszenario wird ein Modernisierungsszenario gegenübergestellt, in dem es ab dem Jahr 2013 nach einer kurzen Übergangsphase zu einer Verdopplung der Modernisierungsrate gegenüber dem Referenzszenario kommt. Die Eckwerte sind ebenfalls in Tabelle 21 dargestellt. Über den gesamten Analysezeitraum betrachtet liegt die Modernisierungsrate bei gut 2 Prozent, im Jahr 2030 bei 2,04 Prozent, im Jahr 2050 bei 2,00 Prozent.

Tabelle 21: Modernisierungsraten im Referenz- und im Modernisierungsszenario in Prozent

Zusammengefasste Baualtersklassen	<1957	1958-1983	>1983	<1957	1958-1983	>1983
<b>Referenzszenario</b>						
	<b>EFH und RH<sup>1)</sup></b>			<b>MFH und GMH<sup>1)</sup></b>		
2010	1,30	1,10	0,10	1,30	1,30	0,80
2030	1,14	1,00	0,50	1,30	1,20	1,00
2050	0,84	0,80	1,30	0,90	1,06	1,31
<b>Modernisierungsszenario</b>						
	<b>EFH und RH<sup>1)</sup></b>			<b>MFH und GMH<sup>1)</sup></b>		
2010	1,30	1,10	0,10	1,30	1,30	0,80
2030	2,28	2,00	1,00	2,60	2,40	2,00
2050	1,68	1,60	2,60	1,80	2,11	2,61

1) EFH=Einfamilienhaus, RH=Reihenhaus, MFH=Mehrfamilienhaus, GMH=großes Mehrfamilienhaus

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

Aus der Verdopplung der jährlichen Modernisierungsrate resultiert eine Erhöhung (des Anteils) der energetisch modernisierten Wohnfläche im Modernisierungsszenario im Vergleich zum Referenzszenario (Tabelle 22). Die jährlich zusätzlich modernisierte Wohnfläche im Modernisierungsszenario bewegt sich in der Größenordnung von gut 35 Mill. m<sup>2</sup>. Der Bestand

an zusätzlich modernisierter Wohnfläche im Jahr 2030 beträgt ca. 614 Mill. m<sup>2</sup>, im Jahr 2050 beläuft er sich auf 1,3 Mrd. m<sup>2</sup>. Gemessen am jeweiligen Gebäudebestand sind Jahr 2030 zusätzlich knapp 17 Prozent modernisiert, im Jahr 2050 gut 37 Prozent.

Tabelle 22: Differenz der modernisierten Wohnfläche zwischen Modernisierungsszenario und Referenzszenario

	2010	2020	2030	2040	2050
	<b>Differenz zwischen Modernisierungs- und Referenzszenario in Mill. m<sup>2</sup></b>				
Jährlich modernisierte Wohnfläche	0,0	35,7	37,6	36,7	36,1
Bestand an modernisierter Wohnfläche	0,0	247,1	614,4	985,4	1.349,5
	<b>Differenz zwischen Modernisierungs- und Referenzszenario in Prozent</b>				
Bestand der modernisierten Wohnfläche in Prozent des Wohnungsbestands	0,0	7,0	16,7	27,0	37,3

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

### 6.2.2.3 Investitionen in die Modernisierung des Gebäudebestandes

Die jährlichen Mehrinvestitionen zur energetischen Gebäudesanierung gegenüber dem Referenzszenario ergeben sich aus den zusätzlich modernisierten Flächen und den spezifischen Kosten der Modernisierung pro Flächeneinheit. Die durch die Modernisierung ausgelösten Energie- und Energiekosteneinsparungen hängen dagegen vom Bestand an modernisierten Wohnflächen, spezifischen Energieeinsparungen sowie der unterstellten Energiekostenentwicklung ab. Bei den Kosten der energetischen Gebäudesanierung ist grundsätzlich zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten zu unterscheiden. Umfassende energetische Sanierungsmaßnahmen werden in aller Regel nur in Kombination mit anderen Sanierungsmaßnahmen der Gebäudehülle durchgeführt (Kopplungsprinzip), auch weil dies entscheidend für die einzelwirtschaftliche Rentabilität der Maßnahme ist. Die energiebedingten Mehrkosten „umfassen nur die Kosten, die zusätzlich zu reinen Instandhaltungsmaßnahmen (anfallen) (z. B. Kosten der Wärmedämmung inklusive Befestigung). Nicht enthalten sind Ohnehin-Kosten (z. B. Gerüstkosten, neuer Anstrich etc.)“ (NABU 2011: 14). Nach einer Übersicht in der Studie (IW Köln 2012: 28) beträgt der Anteil der energiebedingten Mehrkosten an den Vollkosten je nach ausgewerteter Studie zwischen 30 Prozent und 60 Prozent. In den hier angestellten Berechnungen wird bei der Abschätzung der Mehrinvestitionen das Konzept der energiebedingten Mehrkosten und nicht der Vollkosten zu Grunde gelegt.

Die spezifischen Modernisierungskosten lassen sich auf Grund der Vielgestaltigkeit der Sanierungsfälle und der Abhängigkeit der spezifischen Kosten vom Gebäudetyp<sup>59</sup> grundsätzlich nur mit einer gewissen Unsicherheit schätzen. Basierend auf Schätzungen einer Vielzahl von Studien (vgl. u. a. IWU 2008, dena 2010, empirica und LUWOG 2010, ARGE 2011 sowie die

<sup>59</sup> Die spezifischen Kosten sind zum Beispiel für Mehrfamilienhäuser geringer als Einfamilienhäuser, auch andere Gebäudecharakteristika spielen eine wichtige Rolle.

Zusammenstellung in IW Köln 2012: 28) werden hier je nach Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse spezifische energiebedingte Mehrkosten zwischen 160 und 220 Euro/m<sup>2</sup> angesetzt. In realer Betrachtung, d. h. im Verhältnis zur allgemeinen Preisentwicklung in der Volkswirtschaft, wird im Zeitablauf ab dem Jahr 2020 ein Kostenanstieg von 1,5 Prozent und ab 2020 ein Anstieg von 2,5 Prozent pro Jahr angenommen. Damit wird unterstellt, dass ungefähr ab dem Jahr 2020 der technologische Fortschritt nicht ausreicht, den zunehmenden Aufwand der Modernisierung aufzufangen. Nach diesen Überlegungen belaufen sich die jährlichen Mehrinvestitionen zur energetischen Wohngebäudesanierung im Jahr 2020 auf 7,4 Mrd. Euro. Sie steigen über 9,0 Mrd. Euro im Jahr 2030 auf 14,0 Mrd. Euro im Jahr 2050.

Die aus den Modernisierungsinvestitionen resultierenden Energiekosteneinsparungen hängen wie erwähnt vom Bestand der modernisierten Wohnfläche, den spezifischen Energieeinsparungen und den Annahmen zur Energiepreisentwicklung ab. Ebenso wie die spezifischen Investitionskosten sind die spezifischen Energieeinsparungen nur mit einer gewissen Unsicherheit abzuschätzen. Basierend auf den vorliegenden Studien (vgl. u. a. IWU 2008, dena 2010, empirica und LUWOG 2010, ARGE 2011 sowie der Zusammenstellung in IW Köln 2012: 30) werden je nach Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse spezifische Endenergieeinsparungen von 120 bis 200 kWh/m<sup>2</sup> zu Grunde gelegt. Dabei handelt es sich um vergleichsweise hohe Werte, die im Durchschnitt des Gebäudebestands nur durch umfangreiche Komplettanierungen erreicht werden können. Damit bilden die Modellrechnungen ein durchaus ambitioniertes Modernisierungsszenario ab. Als Sensitivitätsanalyse wird ein Szenario analysiert (vgl. Kapitel 6.2.7), in dem (mit gleichen Investitionen) nur halb so hohe Energieeinsparungen realisiert werden können. Hinsichtlich der Energiekosten wird je kWh verbrauchter Endenergie im Basisjahr ein Preis von 7 Cent angenommen.<sup>60</sup> Die Preisentwicklung ist an die Energieträgerpreispfade des Szenario A der Langfristszenarien 2011 (Nitsch et al. 2012) angelehnt, so dass es bis zum Jahr 2050 zu einer realen Verdopplung der Preise kommt. Die eingesparten Energiekosten von Wohngebäuden im Jahr 2020 belaufen sich nach diesen Überlegungen auf 3,8 Mrd. Euro. Im Jahr 2030 werden 11,1 Mrd. Euro und im Jahr 2050 bereits 32,0 Mrd. Euro eingespart.

#### 6.2.2.4 Steigerung der Energieeffizienz in anderen Bereichen

Neben der Steigerung der Energieeffizienz im Wohngebäudebereich ergeben sich auch in anderen Bereichen der Volkswirtschaft erhebliche Potentiale zur Effizienzsteigerung. Angesprochen sind hier weitere Einsparmöglichkeiten im Bereich der privaten Haushalte, zum Beispiel die Steigerung der Energieeffizienz durch Verbesserungen bei Haushaltsgeräten und Beleuchtung. Der Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen weist nennenswerte Potentiale in der Sanierung von Nicht-Wohngebäuden auf, aber auch in Technikfeldern wie effiziente Beleuchtung, Bürogeräte oder verbesserte Kühl- und Gefriersysteme. Im Bereich der Industrie ergibt sich ein besonders breites und vielfältiges Potential an brennstoff- und stromspezifischen Einspartechnologien. Diese umfassen sowohl Technologien, die in vielen Branchen eingesetzt werden können (Querschnittstechnologien), als auch Technologien, die in einzelnen Branchen Anwendung finden, wie zum Beispiel in energieintensiven Bereichen wie der Grundstoffchemie oder der Papierindustrie (vgl. ausführlicher Pehndt et al. 2011). Wie bereits erläutert, werden

---

<sup>60</sup> Dieser Durchschnittswert bildet die angenommenen Kosten der Raumwärmebereitstellung mit dem durchschnittlichen Heizungstechnologiemix ab. Vgl. Pehndt et al. 2011 sowie Shell 2011.

die Potentiale im Bereich Mobilität und Verkehr nicht hier, sondern an anderer Stelle der Untersuchung detailliert betrachtet (vgl. Kapitel 6.3).

Wegen der Vielzahl der zu betrachtenden Technologien musste auf eine eigenständige detaillierte Abschätzung der Modernisierungsinvestitionen und der damit verbundenen Energieeinsparungen verzichtet werden. Stattdessen wurden vorliegende Studien ausgewertet. Betrachtet wurde zum einen die Studie Modell Deutschland (WWF 2009) sowie insbesondere die Studie Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative (Pehndt et al. 2011). In beiden Studien wurden jeweils die Bereiche der Energieeffizienzsteigerung außerhalb der Wohngebäudesanierung betrachtet. Demnach wird für die Effizienzmaßnahmen aus dem Bereich der Industrie davon ausgegangen, dass es ein großes Potential an kostengünstig zu erschließenden Einsparmaßnahmen gibt, diese allerdings auch hohen Rentabilitätsanforderungen mit kurzen Amortisationszeiten unterliegen. Maßnahmen in diesem Bereich sind deshalb annahmegemäß durch eher geringe Investitionen und vergleichsweise hohe Energieeinsparungen gekennzeichnet.<sup>61</sup>

Im zusammengefassten Bereich außerhalb der Wohngebäudesanierung fallen für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Jahr 2020 Investitionen in Höhe von 4,2 Mrd. Euro an. Sie steigen auf 4,7 Mrd. Euro im Jahr 2030 und bleiben danach in realer Rechnung konstant. Sie bestehen jeweils ungefähr zur Hälfte aus Investitionen in die Sanierung von Nicht-Wohngebäuden und Investitionen in andere – meist elektrizitätsseitige – Maßnahmen. Die Energiekosteneinsparungen im Jahr 2020 belaufen sich auf 6,4 Mrd. Euro und wachsen bis zum Jahr 2050 auf 14,5 Mrd. Euro. Die Schätzungen sowohl der Investitionen als auch der Energiekosteneinsparungen für die hier zusammengefasst betrachteten Bereiche sind mit größerer Unsicherheit behaftet als die entsprechenden Schätzungen bei der Wohngebäudesanierung.

### 6.2.3 Eingesparte Energie und Verminderung Treibhausgasemissionen

Die oben diskutierten Investitionsimpulse führen in den Wirtschaftsbereichen private Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie zu deutlichen Energieeinsparungen. Im Jahr 2020 werden gegenüber dem Referenzszenario ungefähr 120 TWh eingespart, im Jahr 2030 sind es 214 TWh (Tabelle 23). Für 2050 zeigt eine – allerdings mit erhöhter Unsicherheit behaftete – Extrapolation eine Verbrauchsminderung von knapp 400 TWh. In Bezug auf den gesamten deutschen Endenergieverbrauch des Jahres 2010 von ungefähr 9060 Petajoule entspricht dies zusätzlichen Einsparungen von knapp 5 Prozent im Jahr 2020, 8 Prozent im Jahr 2030 und knapp 16 Prozent im Jahr 2050.

Bei der Raumwärmenutzung werden zunächst vergleichsweise geringe Einsparerfolge erzielt; die konstante Beibehaltung der Sanierungsrate von 2 Prozent führt jedoch zu einem kräftigen

---

<sup>61</sup> Die unterstellte Existenz großer Energieeinsparpotenziale mit niedrigen spezifischen Investitionskosten wirft allerdings die Frage auf, weshalb solche – oft sehr profitablen – Investitionsmöglichkeiten von privatwirtschaftlichen Akteuren nicht erschlossen werden. Es ist zu vermuten, dass neben Informations- und Finanzierungsproblemen diverse institutionelle und organisationstechnische Hemmnisse (zum Beispiel das Eigentümer-Mieter-Dilemma) bestehen, die von technischen Potenzialabschätzungen nur unzureichend erfasst werden.

und stetigen Wachstum der Einsparung im Zeitverlauf.<sup>62</sup> Dagegen können in den anderen Nutzungsbereichen (vor allem Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie) annahmegemäß bereits im Jahr 2020 erhebliche Energieeinsparpotenziale realisiert werden, die in Zukunft jedoch weniger dynamisch wachsen.

Tabelle 23: Endenergieeinsparung im Modernisierungsszenario gegenüber dem Referenzszenario für private Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie

	2020	2030	2050
Insgesamt, in PJ	430	769	1.409
Insgesamt, in TWh	119	214	391
davon Raumwärme in Wohngebäuden	39	96	206
davon andere Nutzungsbereiche	80	117	186
davon Brennstoffe	33	52	82
davon Strom	48	65	103

Die Werte für 2050 sind aufgrund wachsender Unsicherheiten als grobe Abschätzung zu interpretieren.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin basierend auf Pehndt et al. (2011), Shell (2011)

Die Energieeinsparungen gehen mit verminderten Treibhausgasemissionen einher. Diese werden anhand von spezifischen Emissionsfaktoren des Endenergieverbrauchs berechnet. Für den Heizenergieverbrauch der Wohngebäude wurde für das Jahr 2010 ein Emissionsfaktor von 0,28 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je kWh Endenergieverbrauch angenommen. Dieser Faktor verbessert sich aufgrund eines weniger emissionsintensiven Energieträgermix bis zum Jahr 2050 auf den Wert 0,12 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh (vgl. IW Köln 2012). Dieser Faktor wurde auch für die Abschätzung der Minderung von THG-Emissionen aus dem Einsatz von Brennstoffen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie herangezogen. Für den Einsatz von Strom wurde ein spezifischer Emissionsfaktor des Elektrizitätsmix verwendet, der sich – vor allem aufgrund des Ausbaus erneuerbarer Energien – von ungefähr 0,6 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh im Jahr 2010 auf 0,34 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh in 2030 verbessert und danach weiter abnimmt (vgl. Shell 2011).

Insgesamt können durch die modellierten Investitionsimpulse bis zum Jahr 2020 zusätzlich 45 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente eingespart werden. Im Jahr 2030 sind es knapp 60 Millionen Tonnen, im Jahr 2050 74 Millionen Tonnen. Zu Beginn wird der größte Teil der Einsparungen dabei annahmegemäß in den Bereichen Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie erzielt. Im Zeitverlauf gewinnen die Einsparungen bei der Raumwärme aufgrund des stetig zunehmenden Bestands an sanierter Wohnfläche jedoch an Gewicht. Beim Strom ist im Zeitverlauf eine Abnahme der jährlichen Emissionsminderungen zu verzeichnen, da der Strommix eine deutlich abnehmende Emissionsintensität aufweist.

<sup>62</sup> Die angenommene Sanierungsrate erscheint durchaus ambitioniert. In der Sensitivitätsanalyse „Geringere Energieeinsparerefolge bei der energetischen Sanierung von Wohngebäuden“ wird im Wohngebäudebereich von nur halb so großen Einsparerefolgen ausgegangen.

Tabelle 24: Treibhausgasminderung im Modernisierungsszenario gegenüber dem Referenzszenario für private Haushalte, GHD und Industrie; in Millionen t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

	2020	2030	2050
Insgesamt	45	59	74
davon Raumwärme in Wohngebäuden	10	24	43
andere Nutzungsbereiche	34	35	31
davon Brennstoffe	9	13	17
davon Strom	26	22	14

Die Werte für 2050 sind aufgrund der vereinfachten Methodik und wachsender Unsicherheiten als grobe Abschätzung zu interpretieren.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin basierend auf Pehndt et al. (2011), Shell (2011), IW Köln (2012)

### 6.2.4 Ökonomische Impulse der Steigerung der Energieeffizienz in der Basisvariante

Die ökonomischen Impulse eines Modernisierungsszenarios zur Steigerung der Energieeffizienz im Vergleich zum Referenzszenario sind in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz und eingesparte Energiekosten - Differenz zwischen Modernisierungsszenario und Referenzszenario in Mill. Euro in Preisen von 2000

	2010	2020	2030	2040	2050
	Differenz zwischen Modernisierungs- und Referenzszenario in Mill. Euro in Preisen von 2000				
	<b>Wohngebäude</b>				
Investitionen zur energetischen Sanierung in Wohngebäuden	0	7.380	9.023	11.188	13.966
Eingesparte Energiekosten in Wohngebäuden	0	3.753	11.116	20.622	32.012
	<b>Energieeffizienz in anderen Bereichen</b>				
Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz in anderen Bereichen	0	4.240	4.739	4.739	4.739
Eingesparte Energiekosten in anderen Bereichen	0	6.422	9.289	12.025	14.535
	<b>Insgesamt</b>				
Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz	0	11.620	13.762	15.926	18.705
Eingesparte Energiekosten durch Steigerung der Energieeffizienz	0	10.175	20.405	32.647	46.546

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Die in das Modell als Impulse eingehenden Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz und die eingesparten Energiekosten ergeben sich aus den in den vorigen Kapiteln dargestellten Überlegungen und Kenngrößen. Die Frage der einzelwirtschaftlichen Rentabilität der jeweiligen Modernisierungsmaßnahme wird bei diesem Vorgehen weitgehend außer Acht gelassen. Verschiedene Studien (IW Köln 2012, NABU 2011) kommen zu dem Ergebnis dass die einzelwirtschaftliche Rentabilität, auch als Sanierungseffizienz bezeichnet, im Einzelfall für eine große Zahl von Modernisierungsfällen nicht gegeben ist. In erster Linie liegt das an den von Investoren, unter denen sich viele gewerbliche Wohnungseigentümer befinden, geforderten kurzen Amortisationszeiten. Dies gilt unter einer Vielzahl von Konstellationen (Gebäudetyp, Eigentumsverhältnis, Sanierungstiefe) bereits, wenn nur – wie in dieser Untersuchung – die energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt werden und gilt umso mehr, wenn die Vollkosten in die einzelwirtschaftlichen Rentabilitätsüberlegungen einfließen. Insofern wird im Basisszenario implizit angenommen, dass eventuell bestehende Rentabilitätslücken und Investitionshemmnisse auf einzelwirtschaftlicher Ebene durch eine geeignete Instrumentierung überwunden werden.<sup>63</sup>

<sup>63</sup> Als Investitionshemmnisse werden unter anderem bestehende Unsicherheiten über zukünftige Energiepreise, die Komplexität der Investitionsentscheidung, Informationsdefizite, die lange und hohe Kapitalbindung bei umfangreichen energetischen Sanierungen

Aus Sicht einer volkswirtschaftlichen Modellierung scheint eine Vorgehensweise wie in der Basisvariante sinnvoll zu sein. Es wurde dabei überprüft, wie sich Kosten und Erträge der Steigerung der Energieeffizienz aus volkswirtschaftlicher Perspektive darstellen. Die volkswirtschaftlichen Erträge des Modernisierungsszenarios sind die zusätzlichen Energieeinsparungen im Vergleich zum Referenzszenario. Die volkswirtschaftlichen Energieeinsparungen führen letztlich zu entsprechenden Minderimporten an fossilen Energieträgern. Für die Ermittlung der Kosten wurde das Konzept der *user cost of capital* angewendet. Damit werden die impliziten jährlichen Kosten einer Investition bezeichnet. Sie bilden gedanklich die Kosten ab, die entstehen würden, wenn man das Investitionsgut leasen würde. Die Höhe der *user cost of capital* (für ein gegebenes Investitionsobjekt) wird entscheidend von der Höhe des Zinssatzes und der Höhe der jährlichen Abschreibungen bestimmt.<sup>64</sup>

Für die betrachteten Investitionen zur energetischen Gebäudesanierung wird ein Abschreibungszeitraum von 20 Jahren unterstellt sowie ein realer Zinssatz von 2,5 Prozent auf den jeweiligen Restwert des Investitionsobjektes. Unter diesen Annahmen zeigt sich, dass sich aus volkswirtschaftlicher Sicht die *user cost of capital* für die zusätzlichen Investitionen im Modernisierungsszenario und die dadurch ausgelösten Energiekosteneinsparungen im Zeitraum bis zum Jahr 2030 die Waage halten (Tabelle 26). Nach dem Jahr 2030 verschiebt sich die Bilanz zunehmend zu Gunsten der eingesparten Kosten, weil zum ersten sich immer mehr Investitionsprojekte nach 20 Jahren amortisiert haben und damit die *user cost of capital* auslaufen, und weil sich zum zweiten die Energieeinsparungen wegen des Bestandeffekts an modernisierten Flächen weiter erhöhen.

Tabelle 26: User cost of capital und eingesparte Energiekosten für die energetische Sanierung von Wohngebäuden

	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
	Differenz zwischen Modernisierungs- und Referenzszenario in Mill. Euro in Preisen von 2000						
User cost of capital	0	1.063	3.692	6.419	9.320	12.782	15.874
Eingesparte Energiekosten	0	873	3.428	6.508	10.119	18.676	28.811
Mehrkosten (+)/ Minderkosten (-)	0	191	265	-89	-799	-5.894	-12.937

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

In den weiter unten diskutierten Sensitivitätsrechnungen werden die Annahmen zur Berechnung der *user cost of capital* und zur Höhe der eingesparten Energiekosten variiert, um den dabei bestehenden Unsicherheiten Rechnung zu tragen und die volkswirtschaftlichen Wirkungen bei veränderten Annahmen zu überprüfen.

---

sowie die zusätzlichen Unsicherheiten genannt, die sich aus dem Vermieter-Mieter-Dilemma ergeben. Eine geeignete Instrumentierung müsste auf den Abbau dieser Hemmnisse setzen.

<sup>64</sup> Zusätzlich können weitere Parameter wie zum Beispiel steuerliche Regelungen eine Rolle spielen, die hier unberücksichtigt bleiben.

### 6.2.5 Ökonomische Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz in der Basisvariante

Die gesamten Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz werden entsprechend den Modellierungsanforderungen in Wohnungsbauinvestitionen, private Ausrüstungsinvestitionen und Investitionen des Staates aufgeteilt. Die eingesparten Energiekosten werden als vermiedene Importe in das Modell eingespeist. Diese ökonomischen Impulse (vgl. Tabelle 25) bestimmen die ökonomische Entwicklung in der Basisvariante des Modernisierungsszenarios.

Die ökonomischen Wirkungen der Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung in der Basisvariante sind in Tabelle 27 dargestellt. Die Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz erhöhen die privaten und öffentlichen Investitionen und zwar in einem etwas größeren Umfang (in 2020 knapp 1 Mrd. Euro) als die Impulse. Die Verstärkungswirkungen über Multiplikator-, Akzelerator- und andere Effekte sind also stärker als die Dämpfungswirkungen über Verdrängungseffekte. Die Produktion der Investitionsgüter generiert zusätzliche Einkommen, die sich in einem höheren privaten Verbrauch niederschlagen. In 2020 sind die eingesparten Energiekosten und damit die Minderimporte noch gering. Bei der Einfuhr dominiert der expansive Effekt der höheren Inlandsnachfrage. Die Importe sind im Endeffekt etwas höher als im Referenzszenario. Später, wenn die eingesparten Energiekosten in Abhängigkeit vom größeren sanierten Bestand höher sind, ergeben sich per Saldo geringe Importe als im Referenzfall. Die Exporte verändern sich praktisch nicht.

Tabelle 27: Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz - Basisvariante  
Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000  
Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Referenzszenario

	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	0,45	0,67	0,86	1,01
Privater Verbrauch	0,26	0,42	0,64	0,88
Private Anlageinvestitionen (ohne Wohnungsbauinvestitionen)	0,51	0,39	0,34	0,27
Wohnungsbauinvestitionen	7,15	7,41	8,39	9,60
Öffentliche Investitionen	3,27	3,33	3,05	2,82
Ausfuhr	-0,01	-0,04	-0,06	-0,04
Einfuhr	0,26	-0,04	-0,12	-0,09
Personenproduktivität	0,44	0,66	0,85	1,00
Erwerbstätige in Tausend	6	2	1	2

\*soweit nicht anders angegeben

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

Die höhere Produktion wird in der Basisvariante annahmengenmäßig durch eine höhere Arbeitsproduktivität ermöglicht.<sup>65</sup> Es kommt hier also nicht in nennenswertem Umfang zu einer Mobilisierung von zusätzlichen Beschäftigten.

<sup>65</sup> Zu den Gründen für einen beschleunigten Anstieg der Stundenproduktivität bei beschleunigtem Wirtschaftswachstum siehe Kapitel 6.1.5.

Nach 2030 steigen die expansiv wirkenden Impulse weiter kräftig an. Wenn auch die Produktivitätsentwicklung gegenüber dem Referenzszenario weiterhin wie angenommen gesteigert werden kann, bleibt es auch danach bei den positiven Auswirkungen auf Einkommen und privaten Verbrauch.

Die Dimension der zusätzlichen Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz ist nur etwa halb so groß wie die der Ausgaben im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien; deshalb fallen auch die (in prozentualen Abweichungen gemessenen) Wirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt schwächer aus. Hinzu kommt, dass bei einem Ausbau der erneuerbaren Energien anders als bei den Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz mit zusätzlichen Exporten gerechnet wird. Dementgegen steht, dass die Energieeinsparungen pro Einheit Investitionen bzw. Ausgaben bei Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz etwas höher ausfallen und dabei – jedenfalls in der Basisvariante – die Haushalte zu Beginn nicht durch Differenzkosten belastet werden.

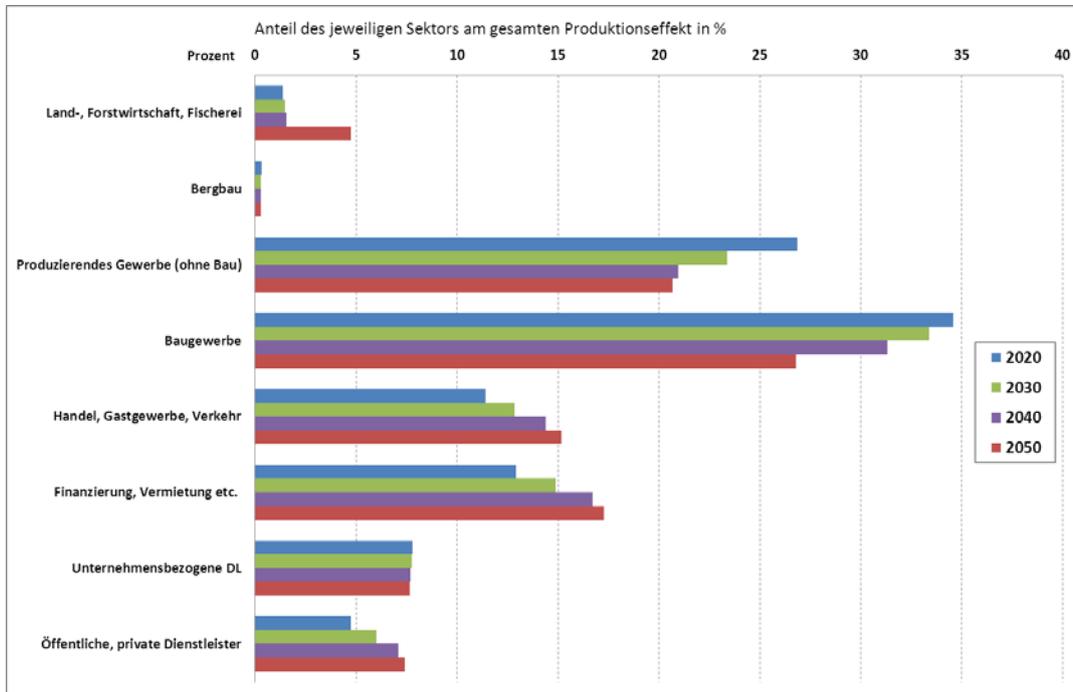
Die höheren Einkommen führen durch Progressionswirkungen insbesondere bei der Einkommenssteuer zunächst zu zusätzlichen Steuereinnahmen des Staates. In allen Szenarien ist angenommen worden, dass der Staat diesen Effekt durch Steuersenkungen soweit ausgleicht, dass sein Finanzierungssaldo praktisch unverändert bleibt. Wenn die zusätzlichen Steuereinnahmen jedoch zur Konsolidierung des Staatshaushalts verwendet werden, fallen die Einkommenssteigerungen der Haushalte und der private Verbrauch geringer aus. Im Laufe der Zeit verringern sich dann auch die Ausgaben des Staates, weil die Zinslast geringer wird.

Bei allen Szenariorechnungen ist angenommen worden, dass die Wirtschaftssubjekte bei ihren Entscheidungen alle verfügbaren Informationen über zukünftige Entwicklungen einbeziehen (forward looking expectations). Wenn sie also etwa aufgrund zukünftig höherer Investitionen mit Zinssteigerungen oder aufgrund höherer Staatsausgaben mit höheren Budgetdefiziten rechnen, werden sie sich bereits heute bei Investitionsprojekten zurückhalten bzw. Steuererhöhungen einkalkulieren und ihren Konsum einschränken. Es ist umstritten, wieweit diese Art der Erwartungsbildung eine valide Beschreibung des tatsächlichen Verhaltens darstellt. Möglicherweise orientieren sich viele Akteure bei ihrer Erwartungsbildung auch an Entwicklungen in der Vergangenheit (backward looking expectations). Das Modell SEEEM erlaubt eine Abbildung solcher rückwärts gerichteter Erwartungsbildungen. Eine entsprechende Simulation der Basisvariante unter der Annahme von backward looking expectations zeigt, dass der BIP-Effekt vor allem anfangs deutlich höher liegt (0,74 Prozent gegenüber 0,45 Prozent). Im Zeitverlauf nähert sich die Entwicklung jedoch den in Tabelle 27 gezeigten Werten an. Insoweit als in der Realität die Erwartungen teilweise aufgrund der Vergangenheitsentwicklung gebildet werden, stellen die ausgewiesenen Ergebnisse eher eine vorsichtige Abschätzung der Wirkungen dar.

### 6.2.6 Sektorale Strukturwirkungen

Im Modernisierungsszenario zur Beschleunigung des Anstiegs der Energieeffizienz werden im Vergleich zum Referenzszenario die Sektoren der Volkswirtschaft in unterschiedlichem Umfang beeinflusst. Betrachtet man, wie sich die insgesamt positiven Wachstumswirkungen in der Basisvariante auf die einzelnen Branchen der Volkswirtschaft verteilen, erkennt man, dass sich die große Bedeutung der energetischen Gebäudesanierung auch in den sektoralen Wirkungen widerspiegelt.

Abbildung 20: Sektorale Verteilung der durch die Beschleunigung der Energieeffizienz ausgelösten Produktionswirkungen im Zeitraum 2030 bis 2050 – Basisvariante  
Produktionswirkungen insgesamt = 100



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

Den größten Anteil an den positiven Produktionswirkungen kann die Bauwirtschaft für sich verbuchen. Im Jahr 2020 entfallen knapp 35 Prozent der gesamten zusätzlichen Bruttoproduktion auf das Baugewerbe. Der Anteil geht im Zeitablauf zurück, weil neben den Bauinvestitionen zur energetischen Gebäudesanierung zunehmend andere ökonomische Wirkungen an Bedeutung gewinnen. So erhöhen die spürbar wachsenden Energieeinsparungen der privaten Haushalte die Nachfrage nach anderen Gütern des privaten Verbrauchs.<sup>66</sup> Im Jahr 2050 entfällt aber immerhin noch über ein Viertel der zusätzlichen Bruttoproduktion auf die Bauwirtschaft.

Der zweithöchste Anteil an den Wachstumswirkungen entfällt auf das produzierende Gewerbe (ohne Bauwirtschaft). Gemessen an der gesamten Bedeutung dieses Sektors für die Volkswirtschaft sind die relativen Auswirkungen auf diese Branche jedoch deutlich geringer als bei der Bauwirtschaft. Das produzierende Gewerbe profitiert direkt von zunehmenden Ausrüstungsinvestitionen zur Steigerung der Energieeffizienz außerhalb des Gebäudebereichs, aber auch indirekt über Vorleistungslieferungen von den Produktionssteigerungen der übrigen Wirtschaftsbereiche. Der Anteil des produzierenden Gewerbes am Zugewinn der Bruttoproduktion beträgt im Jahr 2020 rund 27 Prozent; er verringert sich um 5 Prozentpunkte auf gut 20 Prozent im Jahr 2050.

<sup>66</sup> Zusätzlicher Konsum der privaten Haushalte kann zu einem Rebound-Effekt führen. Dadurch kann die ursprünglich erzielte Energieeinsparung teilweise wieder kompensiert werden.

Die Dienstleistungen können im Gegensatz zum Baugewerbe und produzierenden Gewerbe im Zeitlauf zunehmend von den Modernisierungsmaßnahmen profitieren, weil die von den Energieeffizienzmaßnahmen ausgehenden Zweitrundeneffekte an Bedeutung gewinnen. Weitgehend ohne zusätzliche Produktionsimpulse bleibt der Bergbau, auch die Wirkungen auf die Land-, Forstwirtschaft und Fischerei bleiben begrenzt.

### **6.2.7 Sensitivitätsrechnungen**

Die Sensitivitätsrechnungen dienen dazu zu überprüfen, inwieweit Unsicherheiten über die Größenordnung der ökonomischen Impulse und über bestimmte im Simulationsmodell abgebildete Wirkungszusammenhänge sich auf die Ergebnisse der Szenarien auswirken. Es werden Sensitivitätsrechnungen zu kürzeren Amortisationszeiten, zu geringeren Energieeinsparungserfolgen und zu höheren Investitionskosten bei der energetischen Sanierung von Wohngebäuden untersucht. Darüber hinaus wird beleuchtet, wie sich andere Annahmen zur Flexibilität des Arbeitsmarktes auswirken.

#### **Kürzere Amortisationszeiten im Wohngebäudebereich**

Unter der Annahme der Basisvariante, dass die zusätzlichen Energieeffizienzinvestitionen im Bereich der Wohngebäude eine ökonomische Lebensdauer von 20 Jahren haben, entstehen für die Volkswirtschaft durch die Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bis zum Jahr 2030 weder Mehrkosten noch Kosteneinsparungen in bedeutendem Umfang; erst danach kommt es allmählich zu immer stärkeren Kostenentlastungen. Nimmt man jedoch an, dass die zusätzlichen Energieeffizienzinvestitionen in einem Zeitraum von 10 Jahren abgeschrieben werden sollen (bei einer im Vergleich zur Basisvariante unveränderten realen Verzinsung der Restschuld von 2,5 Prozent jährlich), übersteigen die Kapitalkosten zunächst die Energieeinsparungen, ab 2030 kommt es dann im Saldo zu Kostenentlastungen, die größer sind als in der Basisvariante. Die Zusatzkosten (ebenso wie die Kostenentlastungen) treffen annahmegemäß (in vergleichbarer Weise wie die Differenzkosten des Ausbaus der erneuerbaren Energien) die privaten Haushalte.

Wenn durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz Differenzkosten entstehen, die den privaten Haushalten angelastet werden, wird Kaufkraft zu den Unternehmen des Sektors Wohnungsbau transferiert, die dann für den privaten Verbrauch nicht zur Verfügung steht. Deswegen ist im Szenario „Kürzere Amortisationszeiten“ im Jahr 2020 der private Verbrauch niedriger als in der Basisvariante (Tabelle 28). Später, wenn ein größerer Teil der Investitionen bereits abgeschrieben ist, steht dem ein höherer privater Verbrauch gegenüber.

Tabelle 28: Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Kürzere Amortisationszeiten“ Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Referenzszenario

	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	0,43	0,66	0,89	1,10
Privater Verbrauch	0,12	0,46	0,91	1,25
Private Anlageinvestitionen (ohne Wohnungsbauinvestitionen)	0,52	0,40	0,32	0,26
Wohnungsbauinvestitionen	7,19	7,43	8,34	9,55
Öffentliche Investitionen	3,27	3,33	3,05	2,82
Ausfuhr	-0,02	-0,05	-0,04	-0,03
Einfuhr	0,17	-0,01	-0,0	-0,0

\*soweit nicht anders angegeben

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

Die Einfuhr reagiert erfahrungsgemäß sehr elastisch auf Änderungen des privaten Verbrauchs: ein großer Teil des Minder- oder Mehrkonsums entfällt auf ausländische Güter. Deswegen schlägt sich der Minder- oder Mehrkonsum nur zum kleinen Teil in geringerer bzw. höherer inländischer Wertschöpfung nieder; die BIP-Effekte verändern sich gegenüber der Basisvariante nur wenig.

### Geringere Energieeinsparerfolge bei der energetischen Sanierung von Wohngebäuden

Die Höhe der mit einer bestimmten Investitionssumme erreichbaren Energieeinsparungen ist unsicher. Nimmt man an, dass die Energieeinsparungen und damit auch die Minderimporte fossiler Energieträger im Wohngebäudebereich halb so hoch ausfallen wie in der Basisvariante, obwohl in gleichem Umfang investiert wird,<sup>67</sup> kommt es per Saldo im gesamten Untersuchungszeitraum zu Mehrkosten gegenüber dem Referenzszenario. Sie steigen bis nach 2030 ständig an; danach sinken sie, weil dann ein großer Teil früherer Investitionen bereits refinanziert ist, die damit erreichten Effizienzsteigerungen sich aber weiter in Energieeinsparungen niederschlagen.

In diesem Fall reduzieren sich die zusätzlichen Konsummöglichkeiten der privaten Haushalte spürbar (Tabelle 29). Der Anstieg des privaten Verbrauchs fällt deutlich geringer aus als in der Basisvariante. Anders als in der Variante, in der die Wirkungen längerer Amortisationszeiten untersucht wurden, werden die im Vergleich zur Basisvariante geringeren Effekte beim privaten Verbrauch in früheren Jahren nicht durch höhere in späteren ausgeglichen. Dennoch verbessern sich durch Multiplikatoreffekte der zusätzlichen Investitionsnachfrage die Konsummöglichkeiten. Die Wirkung auf die inländische Wertschöpfung ist aufgrund der hohen Elastizität der Importe in Bezug auf den privaten Verbrauch gedämpft: das BIP ist zwar niedriger als in der Basisvariante, jedoch ist der Unterschied geringer als beim privaten Verbrauch. Auch in dieser Sensitivitätsrechnung wird annahmegemäß die höhere Wertschöpfung durch einen Anstieg der Arbeitsproduktivität ermöglicht.

<sup>67</sup> Die Annahmen zu Amortisationszeiten und Rentabilitätserwartungen bleiben gegenüber der Basisvariante unverändert.

Tabelle 29: Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Geringere Energieeinsparerfolge“  
Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000  
Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Referenzszenario

	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	0,40	0,53	0,64	0,72
Privater Verbrauch	0,11	0,12	0,30	0,41
Private Anlageinvestitionen (ohne Wohnungsbauinvestitionen)	0,50	0,39	0,33	0,27
Wohnungsbauinvestitionen	7,14	7,41	8,37	9,59
Öffentliche Investitionen	3,27	3,32	3,05	2,82
Ausfuhr	-0,01	-0,03	-0,04	-0,03
Einfuhr	0,21	-0,05	-0,05	-0,04

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

\*soweit nicht anders angegeben

### Höhere Investitionskosten bei der energetischen Sanierung von Wohngebäuden

Wenn die energetische Sanierung des Wohnungsbaubestandes höhere Kosten verursacht, geht das zu Lasten der Konsummöglichkeiten der Haushalte. Für eine Sensitivitätsrechnung wurde angenommen, dass die (spezifischen) Investitionskosten doppelt so hoch ausfallen wie in der Basisvariante. Dann ergeben sich im Jahr 2020 Differenzkosten in Höhe von knapp 4 Mrd. Euro, in 2030 sind es 8,5 Mrd. Euro. Danach wirken sich die Energiekostensparnisse dämpfend auf die Differenzkosten aus: 2040 betragen sie knapp 7 und 2050 knapp 3 Mrd. Euro. Die Differenzkosten vermindern das verfügbare Einkommen und dämpfen den privaten Verbrauch, allerdings in abgeschwächtem Umfang; statt um 4 Mrd. Euro geht der private Verbrauch gegenüber der Basisvariante in 2020 nur um rund 3 Mrd. Euro zurück, in 2030 sind es 7,5 Mrd. Euro. Der Grund dafür sind Multiplikatoreffekte der höheren Investitionen. Die inländische Wertschöpfung steigt gegenüber dem Basisszenario an, aber weniger stark als es allein aufgrund der höheren Güterverwendung im Inland zu erwarten wäre, weil ein Teil der zusätzlichen Nachfrage durch Importe befriedigt wird.

**Tabelle 30: Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Höhere Investitionskosten“**  
 Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000  
 Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Referenzszenario

	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	0,53	0,71	0,89	1,01
Privater Verbrauch	0,05	-0,03	0,22	0,33
Private Anlageinvestitionen (ohne Wohnungsbauinvestitionen)	0,48	0,37	0,30	0,20
Wohnungsbauinvestitionen	12,62	13,27	15,25	17,75
Öffentliche Investitionen	3,27	3,32	3,05	2,81
Ausfuhr	-0,01	-0,04	-0,04	-0,03
Einfuhr	0,38	-0,03	-0,03	-0,02

\*soweit nicht anders angegeben

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

### Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte

Wie beim Ausbau der erneuerbaren Energien hängen auch die Beschäftigungswirkungen von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz davon ab, in welchem Umfang zusätzliche Arbeitskräfte mobilisiert werden können, um die höhere inländische Wertschöpfung durch die zusätzliche Investitionsgüternachfrage und die dadurch ausgelösten Multiplikatoreffekte zu erstellen. Entscheidend ist dafür die Flexibilität der Arbeitsmärkte. Nimmt man an, dass die zusätzliche Wertschöpfung zum Teil durch Produktivitätssteigerungen und zum Teil durch Neueinstellungen ermöglicht wird, sind spürbare Beschäftigungswirkungen möglich. Im Jahr 2020 könnten dann etwa 30 Tausend, im Jahr 2030 66 Tausend zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden. Nimmt man wie in Tabelle 31 an, dass sich die Möglichkeiten für weitere Produktivitätssteigerungen im Laufe der Zeit erschöpfen, steigen die Beschäftigungseffekte dementsprechend an.

**Tabelle 31: Wirkungen der Steigerung der Energieeffizienz – Variante „Aktivierung zusätzlicher Arbeitskräfte“**  
 Entstehung und Verwendung des Bruttoinlandsprodukts zu Preisen von 2000 Abweichungen in Prozent\* gegenüber dem Referenzszenario

	2020	2030	2040	2050
Bruttoinlandsprodukt	0,45	0,67	0,86	1,01
Einfuhr	0,25	-0,03	-0,10	-0,07
Personenproduktivität	0,37	0,49	0,57	0,57
Erwerbstätige in Tausend	30	66	100	142

\*soweit nicht anders angegeben

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin

Im hypothetischen Extremfall, in dem keine Möglichkeiten für Produktivitätssteigerungen bestehen, zusätzliche geeignete Arbeitskräfte aber unbeschränkt zur Verfügung stehen (und zudem Rückkopplungseffekte z. B. über die Lohnsätze oder den Außenhandel nicht auftreten)

könnte eine Mehrbeschäftigung von bis zu 180 Tausend Personen im Jahr 2020 und von bis zu 250 Tausend Personen im Jahr 2030 erreicht werden.

Im anderen hypothetischen Extremfall, dass weder eine Steigerung der Arbeitsproduktivität noch eine Mobilisierung zusätzlicher Arbeitskräfte möglich wäre und die inländische Wertschöpfung nicht ausgeweitet werden könnte, wären die zusätzlichen Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz tatsächlich nur zu Lasten anderer Investitionen oder des privaten Verbrauchs möglich, wenn nicht die Ausfuhren sinken oder die Einfuhren zunehmen würden. Dass solche Veränderungen der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage ohne Folgewirkungen – wohl auch für Produktivität und Beschäftigung – bliebe, ist allerdings unwahrscheinlich.

## 6.3 Nachhaltiger Verkehr

### 6.3.1 Einleitung

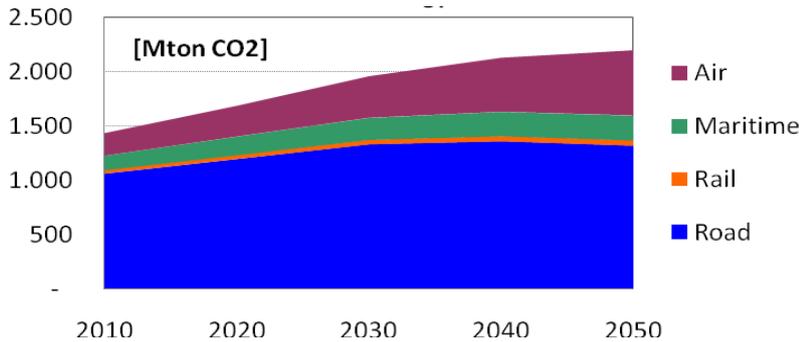
#### 6.3.1.1 Umwelt- und Nachhaltigkeitswirkungen des Verkehrs

Der Verkehr stellt hinsichtlich seiner Auswirkungen auf Umwelt und Nachhaltigkeit in Deutschland ebenso wie in allen anderen Ländern in mehrfacher Hinsicht eine besondere Herausforderung dar. Erstens wirkt sich der Verkehr auf verschiedene Weise negativ auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit aus. Der Verkehr stellt insbesondere in Ballungszentren eine bedeutende Lärmquelle dar, deren negativer Einfluss auf die Gesundheit nachgewiesen ist. Trotz aller Bemühungen und daraus resultierender Fortschritte in der Vergangenheit verursacht der Verkehr auch immer noch eine Vielzahl von Schadstoffemissionen, die die Qualität von Luft und Gewässern beeinträchtigen. Sie haben ihren Ursprung größtenteils in den Verbrennungsprozessen im Motor, aber auch der Abrieb von Reifen und Bremsen leistet nennenswerte Beiträge. Ein Spezialfall ist in diesem Zusammenhang der Klimaschutz, der über die Entstehung von CO<sub>2</sub> unmittelbar mit dem Verbrauch fossiler Kraftstoffe in Zusammenhang steht und ein Schlaglicht auf den vom Verkehr verursachten Ressourcenverbrauch wirft.

Damit kommt der zweite Aspekt des Umwelt- und Nachhaltigkeitsproblems ins Spiel: die Größenordnung. Der Verkehr verbraucht aktuell (2009) mit 2538 PJ fast ein Fünftel (19 Prozent) der Primärenergie Deutschlands (AGEB 2011). Damit verursacht er (in 2010) mit 155 Mio. Tonnen 16,5 Prozent der Treibhausgasemissionen der deutschen Wirtschaft (UBA 2011). Am besorgniserregendsten ist in diesem Zusammenhang der dritte Aspekt: Der Energieverbrauch würde ebenso wie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen ohne besondere, auf eine Reduktion dieser Zahlen gerichtete, politische Maßnahmen aufgrund der steigenden Wirtschafts- und Verkehrsleistung insbesondere im Luftverkehr voraussichtlich noch mindestens bis zum Jahr 2050 weiter ansteigen (vgl. Abbildung 21).

Es ist offensichtlich, dass der Straßenverkehr am Energieverbrauch und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrsbereich mit Abstand den größten Anteil hat, dass aber der Luftverkehr über den gesamten Zeitraum bis zum Jahr 2050 die dynamischste Entwicklung aufweist. Folglich sinkt der Anteil des Straßenverkehrs zunächst relativ (von einem Anteil von 74 Prozent in 2010 auf 60 Prozent in 2050) und ab dem Jahr 2040 auch absolut. Diese Tendenzen gelten, wie in Abbildung 21 dargestellt, für die EU-27, aber auch für Deutschland, wie die folgende Tabelle zeigt.

Abbildung 21: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Handlungsbereiches Verkehr in Europa von 2010 bis 2050



Quelle: Schade et al. 2011

Tabelle 32: Vergleich von Transportleistungen und damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr in Deutschland und der EU im Zeitraum 2010 bis 2050

		Deutschland				EU-27			
Indikator	Einheit	2010	2020	2030	2050	2010	2020	2030	2050
<b>Verkehrsleistung</b>									
Personentransport	Mrd. Pkm/Jahr	928	1012	1016		5274	5926	6218	
Gütertransport	Mrd. Tkm/Jahr	323	338	337		2261	2716	3056	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>									
Personentransport	Mio. t/Jahr	147	166	170	160	762	832	840	825
Gütertransport	Mio. t/Jahr	69	83	91	95	379	446	507	509
<b>Straßenverkehr, gesamt</b>	<b>Mio. t/Jahr</b>	<b>216</b>	<b>249</b>	<b>261</b>	<b>255</b>	<b>1141</b>	<b>1278</b>	<b>1347</b>	<b>1334</b>

Quelle: iTREN Reference Scenario (Fiorello et al. 2009; Hulme et al. 2009) und eigene Berechnungen

Allerdings steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland mit Anstiegen um 10 Prozent (2020) und 13 Prozent (2030, beide gegenüber 2010) nicht ganz so schnell wie in der EU, wo Anstiege um 12 Prozent bzw. 18 Prozent für die entsprechenden Zeiträume zu verzeichnen sind. Ebenfalls aus Tabelle 32 ist ersichtlich, dass der Anteil des Personenverkehrs an den CO<sub>2</sub>-Emissionen von etwa 66 Prozent im Jahr 2010 auf rund 60 Prozent im Jahr 2030 sinkt.

Wegen der Größenordnung und der Dynamik der Herausforderungen (und der guten Verfügbarkeit entsprechender Daten) werden Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mittelpunkt der folgenden Analyse stehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Großteil der Maßnahmen auch Beiträge zur Lösung anderer Umweltprobleme leisten. So produzieren Elektrofahrzeuge weniger Emissionen und Lärm, während sich die Vermeidung von Verkehr in allen Bereichen positiv auswirkt. Für die im folgenden Kapitel anzustellenden Betrachtungen über Möglichkeiten zur Reduktion der vom Verkehr ausgehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sind die in Tabelle 32 aufgeführten Daten als Referenz anzusehen.

### 6.3.1.2 Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Verkehrsbereich

Mit Blick auf die ökologische Modernisierung im Verkehrssektor hängt es von der spezifischen Ausgestaltung der Umwelt- bzw. Nachhaltigkeitsziele ab, welche Maßnahmen im Einzelnen

sinnvollerweise ergriffen werden und welche Investitionen dafür getätigt werden müssen. Die EU-Kommission strebt bis zum Jahr 2020 beispielsweise für den Durchschnitt der europäischen Pkw-Neuwagenflotte durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionen von maximal 95 Gramm pro Kilometer an. In Deutschland zugelassene Fahrzeuge, die schwerer als der EU-Durchschnitt sind, müssten dementsprechend einen Zielwert von ca. 103 Gramm pro Kilometer erreichen, was gegenüber dem im Jahr 2010 tatsächlich erreichten Durchschnittswert von 152,4 Gramm pro Kilometer (N.N. 2011) einer Reduzierung um 31,1 Prozent entspricht. Offensichtlich handelt es sich bei dieser Effizienzsteigerung aber um ein spezifisches Minderungspotenzial, d. h. die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen bezieht sich auf einzelne Fahrzeuge, so dass zur Abschätzung der Gesamtwirkung auch die Entwicklung der Fahrzeugflotte bzw. der Transportleistung berücksichtigt werden muss. Schade et al. (2011) konnten im Rahmen des EU-Projektes GHG-TransPoRD zeigen, dass es mit Hilfe von anspruchsvollen Effizienzsteigerungsmaßnahmen und der Einführung von Elektrofahrzeugen (unter Verwendung steigender Anteile erneuerbaren Stroms) möglich ist, auch unter Annahme des in Tabelle 32 angenommenen Anstiegs der Verkehrsleistung eine substantielle Minderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen zumindest in Teilbereichen zu erreichen. Für Deutschland konnte unter den Annahmen von GHG-TransPoRD eine Reduktion der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Personenverkehrs um 31 Prozent bis 2020 (gegenüber 2005) und 57 Prozent bis 2050 berechnet werden. Im Vergleich zu den Zielen des BMU, das eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 Prozent bis 2020, 40 Prozent bis 2030 und 90 Prozent bis 2050 anstrebt, wird das Ziel für 2020 für den Personentransport sogar übertroffen, das entsprechende Ziel für 2030 vermutlich nur knapp eingehalten und das Ziel für 2050 deutlich verfehlt. Ungünstiger stellt sich die Situation im Güterverkehr dar, wo die vorgeschlagenen Maßnahmen gerade ausreichen, den Anstieg der Verkehrsleistung zu kompensieren, nicht jedoch, um nennenswerte absolute Emissionsminderungen herbeizuführen.

### 6.3.1.3 Ansätze zur Reduktion von verkehrsbedingtem Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Für die im weiteren Verlauf durchzuführende Analyse wurde daher das zugrunde liegende Set durchzuführender Maßnahmen gegenüber den an GHG-TransPoRD orientierten Maßnahmen im 1. Zwischenbericht deutlich modifiziert. Die teilweise sehr teuren Effizienzsteigerungen im Personenverkehr wurden auf ein Maß begrenzt, das ausreicht, die spezifischen Emissionen eines Durchschnittsfahrzeugs auf das EU-Ziel von 95 bzw. 105 Gramm pro Kilometer zu begrenzen. Stattdessen wurden zusätzliche Effizienzziele vor allem für den Güterverkehr und außerdem eine Reihe von „nicht technischen“ Maßnahmen berücksichtigt, die auf eine Verschiebung des Modal Split (d. h. des Anteils von Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Luftverkehr) und eine Reduktion des motorisierten Verkehrsaufkommens insgesamt abzielen. Im Einzelnen kommen die folgenden Maßnahmen zur Anwendung:

Aus dem Meseberg-Programm (Jochem et al. 2008):

- CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw (Maßnahme 16): Kernstück bildet die Setzung von CO<sub>2</sub>-Emissionsstandards für Neuwagen in Deutschland in Anlehnung an den Vorschlag der EU-Kommission (KOM (2007) 856). Sowohl Investitionen als auch Einsparungen werden von den Fahrzeugnutzern getragen
- Aufkommensneutrale Umstellung der Kfz-Steuer auf CO<sub>2</sub>-Basis (Maßnahme 18)
- Verbrauchskennzeichnung für Pkw (Maßnahme 19): Durch beide Maßnahmen (M18/M19) erfolgt eine Veränderung der Kaufanreize hin zu Fahrzeugen der gleichen Größenklasse, aber mit geringeren Emissionen

- Elektromobilität (Maßnahme 26): Bis 2030 9 Mio. Hybrid- und 4 Mio. Batteriefahrzeuge. Bei Strombezug aus dem Netz berechnen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend dem jeweiligen Strommix

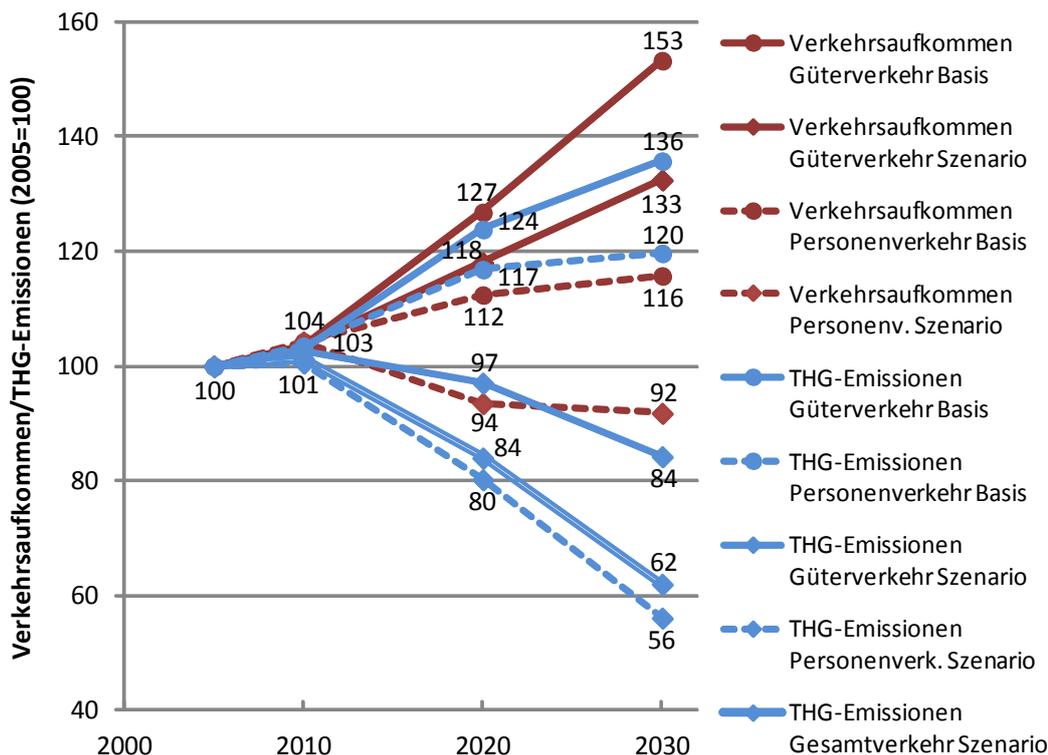
Zusätzliche Maßnahmen aus dem Stakeholder-Szenario von Renewability II (Zimmer et al. 2011):

- Reduzierter Flottengrenzwert für Pkw: Senkung auf 70 g CO<sub>2</sub>/km bis 2030
- Reduzierter Flottengrenzwert für leichte Nutzfahrzeuge: Senkung auf 133 g CO<sub>2</sub>/km bis 2030. Beide reduzierten Flottengrenzwerte werden durch den verstärkten Einsatz von (Plug-in) hybrid- und batterieelektrischen Fahrzeugen erreicht
- Reduzierter Flottengrenzwert für Lkw (inkl. Busse): Effizienzsteigerung um 15 Prozent bis 2020 und 30 Prozent bis 2030 (jeweils gegenüber 2005)
- Effizienzstandards für neue Züge: Effizienzsteigerung um 15 Prozent bis 2020 und 30 Prozent bis 2030 (jeweils gegenüber 2005)
- Ausgestaltung Kraftstoffpreise: Ausrichtung der Höhe der Mineralölsteuer je zur Hälfte am Energiegehalt und an der Treibhausgasintensität
- Logistikoptimierung durch den Einsatz neuer Informations- und Kommunikationstechnologien
- Förderung des kombinierten Verkehrs (Schiene/Straße) und von Gleisanschlüssen: Auswertung und Überarbeitung der bisherigen Förderstruktur
- Lenkungswirkung der Lkw-Mauterhöhung: Steigerung auf 0,50 EUR/km bis 2030 für alle Lkw-Klassen und Ausweitung auf alle Straßenkategorien
- 25-Meter-Lkw: Zwei 25-Meter-Lkw ersetzen jeweils drei konventionelle 40 t-Lkw. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die höhere Effizienz größerer Lkw Verlagerungen von der klimaschonenderen Schiene auf die Straße nach sich zieht.
- Erneuerbarer Strom für die Bahn: Der Anteil erneuerbaren Stroms steigt von 30 auf 60 Prozent in 2030 (Basis: 30 Prozent konstant)
- Kraftstoffsparende Fahrweise im privaten und gewerblichen Verkehr
- Einsatz von IKT (Telematik) zur Vermeidung von Staus und dadurch bedingten Emissionen
- Tempolimit (120 km/h auf Autobahnen für Pkw) und Tempobegrenzer (82 statt 88 km/h auf Autobahnen für Lkw)
- Wegfall der Pendlerpauschale für Besserverdienende
- Förderung des Fahrradverkehrs durch Einführung von Fahrradverleihsystemen (Bike sharing) und mehr Fahrradwegen in Städten
- Ausweitung des ÖPNV-Angebotes: Taktverdichtung (abhängig vom Bedarf) und Reisezeitverkürzung durch Steigerung der Betriebsleistung und begleitende Maßnahmen (z. B. Ampelvorrangschaltung, Linienoptimierung, Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeiten durch Einführung separater Busspuren)
- Begleitende Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV: Zum Beispiel leichtere Erreichbarkeit, Barrierefreiheit, einfacherer Zugang zu Fahrscheinen

Die Wirkungen, die mit Hilfe dieser Maßnahmen hinsichtlich der Reduktion der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 erzielt werden, sind in Abbildung 22 aufgeführt. Es

wird deutlich, dass die Herausforderung einer Reduktion der Treibhausgasemissionen angesichts des stark steigenden Verkehrsaufkommens im Güterverkehr (+53 Prozent bis 2030) deutlich größer ist als im Personenverkehr (+16 Prozent). Für die Treibhausgasemissionen selbst liegen die prognostizierten Steigerungen im Güterverkehr (mit +36 Prozent) deutlich unter dem Anstieg des Verkehrsaufkommens, im Personenverkehr bleiben sie dagegen knapp darüber (+20 Prozent).

Abbildung 22: Entwicklung des Verkehrsaufkommens und der Treibhausgasemissionen im Güter- und Personenverkehr bis zum Jahr 2030, ohne (Basis) bzw. mit Vermeidungsmaßnahmen (Szenario), alle Werte normiert (2005=100)



Quellen: Schade et al. 2009, Zimmer et al. 2011 und Tabelle 32

Die Senkung des Verkehrsaufkommens im Stakeholder-Szenario um 20 Prozent-Punkte im Güter- und 24 Prozent-Punkte im Personenverkehr (jeweils bis 2030) ist ein Hinweis darauf, wie hoch das Reduktionspotenzial der nicht-technischen Maßnahmen ist, die auf eine Senkung der Emissionen durch Vermeidung des Verkehrsaufkommens abzielen. Werden die technischen Maßnahmen, die vor allem auf eine Effizienzsteigerung der Fahrzeuge abzielen, mit einbezogen, dann können im Güter- und Personenverkehr Reduktionen der Treibhausgasemissionen um 52 bzw. 64 Prozent-Punkte erzielt werden. Das sind 32 bzw. 40 Prozent-Punkte mehr als durch die nicht-technischen Maßnahmen alleine realisiert werden konnten. Insgesamt führen die Maßnahmen des Stakeholder-Szenarios dazu, dass die Treibhausgasemissionen nicht nur im Personenverkehr bis 2030 sehr deutlich um 44 Prozent gesenkt werden können. Auch im Güterverkehr wird trotz des stark ansteigenden Verkehrsaufkommens eine deutliche Reduktion der absoluten Emissionen um 16 Prozent erzielt. Im gesamten Verkehr können die Treibhausgasemissionen dadurch bis 2020 um 16 Prozent und bis 2030 um 38 Prozent gesenkt werden. Die in den Zielen des BMU angestrebten Reduktionen (-25 Prozent in 2020 und -40 Prozent in 2030) werden damit vor allem für 2030 fast erreicht.

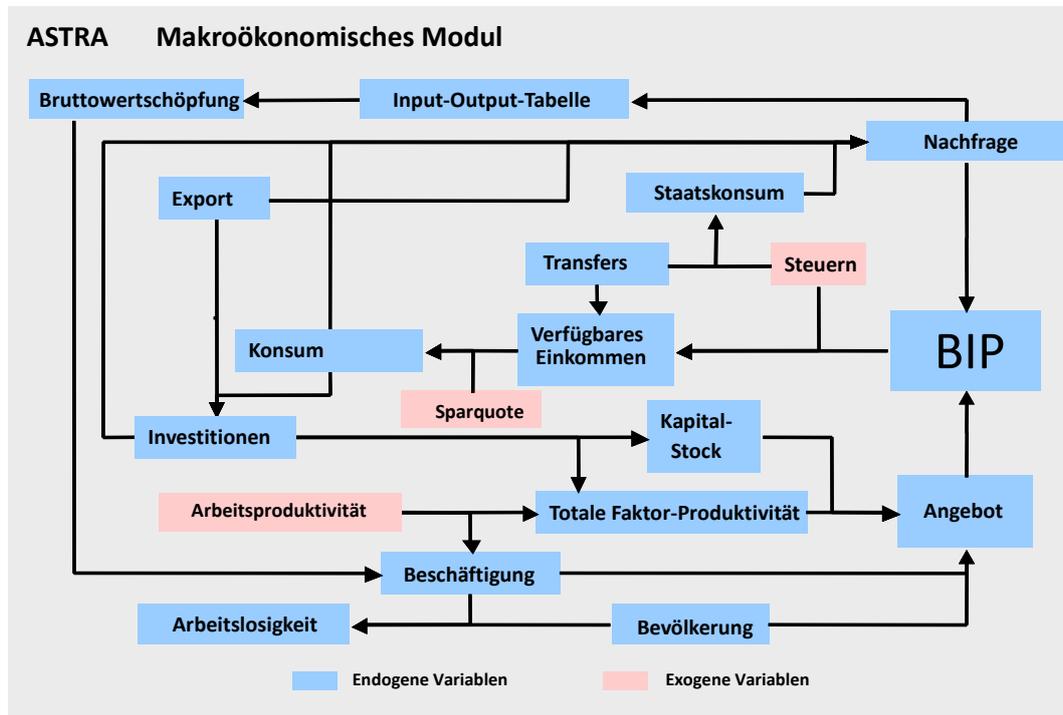
Neben der Reduktion der Treibhausgasemissionen wird durch die beschriebenen Maßnahmen auch eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs erzielt. Dieser ist nicht ganz so groß wie die Reduktion der Emissionen, weil ein Teil der Maßnahmen des Stakeholder-Szenarios auch darauf abzielt, stärker klimarelevante durch weniger klimarelevante Energiequellen (z. B. Benzin durch Erdgas) zu ersetzen und damit keine dem Treibhauseffekt vergleichbare Reduktion des Primärenergieverbrauchs herbeiführt. Dennoch können auch in diesem Fall Verbrauchssenkungen um 1 Prozent im Güterverkehr, 41 Prozent im Personenverkehr und 31 Prozent im Verkehrsbereich insgesamt festgestellt werden (Zimmer et al. 2011). Das ist aus Sicht der Ressourcenschonung ein großer Fortschritt.

### 6.3.2 Modellierung der Auswirkungen eines klimafreundlicheren Verkehrs

Zur Analyse der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der in Kapitel 6.3.1 aufgeführten Politikmaßnahmen zur Förderung eines klimafreundlichen und energieeffizienten Verkehrs wird das Modell ASTRA (Assessment of Transport Strategies) verwendet, das zuvor für ähnliche Zielsetzungen auch schon in den Politikszenerarien IV (Matthes et al. 2008), KlimInvest (Jochem et al. 2008), IEKP-Makro (Schade et al. 2009) und Renewability II (Zimmer et al. 2011) verwendet wurde.

ASTRA nutzt ein Kohortenmodell der Bevölkerungsstruktur verschiedener Länder, das relevante Rahmenbedingungen an andere Module, wie das Arbeitskräftepotenzial für das makroökonomische Modul oder die Nutzergruppen für das Verkehrsmodul liefert. Im makroökonomischen Modul werden die Angebots- (d. h. Produktionsfaktoren und Technologie) und Nachfrageseite (d. h. Elemente der Endnachfrage) der Volkswirtschaften, die sektoralen Verflechtungen mittels Input-Output-Tabellen, die sektorale Beschäftigung und der Staatshaushalt abgebildet. Hinsichtlich der zugrunde liegenden ökonomischen Theorie kommen verschiedene Elemente wie keynesianisch konsumgetriebenes Investitionsverhalten ergänzt durch investitionsfördernde Exporteinflüsse, neoklassische Produktionsfunktionen und endogenisierter technischer Fortschritt aus der endogenen Wachstumstheorie zum Einsatz. Diese Einzelelemente werden durch eine Vielzahl von Rückkopplungen verknüpft, ggf. unter Berücksichtigung von zeitlichen Verzögerungen. Über Mikro-Makro-Brücken werden ökonomische Impulse, die sich aus der detaillierten Modellierung (bottom-up) des Verkehrs- oder Energiesystems ergeben, in das makroökonomische Modul eingespeist. Umgekehrt liefert ASTRA über Makro-Mikro-Brücken die ökonomischen Treiber für die Bottom-up Modelle. Die wichtigsten Rückkoppelungen sind in Abbildung 23 dargestellt.

Abbildung 23: Wechselwirkungen verschiedener Modellvariablen im makroökonomischen Modul von ASTRA



Quelle: Krail et al. 2007

Direkte wechselseitige Interaktionen bestehen zwischen dem makroökonomischen Modul und dem Außenhandelsmodul, wo das Wachstum der einzelnen Volkswirtschaften die Importe ankurbelt, welche wiederum auf der Exportseite der anderen Volkswirtschaften wachstumsfördernd wirken, usw. Gleichzeitig liefern die sektoralen Exportströme neben den Produktionswerten einen wichtigen Treiber für das Güterverkehrsmodell, während das Personenverkehrsmodell durch die Bevölkerungs- und Einkommensentwicklung sowie die Fahrzeugflotten getriggert wird. Eine detailliertere Darstellung des ASTRA-Modells findet sich in Schade (2005) und Krail et al. (2007).

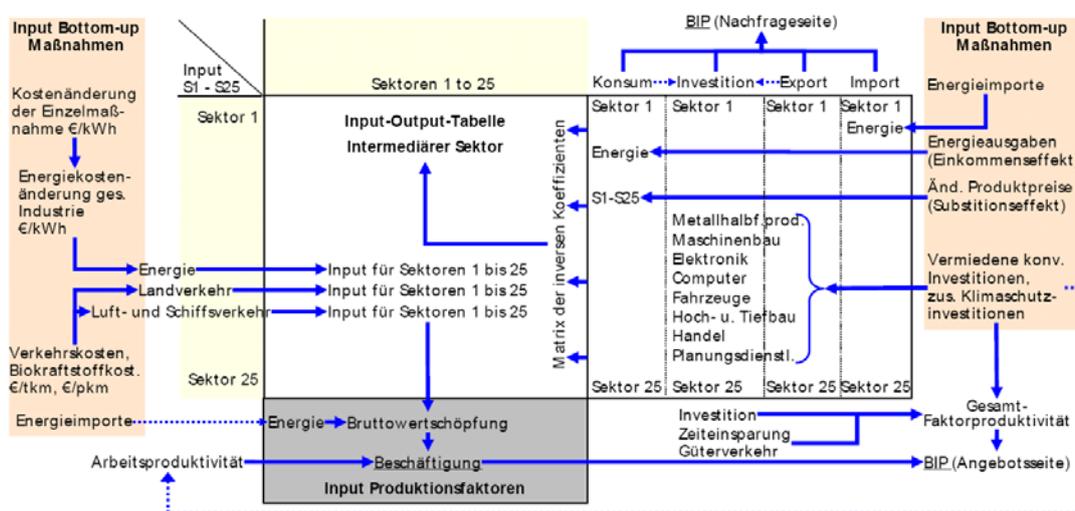
Die für die im Folgenden durchzuführende gesamtwirtschaftliche Analyse wichtigsten Rückkopplungen verlaufen über die folgenden Wirkungsketten (Schade et al. 2009):

- Investitionen umfassen einerseits zusätzliche Investitionen, die durch die Klimaschutzpolitik ausgelöst werden (z. B. Investitionen in erneuerbare Energien oder Isolierung von Gebäuden) und andererseits vermiedene Investitionen, wenn bspw. aufgrund der Investition in erneuerbare Energien die Investition in ein kohlebetriebenes Großkraftwerk entfällt. Der Saldo aus zusätzlichen und vermiedenen Investitionen der Klimaschutzpolitik wird als Nettoinvestition des Klimaschutzes bezeichnet.
- Energiekosten bzw. -ausgaben verändern sich aufgrund der Investitionen. Die Kostenänderungen sind differenziert in Haushaltspreise und Industriepreise sowie in verschiedene Energieträger. Bei der Verknüpfung der Bottom-up Ergebnisse mit dem Makro-Modul von ASTRA handelt es sich zumeist um Nachfragerückgänge aufgrund der gesteigerten Energieeffizienz bei den entsprechenden Energieversorgern, die durch eine gesteigerte Nachfrage nach Konsum- und Investitionsgütern aller Art mehr oder weniger kompensiert wird.

- Energieimporte werden durch Effizienzsteigerung und teilweise durch die Substitution von fossilen durch erneuerbare Energieträger reduziert. Dadurch steigt die Nachfrage nach anderen Gütern, die ihrerseits zu einem Teil importiert, zum anderen aber im Inland produziert werden. Eine Steigerung des BIP kann die Folge sein.
- Technologieexporte als Folge von Lead-Markt-Effekten aufgrund von politikgetriebener Technologieführerschaft (z. B. Effizienztechnologien im Verkehr) führen zu einer Steigerung der Nachfrage und damit des BIP.

Die Ankopplung der Maßnahmen an das Makro-Modul erfolgt auf der sektoralen Ebene z. B. über eine Veränderung der sektoralen Konsumausgaben der Haushalte bzw. der sektoralen Investitionsausgaben der Industrie (siehe Abbildung 24). Diese führen sowohl zu einer Änderung des BIP auf der Nachfrageseite als auch zur Anpassung des Endnachfragevektors der Input-Output-Tabelle. Zusammen mit den Veränderungen auf der intermediären Ebene der Input-Output-Tabelle durch die Energiekostenänderungen der Industrie ergibt sich eine Veränderung der sektoralen Bruttowertschöpfung, wobei hier auch die sektoralen Outputänderungen berücksichtigt werden. Durch Verknüpfung der Bruttowertschöpfung mit den sektoralen Arbeitsproduktivitäten, die ggf. durch die Maßnahmen verändert werden, lässt sich die Beschäftigungswirkung des Klimaschutzprogrammes abschätzen. Unter Berücksichtigung der Veränderung des BIP auf Nachfrage- und Angebotsseite kann die Wachstumswirkung abgeschätzt werden.

Abbildung 24: Umsetzung der Maßnahmen zur klimafreundlichen Gestaltung des Verkehrs im makroökonomischen Modul von ASTRA



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI.  
Quelle: Schade et al. 2009

In der nachfolgenden Analyse nimmt ASTRA für den Referenzlauf (Basisszenario) auf die Basisdaten von KlimInvest und IEKP-Makro sowie die Rahmendaten von Politikszenerarien IV (Matthes et al. 2008) Bezug. Das untersuchte (Stakeholder-)Szenario wird in Relation zu dieser Referenzentwicklung ausgewiesen.

### 6.3.3 Investitionen in klimafreundlichen Verkehr

Die Umsetzung der technischen und nicht-technischen Maßnahmen zur Reduktion der klimaschädlichen Auswirkungen des Verkehrs zieht aus volkswirtschaftlicher Perspektive Kosten sehr unterschiedlicher Art und Höhe nach sich. Einige, wie das Tempolimit auf

Autobahnen, der teilweise Wegfall der Pendlerpauschale oder die Umgestaltung der Besteuerung sind hauptsächlich oder ausschließlich mit Transaktionskosten für die Änderung bzw. Umsetzung der entsprechenden Regulierung verbunden, die darüber hinaus nur in relativ geringem Umfang anfallen. Diese Kosten können in der gesamtwirtschaftlichen Analyse vernachlässigt werden. Die Mehrzahl der Maßnahmen ist aber, wie in Tabelle 33 dargestellt, mit teils erheblichen Kosten verbunden, die in mehrfacher Hinsicht auch als Investitionen interpretiert werden können und bei der gesamtwirtschaftlichen Analyse berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 33: Kosten der Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr

Maßnahmen	Umsetzungszeitraum*	Summe Differenzkosten (Mrd. EUR)
CO <sub>2</sub> -Strategie Pkw (M16)	2012-2030	106,0
Ausbau Biokraftstoffe (M17)	2012-2030	1,9
Elektromobilität (M26)	2012-2030	57,0
Flottengrenzwerte Pkw (70 g/km in 2030)	2012-2020	28,0
Flottengrenzwert LNF (-21 Prozent in 2030)	2012-2020	4,0
Elektromobilität Pkw + LNF	2012-2030	20,0
Flottengrenzwert Lkw und Busse (-30 Prozent in 2030)	2012-2020	6,0
Effizienzstandards neue Züge (-35 Prozent in 2030)	2012-2030	0,5
Logistikoptimierung (Masterplan)	2012-2030	1,0
Förderung Kombi-Verkehr und Gleisanschlüsse	2012-2020	1,5
25-Meter-LKW	2012-2020	0,5
IKT zur Verkehrslenkung	2012-2020	1,0
Tempobegrenzer	2012-2020	0,2
Förderung Radverkehr (Bike-sharing und Radwege)	2012-2020	10,0
Ausweitung ÖPNV Angebot	2012-2016	0,5
Summe	2012-2030	238,1

\* Im Gegensatz zu den angegebenen Quellen wurde der Beginn der Maßnahmen mit 2012 dem aktuellen Datum angepasst.

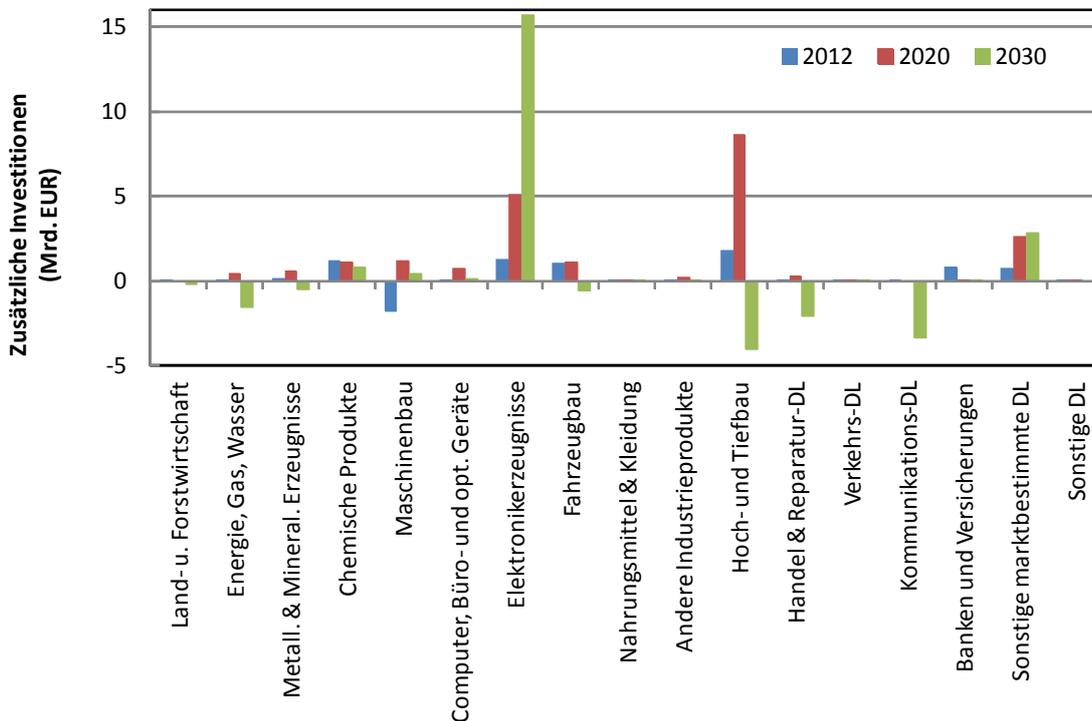
Quellen: Jochem et al. 2008, Zimmer et al. 2011

Wie dargestellt, werden die Maßnahmen in unterschiedlichen Zeiträumen und innerhalb dieser Zeiträume in unterschiedlicher Intensität umgesetzt, so dass die Investitionen im Betrachtungszeitraum insgesamt zunächst zu- und dann wieder abnehmen. Konkret betragen sie in unserer Analyse 9,1 Mrd., 14,7 Mrd. und 8,0 Mrd. EUR für die Jahre 2012, 2020 bzw. 2030.

Einerseits stellen alle diese (Zusatz-)Kosten insofern Investitionen dar als ihr Einsatz zum Zeitpunkt der Maßnahmenumsetzung Kosteneinsparungen in der Folgezeit nach sich zieht. Von Ausnahmen (z. B. Elektromobilität) abgesehen sind die Einsparungen höher, teilweise sogar deutlich höher als die Investitionen (z. B. für die CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw), so dass sich für die meisten Einzelmaßnahmen wie auch für das Gesamtpaket auch unter Anlegung eines volkswirtschaftlich sinnvollen Zinssatzes (z. B. 3 Prozent) ein positiver Gegenwartswert ergibt. D. h. die Investitionen lohnen sich in den meisten Fällen für die jeweiligen Investoren, in jedem Fall aber für die Wirtschaft insgesamt, insofern als u. a. weniger (Energie-) Rohstoffe importiert werden müssen und das Volkseinkommen (BIP) für andere Zwecke, bspw. für mehr privaten Konsum, aufgewendet werden kann. Die Folge sind Einkommenseffekte, die sich im Zeitverlauf durch die Wirkung von Multiplikatoreffekten noch vergrößern.

Im Unternehmenskontext führt andererseits die Umsetzung vieler der genannten Klimaschutzmaßnahmen im Verkehrsbereich zu einer Steigerung der Produktivität. Soweit sich diese in höheren Unternehmensgewinnen niederschlägt, steigt damit bei gleichbleibender Investitionsneigung auch das Investitionsvolumen selbst weiter an, wodurch weitere Produktivitätsfortschritte schon „vorprogrammiert“ sind. Dieser Mechanismus stellt eine Art von Akzeleratoreffekt dar, der das BIP noch stärker ansteigen lassen. Wie Abbildung 25 zeigt, sind die verschiedenen Wirtschaftszweige davon in unterschiedlicher Weise betroffen.

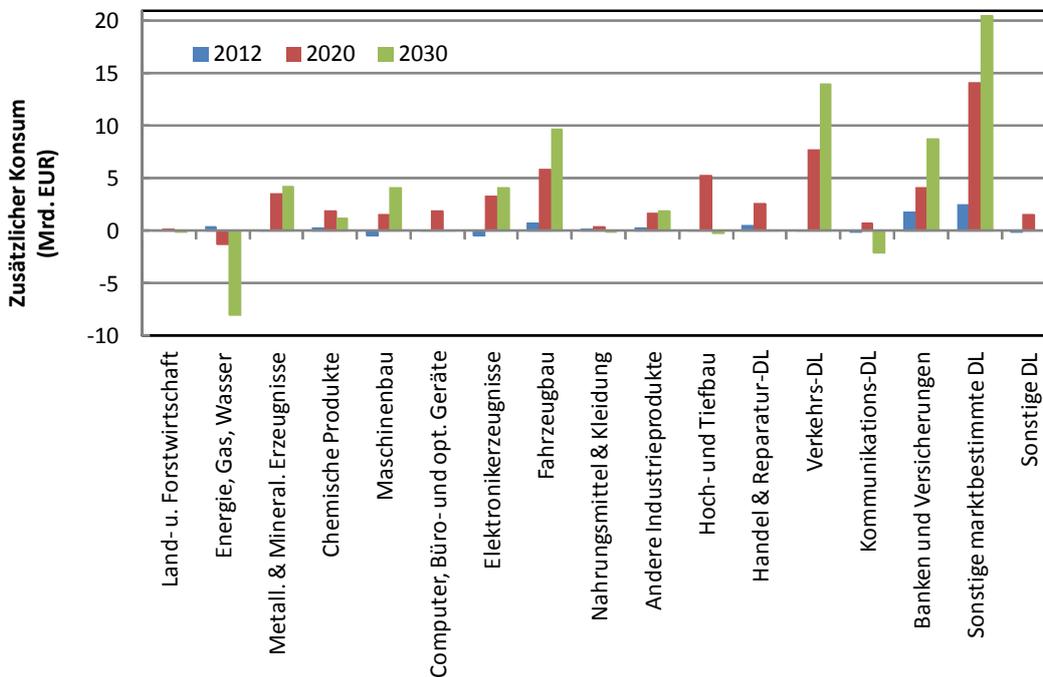
Abbildung 25: Verteilung der durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in den Jahren 2012, 2020 und 2030 induzierten Investitionen auf die Wirtschaftszweige in Deutschland



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Besonders hoch sind die zusätzlichen Investitionen in den Bereichen Elektronikerzeugnisse, die für den Großteil der Effizienzsteigerungsmaßnahmen verantwortlich sind, sowie Hoch- und Tiefbau, die einige der nicht-technischen Maßnahmen umsetzen. Der geringe Effekt auf den Fahrzeugbau mag zunächst überraschen, wird aber angesichts der Tatsache verständlich, dass „Investitionen“ in effizientere Fahrzeuge in großem Umfang von Privatpersonen im Rahmen des Konsums getätigt werden (vgl. Abbildung 26).

Abbildung 26: Verteilung des durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in Deutschland zusätzlich verursachten Konsums auf die Wirtschaftszweige



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

### 6.3.4 Gesamtwirtschaftliche Effekte des klimafreundlichen Verkehrs bis 2030

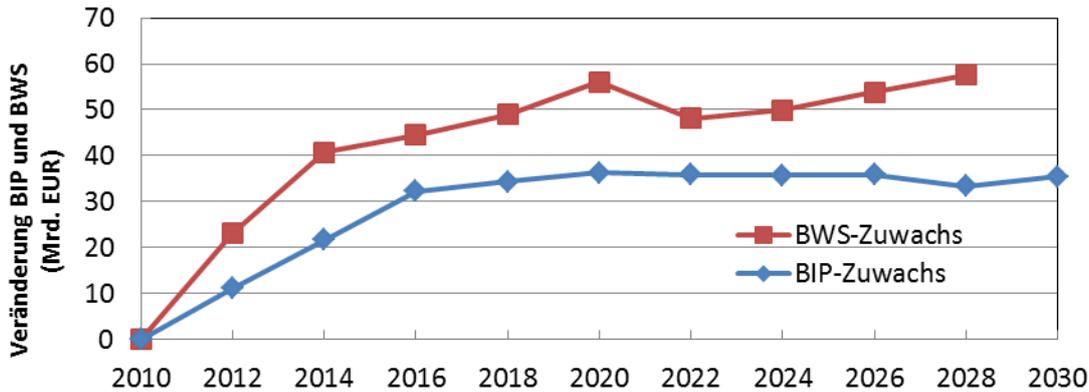
#### 6.3.4.1 Wertschöpfung und Konsum

Da das vorrangige Ziel der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr die Steigerung der Energieeffizienz ist, nimmt mit ihrem Wirksamwerden und ihrer wachsenden Verbreitung der Verbrauch der entsprechenden Kraftstoffe ab (s. Abbildung 26: Bereich „Energie, Gas, Wasser“). Die frei werdende Kaufkraft kann in andere Wirtschaftszweige fließen, z. B. an die Hersteller von Fahrzeugen für den Kauf von (energieeffizienten) Pkw.

Allerdings kommt es nicht nur zu einer Umverteilung des Konsums zwischen den Wirtschaftszweigen. Infolge des reduzierten Verbrauchs sinkt auch die Menge an Kraftstoffen oder, falls die Kraftstoffe im Inland produziert werden, der entsprechenden Rohstoffe (insbesondere Öl, aber auch Gas), die importiert werden müssen. Da der Importanteil von Kraftstoffen bzw. Öl und Gas größer ist als der Importanteil der meisten anderen Güter, die nach der Verbrauchsreduktion an deren Stelle verbraucht werden, nimmt das Importvolumen der Volkswirtschaft insgesamt ab, was zur Folge hat, dass das Produktionsvolumen im Inland zunimmt. In dem Umfang wie mit diesem Produktionszuwachs auch ein Anstieg der Wertschöpfung stattfindet, entsteht zusätzliches Einkommen und damit auch zusätzliche Nachfrage. Gleiches gilt für den Wertschöpfungszuwachs, der auf den in Kapitel 6.3.3 diskutierten investitionsbedingten Produktivitätsanstieg zurückzuführen ist. Allerdings ist bei Letzterem festzustellen, dass das Investitionsvolumen im Zeitraum 2020 bis 2030 aufgrund einiger in 2020 auslaufender Maßnahmen absinkt. Beide Effekte zusammen erklären daher, warum die Wertschöpfung und in der Folge auch das BIP bis zum Jahr 2020 stärker und danach etwas schwächer ansteigen (vgl. Abbildung 27). Differenziert nach Wirtschaftszweigen zeigt sich in fast allen Bereichen (Ausnahme: Energie, Gas-, Wasserversorgung) ein Anstieg bis

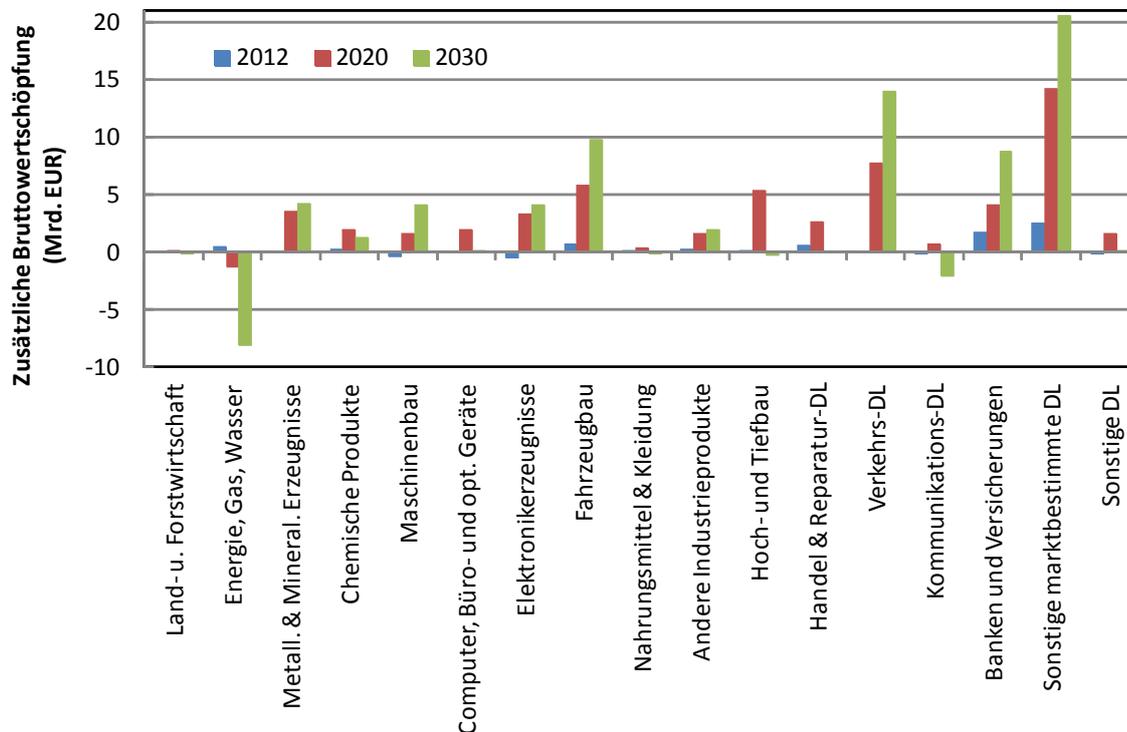
2020; danach kommt es in einigen, von den Maßnahmen begünstigten Wirtschaftszweigen (insbesondere Fahrzeugherstellung, Verkehrsdienstleistungen) zu einem weiteren Anstieg, wogegen andere wieder auf ihr Ausgangsniveau zurückgehen (vgl. Abbildung 28).

Abbildung 27: Einfluss der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr auf die Veränderung von Deutschlands Bruttowertschöpfung (BWS) und Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Vergleich zum Basis-Szenario über den Zeitraum 2010 bis 2030



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Abbildung 28: Verteilung der durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in den Jahren 2012, 2020 und 2030 zusätzlich generierten Bruttowertschöpfung auf die Wirtschaftszweige in Deutschland



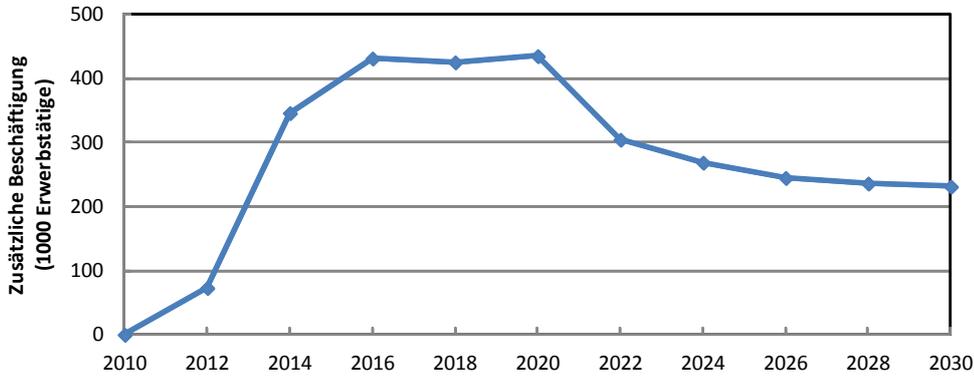
Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

### 6.3.4.2 Beschäftigungseffekte

Aufgrund des Anstiegs der Bruttowertschöpfung kann auch die Beschäftigung nach Ergreifen der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr deutlich ansteigen. Dabei wächst die Anzahl der zusätzlich Beschäftigten, wie in Abbildung 29 dargestellt, zunächst stark an, um im Zeitraum

2015 bis 2020 mit ungefähr 430.000 das Maximum zu erreichen. Danach geht sie bis 2030 wieder auf Werte um 230.000 zurück. Die Beschäftigung scheint also stark von den Investitionen abhängig zu sein, die, wie aus Tabelle 33 ersichtlich, alle im Jahr 2012 beginnen, teilweise aber nicht erst im Jahr 2030, sondern schon 2020 auslaufen.

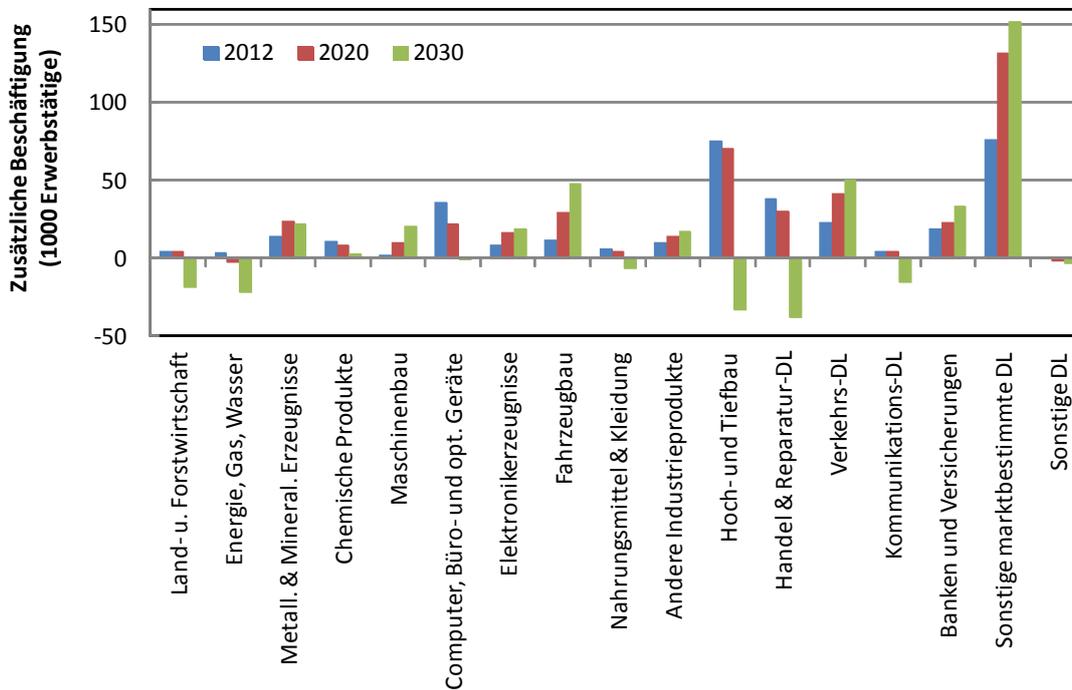
Abbildung 29: Veränderung der Beschäftigung im Zeitraum 2010 bis 2030 aufgrund der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in Deutschland



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Hinsichtlich der Verteilung auf die Wirtschaftszweige ergeben sich über den ganzen Zeitraum bis 2030 hinweg im Fahrzeugbau, den Verkehrsdienstleistungen, Banken und Versicherungen (als Finanziere der notwendigen Investitionen) und den sonstigen, marktbestimmten Dienstleistungen kontinuierliche, deutliche Anstiege (vgl. Abbildung 30). Im Hoch- und Tiefbau ergeben sich bedeutende Zuwächse bis 2020; danach macht sich dort der Abschluss der entsprechenden Infrastrukturmaßnahmen nach diesem Zeitpunkt bemerkbar. Insgesamt ist festzustellen, dass die Dienstleistungsbranchen hinsichtlich der Beschäftigungszahlen stärkeren Schwankungen unterliegen als die industrielle Produktion. Ursache dafür könnte die im Durchschnitt geringe Produktivität und daraus folgend die höhere Zahl von Beschäftigten pro Wertschöpfungseinheit im Dienstleistungssektor sein.

Abbildung 30: Verteilung der durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr in den Jahren 2012, 2020 und 2030 generierten Veränderungen der Beschäftigung auf die Wirtschaftszweige



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

### 6.3.5 Weitergehende Entwicklungen im Verkehrsbereich bis 2050

Eine detaillierte Modellierung der Entwicklungen im Verkehrsbereich – des Verkehrsaufkommens, der resultierenden Treibhausgasemissionen, der Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen und der gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen – über das Jahr 2030 hinaus ist im Rahmen dieses Projektes nicht möglich, da die Ergebnisse stark von den Annahmen hinsichtlich bestimmter Variablen abhängen, die in dieser langen Perspektive nur mit großer Unsicherheit getroffen werden können. So sind bspw. das Verkehrsaufkommen und die Nachfrage nach Fahrzeugen stark vom Wachstum der Wirtschaft abhängig. Wenige Zehntel Prozentpunkte mehr oder weniger pro Jahr können angesichts des Betrachtungszeitraums von fast vier Jahrzehnten einen großen Unterschied machen. Gleiches gilt für die Preise für Primärenergieträger, die sich stark auf die Kraftstoffnachfrage und damit wiederum auf das Verkehrsaufkommen auswirken können. Kein Experte hätte ihre Entwicklung im vergangenen Jahrzehnt vorhergesagt; umso weniger ist dies über einen Zeitraum von annähernd vierzig Jahren möglich. Außerdem ist es fraglich, ob Annahmen bezüglich der technischen Entwicklung klimaschonender Fahrzeugantriebe zutreffen, ob sie sich mit der angenommenen Geschwindigkeit ausbreiten und ob die Kosten im erwarteten Umfang zurückgehen. Um die Ergebnisse zu verifizieren, wäre zumindest eine eingehende Sensitivitätsanalyse mit einer großen Zahl von Simulationen erforderlich, die hier nicht darstellbar waren.

Wenn also eine Modellierung im Einzelnen aufgrund der großen Unsicherheiten nicht möglich ist, so lassen sich doch gewisse Aussagen hinsichtlich der zu erwartenden Trends machen. So wird die im Zeitraum 2010 bis 2030 eingeleitete Entwicklung effizienzsteigernder Verbesserungen an den Fahrzeugen und ihren Antrieben nach 2030 noch eine kurze Zeit andauern bis sie sich im gesamten relevanten Fahrzeugbestand verbreitet haben. Dadurch

werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Jahren nach 2030 zunächst zurückgehen. Dann aber wird es zu Reboundeffekten kommen, d. h. der Kraftstoffverbrauch und die damit einhergehenden Emissionen werden wieder zunehmen, weil durch den Effizienzgewinn die spezifischen Kosten des Verkehrs stark gesunken sind.

Alternativ angetriebene wie batterieelektrische oder Brennstoffzellenfahrzeuge werden nicht den gesamten, sondern nur einen Teil der heute vorherrschenden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ersetzen, weil sie einerseits gewisse Nachteile wie die beschränkte Reichweite oder lange Tankzeiten mittelfristig noch nicht vollständig ausgleichen können. Andererseits führt der sogenannte Sailing Ship-Effekt dazu, dass aufgrund der Herausforderung Klimaschutz und der zunehmenden Konkurrenz seitens alternativer Antriebssysteme auch die etablierte Antriebstechnik mit Verbrennungsmotoren signifikante Effizienzsteigerungen erfährt, wodurch der Anreiz für die Masse der Fahrzeugnutzer zu einer alternativen Antriebstechnik zu wechseln weniger stark ausfällt als ursprünglich erwartet.

Alles in allem ist in Anlehnung an Ergebnisse aus dem EU-Projekt GHG-TransPoRD (Schade 2012) zu erwarten, dass unter Zuhilfenahme einer Kombination aus ambitionierten technischen Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz bei herkömmlichen Antrieben und Fahrzeugen im Allgemeinen und dem Einsatz alternativer, meist elektrischer Antriebssysteme bis zum Jahr 2050 eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen (gegenüber 2005) um 50 bis 60 Prozent herbeigeführt werden kann. Auch unter Einbeziehung nicht-technischer Maßnahmen wie der Verbesserung der Logistik im Güterverkehr sowie der Verbesserung der Integration zwischen öffentlichem und privatem Verkehr und der attraktiveren Gestaltung von Fußgänger- und Fahrradverkehr im urbanen Kontext lässt sich eine Reduktion um nicht wesentlich mehr als 60 Prozent bewirken. Signifikante weitere Verbesserungen, die bis zu einer Reduktion um 75 bis 80 Prozent reichen, wären dagegen nur mit recht drastischen Interventionen seitens des Staates zu erreichen. Dazu gehörte, dass ab dem Jahr 2035 keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren mehr verkauft werden dürften und dass bestimmte Güter zwangsweise nicht mehr auf der Straße, sondern mit Bahn oder Schiff transportiert werden müssten.

Die Rechtfertigung für diese Zwangsmaßnahmen bestünde darin, dass zur Erreichung weitest gehender Reduktionsziele eine weitgehende Umstellung der Pkw- und leichten Lkw-Flotte auf elektrische Antriebskonzepte (mit Batterie, Brennstoffzelle oder als Hybrid) erforderlich wäre, wogegen auch bei substanzieller Förderung elektrisch betriebener Fahrzeuge nur eine teilweise Umstellung (d. h. etwa der Hälfte) der Flotte erreicht würde. Hinsichtlich der Verschiebung des Güterverkehrs auf Schiene und Flüsse ist außerdem zu berücksichtigen, dass die Effizienzgewinne, die im Zuge der Reduktion der Treibhausgasemissionen auch im Güterverkehr und dort vor allem auf der Straße erzielt werden können, die Attraktivität der Güterverkehrs auf der Straße in Relation zu den anderen Verkehrsträgern weiter steigern, so dass ein Modal Shift in die entgegengesetzte Richtung nur zwangsweise möglich ist. Ein vergleichbares Argument trifft im Übrigen auch auf das Verkehrsaufkommen insgesamt zu: Die Effizienzgewinne senken die Kosten des Verkehrs, weshalb mehr Verkehr nachgefragt wird, das Verkehrsaufkommen steigt. Um diesen Rebound-Effekt zu vermeiden, darf der Verkehr insgesamt nicht billiger werden. Folglich müssen die Antriebsenergien (einschließlich Kraftstoffe und Elektrizität) unter Berücksichtigung einer eventuell vorhandenen Preisdifferenzierung insgesamt so stark zusätzlich besteuert werden, dass Anreize für ein vermehrtes Verkehrsaufkommen von vorneherein entfallen.

Zur Vermeidung von Rebound-Effekten dürfen also die Betriebskosten des Verkehrs trotz Effizienzsteigerungen absolut nicht sinken. Andererseits müssen für die Umsetzung der großen Zahl ambitionierter technischer Maßnahmen zur Effizienzsteigerung hohe Investitionen getätigt werden, die sich auch mittelfristig nur rechnen, wenn der relative Vorteil seitens der

Betriebskosten erhalten bleibt. Daraus folgt, dass, wenn das Ziel einer deutlichen Senkung (um 80 Prozent) der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen bis 2050 erreicht werden soll, die Ausgaben der Nutzer für den von ihnen verursachten Verkehr auf jeden Fall deutlich steigen müssen. Nur ein Teil dieser Zusatzkosten ist jedoch technisch bedingt und damit unumkehrbar (d. h. stellt versunkene Kosten dar). Ein mindestens genau so großer Teil geht auf die zusätzliche Besteuerung zurück, mit der Anreize für eine Verbrauchssenkung gesetzt und Rebound-Effekte vermieden werden sollen. Dieser Teil stellt für den Staat zusätzliche Einnahmen dar, denen vom administrativen Aufwand abgesehen, keine Kosten in ähnlicher Größenordnung gegenüber stehen. Die Einnahmen können also – im Sinne der Aufkommensneutralität – durch Senkung anderer Abgaben oder Steuern wieder an die Steuerzahler zurückgegeben werden, wodurch deren Konsum- und (bei Unternehmen) Investitionsmöglichkeiten wieder zunehmen. Es verbleiben auf Seiten der tatsächlichen Zusatzkosten die Investitionen in die neuen, effizienteren Technologien, die zunächst von den Unternehmen, dann nach Überwälzung aber zunehmend von den Verbrauchern getragen werden. Sie schränken die Konsummöglichkeiten der Haushalte zunächst tatsächlich ein, führen aber per se nicht zu einem gesamtwirtschaftlichen Nachfragerückgang, da ja Investitionen an die Stelle des Konsums treten. Im Gegenteil steigern die Investitionen die Produktivität der Wirtschaft, wodurch in der Folgezeit die Wertschöpfung und damit die Beschäftigung steigen. Eine positive Wirkung könnte außerdem darin bestehen, dass sich deutsche Unternehmen als Anbieter klimaschonender Verkehrstechnologie auf den Weltmarkt einen Wettbewerbsvorteil verschaffen können, von dem die Wirtschaft insgesamt profitiert. Schließlich ist aber doch noch anzuerkennen, dass die Verteuerung des Verkehrs zu einem Nachfragerückgang nicht nur der Verkehrsleistung (beabsichtigt), sondern auch der entsprechenden Fahrzeuge (unbeabsichtigt) führen wird, was einen entsprechenden Rückgang der Inlandsproduktion zur Folge haben dürfte. Berechnungen zufolge, die Schade (2012) im Projekt GHG-TransPoRD durchgeführt hat, sollten selbst die ambitioniertesten und damit aufwändigsten Maßnahmenpakete nicht zu einem Rückgang des BIP-Wachstums führen, der über 0,2 Prozentpunkte pro Jahr hinausgeht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass GHG-TransPoRD die klimaschonende Entwicklung des Verkehrs innerhalb der gesamten EU zum Thema hat, wodurch Vorteile, die einzelne Länder bspw. aufgrund von Innovationsvorsprüngen realisieren können, nicht zum Tragen kommen.

## 6.4 Ressourceneffizienz

### 6.4.1 Einleitung

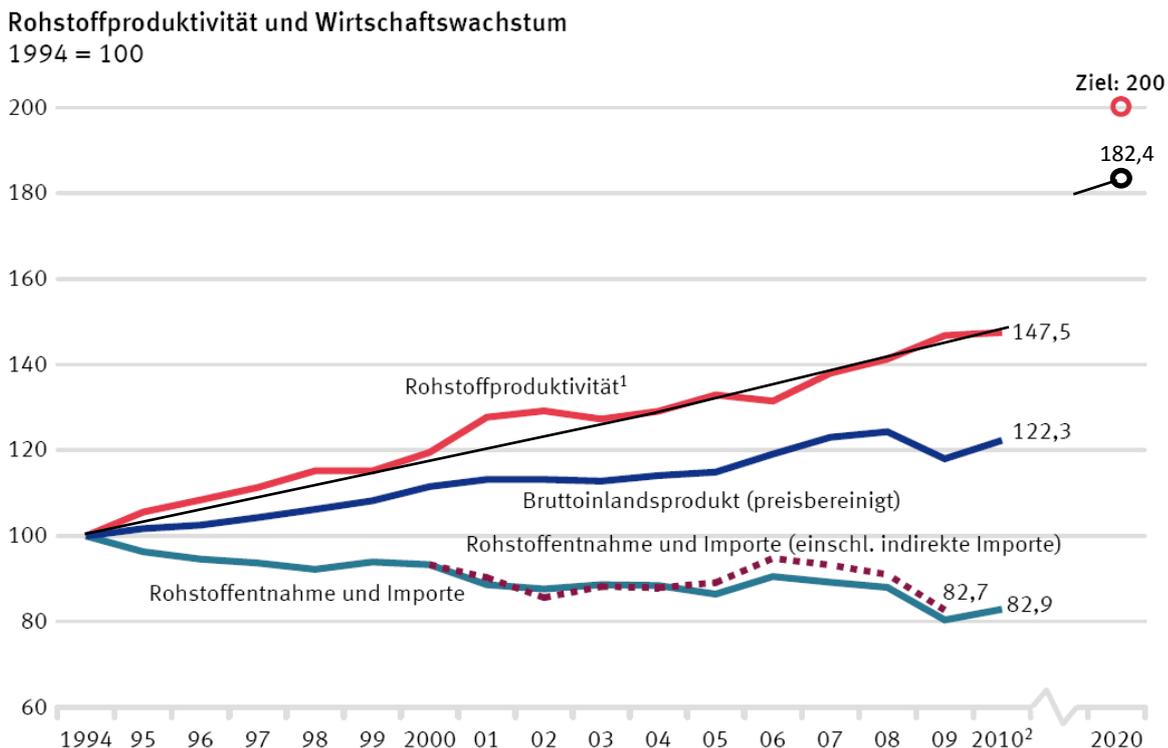
Mit den um das Jahr 2008 festzustellenden drastischen Preissprüngen auf den Rohstoffmärkten, deren Ausgangsniveau auch vier Jahre später noch lange nicht wieder erreicht ist, gewann das Thema Rohstoffversorgung in Wirtschaft und Politik ein besonderes Gewicht. Dabei hatte die Bundesregierung schon in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002 das Ziel formuliert, die Rohstoffproduktivität<sup>68</sup> bezogen auf das Basisjahr 1994 bis zum Jahr 2020 zu verdoppeln (Bundesregierung 2008). Das bedeutet, dass in der deutschen Wirtschaft die pro Tonne

---

<sup>68</sup> Die Begriffe Rohstoffeffizienz und Rohstoffproduktivität werden hier weitgehend synonym verwendet, wobei die Rohstoffeffizienz den allgemeineren Begriff darstellt, wogegen die Rohstoffproduktivität vor allem im Zusammenhang mit dem Verdoppelungsziel der Bundesregierung Verwendung findet.

eingesetzter Rohstoffe<sup>69</sup> erzielte Wertschöpfung (= preisbereinigtes BIP) verdoppelt werden sollte. Tatsächlich war im Zeitraum 1994 bis 2010 die in Abbildung 31 dargestellte Entwicklung zu verzeichnen. Zeitgleich mit einem Anstieg des realen BIP um 22,3 Prozent gingen die Rohstoffentnahme und -importe um 17,1 Prozent zurück. Das bedeutet einen Anstieg der Produktivität um 47,5 Prozent. Würde diese Entwicklung bis 2020 in gleicher Weise fortgeführt werden können, wäre ein Produktivitätsanstieg um insgesamt 82 Prozent zu erwarten. Bis zur Verdoppelung würden also noch rund 18 Prozentpunkte fehlen. Diese Zahlen erwecken den Eindruck als sei das Verdoppelungsziel mit relativ geringem zusätzlichem Aufwand erreichbar.

Abbildung 31: Rohstoffproduktivität und Wirtschaftswachstum in Deutschland, 1994 bis 2010 (1994=100)



<sup>1</sup> Abiotisch; die exponentielle Trendlinie ergibt einen Wert von 182,4 im Jahr 2020; <sup>2</sup> Vorläufige Daten

Quelle: StaBuA 2012a, verändert

#### 6.4.1.1 Rohstoffproduktivität – Berücksichtigung indirekter Importe?

Tatsächlich würde jedoch die einfache Fortschreibung der bisherigen Entwicklung der zukünftigen, realen Entwicklung nicht gerecht werden. Die Ursache dafür steht mit der Tatsache im Zusammenhang, dass der Rohstoffeinsatz in Tonnen gemessen wird, wodurch Massenrohstoffe wie insbesondere Sande, Kies und Steine erheblich stärker ins Gewicht fallen als die metallischen Rohstoffe, die für die Produktivität der Wirtschaft zwar unverzichtbar sind, sich auf den Rohstoffeinsatz aber nur wenig auswirken. Eine nennenswerte Steigerung der

<sup>69</sup> Derzeit wird der gesamtwirtschaftliche Rohstoffeinsatz (auch direkter Materialinput – DMI – genannt) als Summe der Entnahme von Rohstoffen im Inland und der Importe von Rohstoffen sowie von Halb- und Fertigwaren (jeweils in Tonnen) gemessen. Dabei wird lediglich der sogenannte abiotische, also der nicht erneuerbare Rohstoffeinsatz, einbezogen. Da der gesamtwirtschaftliche Rohstoffeinsatz sowohl Rohstoffe als auch weiter verarbeitete Produkte umfasst, wird häufig auch der Begriff Materialeinsatz verwendet. Die beiden Bezeichnungen werden dann synonym verwendet (StaBuA 2010).

Rohstoffproduktivität wäre also hauptsächlich durch den sparsameren Umgang mit, d. h. auch die Wiederverwertung von mineralischen Rohstoffen möglich. Dem Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2011) zufolge werden aber heute bereits 80 Prozent des Bauschutts und Straßenaufbruchs wiederverwertet. Ein starker weitergehender Produktivitätszuwachs ist an dieser Stelle also kaum mehr erreichbar. Andererseits wird in der jüngeren Vergangenheit unter dem Stichwort „Urban Mining“ zunehmend darüber diskutiert auch seltenere, aber wertvollere Metalle in die Rückgewinnungsbemühungen einzubeziehen. Hier ist das Steigerungspotenzial zwar noch groß, die absoluten Mengen sind aber zu gering, um die Rohstoffproduktivität in der gerade diskutierten Fassung nennenswert zu beeinflussen.

Eine Möglichkeit, selteneren Rohstoffen hinsichtlich des Rohstoffeinsatzes eine größere, ihrem wirtschaftlichen Wert besser entsprechende Bedeutung zukommen zu lassen, könnte darin bestehen, dass zusätzlich zu dem jeweiligen „seltenen“ Rohstoff auch die Stoffströme Berücksichtigung finden, die bewegt werden müssen, um den „seltenen“ Rohstoff überhaupt erst verfügbar zu machen. Ein solcher Konzeptwechsel wird in der jüngeren Vergangenheit diskutiert, um ein anderes Defizit des direkten Rohstoffeinsatzes (= direkter Material-Input – DMI) zu beseitigen: die Gleichbehandlung von importierten Rohstoffen, Halb- und Fertigwaren. Im herkömmlichen DMI zählt eine Tonne Fertigwaren genauso viel wie eine Tonne Rohstoffe (= direkte Importe), obwohl davon auszugehen ist, dass für die Produktion der Fertigware im Ausland mehr als eine Tonne Rohstoffe aufgewendet werden mussten. Um zu berücksichtigen, dass in die Produktion der importierten Fertigwaren mehr Rohstoffe eingegangen sind als sich im Gewicht der Fertigwaren niederschlagen, wird der DMI in Rohstoffäquivalente umgerechnet, die direkte *und indirekte* Importe umfassen. Bei Metallerzen unterscheiden sich herkömmlicher DMI und DMI in Rohstoffäquivalenten kaum; der Unterschied wächst jedoch je weiter das Metall aufgearbeitet und in Produkten verarbeitet wird, d. h. je weiter der Grad der Wertschöpfung steigt. Da der Preis der meisten Metalle mit ihrer Seltenheit und dem Aufwand der notwendigen Aufarbeitung steigt, sind Rohstoffäquivalenzfaktor und Preis zumindest grob korreliert.

Werden, wie für die Berechnung der Rohstoffäquivalente vorgesehen, neben den direkten auch die indirekten Importe berücksichtigt, so beträgt die Masse der abiotischen Rohstoffentnahme und Importe Deutschlands bspw. im Jahr 2009 2,138 anstelle von 1,206 Mrd. Tonnen. Die Differenz, 77,3 Prozent im Jahr 2009, ändert sich von Jahr zu Jahr geringfügig, entsprechend der jeweiligen Zusammensetzung der Importe aus Gütern mit unterschiedlichen Mengen zugrunde liegender Rohstoffäquivalente. Aus diesem Grund liegt die entsprechende gepunktete Kurve in Abbildung 31 teilweise tiefer und teilweise höher als die unkorrigierte Kurve. Im Wesentlichen scheinen beide Kurven jedoch in der normierten Form einen sehr ähnlichen Verlauf zu nehmen. Im Hinblick auf das politische Ziel der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis 2020 scheint es daher keine bedeutende Rolle zu spielen, welche der beiden Alternativen, herkömmlicher DMI oder DMI in Rohstoffäquivalenten, zur Berechnung herangezogen wird. In beiden Fällen müssen etwa gleich starke, zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, um das Ziel zu erreichen. Die stärkere Gewichtung der selteneren und zugleich wertvolleren Rohstoffe sowie die Berücksichtigung der indirekten Importe stellt dagegen ein starkes Argument zugunsten des Indikators dar, der die Rohstoffäquivalente einbezieht, so dass er die Grundlage der weiteren Arbeiten darstellen wird.

#### 6.4.1.2 Wege zur Erreichung einer gesteigerten Rohstoffeffizienz

Das von der Bundesregierung angestrebte Ziel der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 wird, wie zu Beginn des Kapitels 6.4.1 dargestellt, bei Fortführung des bisherigen Trends nicht erreicht werden. Um dieses Ziel dennoch zu erreichen sind daher

zusätzliche Anstrengungen notwendig, die im Folgenden identifiziert und charakterisiert werden sollen.

Grundsätzlich existieren verschiedene Ansätze zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität:

- Durch einen effizienteren Rohstoffeinsatz in der Produktion (z. B. weniger Ausschuss) oder beim Produktdesign (Bsp. Leichtbau) kann mit einem gegebenen Input mehr produziert werden oder das gleiche Produktionsvolumen kann mit geringerem Input erreicht werden. Diese Art der Produktivitätssteigerung ist Gegenstand des technischen Fortschritts und findet in einer wettbewerbsgetriebenen, innovativen Volkswirtschaft ständig autonom statt. Sie ist gleichzeitig eine Hauptursache für den trendhaften Anstieg der Rohstoffproduktivität in Abbildung 31.
- Langlebigere Produkte erfordern zwar oft einen gewissen Mehraufwand an Produktionsfaktoren; insbesondere der zusätzliche Rohstoffaufwand ist aber gering im Vergleich zu den Einsparungen, die grundsätzlich aus der geringeren Anzahl von Produkten resultieren, die für die Deckung der Nachfrage notwendig sind. Dass der Produktionswert nicht im gleichen Umfang wie die Menge sinkt, ist vor allem auch auf den höheren Produktions- und Entwicklungsaufwand sowie die Dienstleistungen (Instandhaltung, Reparaturen) zurückzuführen, die notwendig sind, um eine längere Nutzungsdauer sicherzustellen. Insgesamt resultiert aus der Kombination der beschriebenen Effekte eine Steigerung der Rohstoffproduktivität. Allerdings setzt eine längere Nutzungsphase eine entsprechende Akzeptanz der Nutzer voraus, die vor allem in Technikbereichen mit schnellen Innovationsschritten nicht von vorneherein als gegeben angenommen werden kann.<sup>70</sup>
- Eine dritte Möglichkeit zur Steigerung der Rohstoffproduktivität setzt an den Rohstoffentnahmen und Importen an, die den Input für die industrielle Produktion darstellen. Bei Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus lassen sich Produkte in der Nach-Nutzungsphase als Rohstoffquelle für neue Produkte recyceln. Durch diese „sekundären“ Rohstoffe wird der Bedarf nach „primären“ Rohstoffen aus Entnahmen und Importen in entsprechendem Umfang reduziert, ohne dass die Produktion insgesamt nennenswert betroffen wäre.

Aus Sicht der Politik ist das Recycling kurzfristig der erfolgversprechendste Ansatz zur Steigerung der Rohstoffproduktivität, weil eine Reihe von Politikinstrumenten existiert, mit deren Hilfe diesem Ziel gezielt Vorschub geleistet werden kann, und seitens der Verbraucher keine nennenswerten Verhaltensänderungen notwendig sind. Im Vergleich dazu wäre eine Steigerung der Langlebigkeit schwieriger herbeizuführen, weil dazu eine Reihe von Problemen überwunden werden müsste: Wie lassen sich langlebige von weniger langlebigen Produkten unterscheiden (Informationsproblem)? Welchen Einfluss hat Langlebigkeit auf Innovation und Wettbewerbsfähigkeit? Wie und in welchen Bereichen lässt sich die Einstellung der Verbraucher zugunsten der Langlebigkeit verschieben? Vor allem die letzte Frage zielt auf den Bereich der Verhaltensänderung, die nicht nur schwierig und allenfalls längerfristig beeinflussbar ist, sondern zudem politisch schwer zu legitimieren. Die Rohstoffeffizienz in der Produktion nimmt zwischen Recycling und Langlebigkeit insofern eine Mittelposition ein, da

---

<sup>70</sup> Strategien zur Ressourcenschonung, bei denen potenzielle Nutzer auf den Erwerb und die Verwendung ressourcenintensiver Güter verzichten – sog. Suffizienzstrategien – werden in diesem Kontext nicht behandelt, da sie zur Reduktion von Rohstoffeinsatz und Produktion und damit *nicht* zu einer Steigerung der Rohstoffproduktivität führen.

einerseits keine Verhaltensänderungen notwendig sind, andererseits aber weniger spezifische Interventionsmöglichkeiten bestehen. Obwohl oder gerade weil Steigerungen der Rohstoffeffizienz permanent in allen Sektoren der Wirtschaft und auf allen Stufen der Wertschöpfung stattfinden, ist es nicht möglich, genau vorherzusehen, wo solche Innovationen stattfinden. Es können also im Gegensatz zum Recycling kaum spezifische Zielgrößen für bestimmte Wirtschaftssektoren vorgegeben werden. Im Gegensatz zum Recycling erlaubt auch die Anreizsetzung über eine Verteuerung der Rohstoffe keine Differenzierung (wie im Falle primärer gegenüber sekundärer Rohstoffe). Schließlich kommt vor allem eine Förderung der Forschung und Entwicklung in diesem Bereich in Frage. Da diese in einem sehr frühen Stadium des Entwicklungszyklus ansetzt, ist aber auch hier nicht mit allzu kurzfristigen Wirkungen zu rechnen.

Basierend auf der vorangegangenen Diskussion wird für das weitere Vorgehen, insbesondere die Modellierung und die Diskussion der entsprechenden Ergebnisse, folgendes dreistufige Vorgehen vorgeschlagen:

- Kurzfristig, bis zum Jahr 2020, dürfte eine über den Trend hinausgehende Steigerung der Rohstoffproduktivität vor allem durch eine Intensivierung der Recyclingbemühungen, das heißt durch eine Steigerung entsprechender Quoten und eine Ausweitung des Anwendungsspektrums möglich sein. In diesem Bereich liegen detaillierte Daten hinsichtlich der Nachhaltigkeitseffekte, der Kosten und betroffenen Wirtschaftssektoren vor, so dass im folgenden Teilkapitel eine detaillierte Modellierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte möglich ist.
- Mittelfristig, bis zum Jahr 2030, nimmt die Bedeutung zunehmenden Recyclings langsam ab, weil eine weitere Steigerung der Quoten immer aufwändiger wird. Einerseits steigt der Aufwand für solche Verfahren, mit deren Hilfe zusätzliche Anteile von Sekundärrohstoffen aus dem Abfall herausgetrennt werden können. Andererseits verhindern gewisse in einer Volkswirtschaft etablierte die Stoffflüsse betreffende Strukturen die beliebig weitgehende Substitution zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen (vgl. Hochofen- und Elektrostahlroute in der Stahlindustrie; Nill 2005). Im Gegensatz dazu könnte aufgrund des verlängerten Vorlaufs und der geringen Spezifität entsprechender Förderprogramme im Zeitraum 2020 bis 2030 die Bedeutung einer Politik zunehmen, die auf die Steigerung der Rohstoffeffizienz in der Produktion abzielt. In diesem Zeitraum könnte durch geeignete Maßnahmen auch eine Politik an Bedeutung gewinnen, die die durch die Kurzlebigkeit von Produkten verursachte Rohstoffverschwendung zu reduzieren versucht. Detaillierte Daten zu den Kosten und volkswirtschaftlichen Wirkungen einer solchen Politik liegen nicht vor, so dass eine Modellierung nicht möglich ist. Stattdessen erfolgt in diesem Fall eine qualitative Abschätzung der Effekte.
- Langfristig, bis zum Jahr 2050, werden die Trends aus dem Zeitraum 2020 bis 2030 weiter fortgeführt. Dabei wird das Recycling wegen Ausschöpfung des Potenzials weiter an Bedeutung verlieren, wogegen Rohstoffeffizienz in der Produktion und Langlebigkeit der Konsumgüter mit der zu erwartenden weiteren Steigerung der (Primär-) Rohstoffpreise an Bedeutung gewinnen werden.

## 6.4.2 Perspektive 2020: Verdoppelung der Rohstoffproduktivität durch Verstärkung des Recyclings

### 6.4.2.1 Ausweitungs- und Intensivierungspotenzial des Recyclings

Um die volkswirtschaftlichen (Makro-) und die wirtschaftsstrukturellen (Meso-) Effekte einer Steigerung der Rohstoffproduktivität durch verstärktes Recycling modellieren zu können, ist es einerseits notwendig, das Recycling verschiedener Rohstoffe insoweit zu differenzieren als davon verschiedene Wirtschaftszweige betroffen sind. Andererseits kann die Analyse auf solche Wirtschaftszweige bzw. Gruppen von Rohstoffen beschränkt werden, die tatsächlich einen signifikanten Beitrag zur Senkung des Gesamtrohstoffeinsatzes in Rohstoffäquivalenten (d. h. inkl. indirekter Importe) leisten. Zu diesem Zweck wurde für eine größere Zahl von Rohstoffen der Einsatz von Rohstoffäquivalenten oder kumulierte Rohstoffaufwand, wie er auch genannt wird, für Deutschland in einem Jahr (2010) dadurch ermittelt, dass jeweils der in IFEU (2012) aufgeführte spezifische kumulierte Rohstoffaufwand mit dem entsprechenden Jahresverbrauch multipliziert wurde. Die Jahresverbräuche (meist für 2010) stammen aus verschiedenen Quellen (DERA 2011, IFEU 2012); die berechneten kumulierten Rohstoffaufwände für ausgewählte Rohstoffe sind in Tabelle 34 aufgeführt. Auf Basis von Tabelle 34 und der Aufgliederung der deutschen Wirtschaft in Sektoren im Rahmen der Input-Output-Analyse erscheint es sinnvoll, für die nachfolgende Analyse das Recycling folgender Rohstoffgruppen zu unterscheiden: (1) Eisen und Stahl, (2) NE-Metalle sowie (3) Baukies und -sand (Gesteinskörnung), die gut 9 Prozent, rund 16 Prozent bzw. knapp 25 Prozent des deutschen (abiotischen) Rohstoffaufwandes ausmachen. Wichtig für die Auswahl ist außerdem, dass in all diesen Bereichen nennenswerte Potenziale für die Erhöhung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen bestehen.

Tabelle 34: Gegenüberstellung des für ausgewählte Rohstoffe für Deutschland berechneten kumulativen Rohstoffaufwandes und des Rohstoffeinsatzes (DMI) in Rohstoffäquivalenten für relevante Rohstoffgruppen in 2009

Rohstoff/-gruppe	Kumulierter Rohstoffaufwand, berechneta (Mio. t)	DMI in Rohstoff-äquivalenten 2009b (Mio. t)
Eisen / Eisenerz	191	
Gold	58	
Kupfer / Kupfererz	102	
Seltene Erden	50	
Andere NE-Metalle	>143	
Metallische Rohstoffe		568
Baukies / Bausand...	521	
Mineralische Rohstoffe		786
Energieträger		783
Summe		2137

<sup>a</sup> Der kumulierte Rohstoffaufwand berechnet als Produkt aus dem spezifischen kumulierten Rohstoffaufwand (IFEU 2012) und dem Verbrauch in Deutschland in 2010 (DERA 2011, IFEU 2012)

<sup>b</sup> Quelle: Daten des Statistischen Bundesamtes, Umweltökonomische Gesamtrechnungen 2011; in normierter Form (1994=100) Grundlage (Nenner) für die Berechnung des Rohstoffproduktivitätsindikators

#### 6.4.2.2 Umfang und Kosten des zusätzlichen Recyclings

##### Eisen und Stahl

Die Recyclingquote (d. h. *Recycling Input Rate*) für Eisen und Stahl<sup>71</sup> betrug laut DERA (2011) in Deutschland 2010 44 Prozent.<sup>72</sup> Diese Quote hat sich seit Jahren kaum verändert und spiegelt die Struktur der Stahlherstellung, insbesondere die relativ konstante Relation zwischen dem auf der Roheisenherstellung im Hochofen basierenden Oxygenstahlprozess und der Schrottverwertung im Elektrostahlprozess, wider. Das Verhältnis zwischen Oxygenstahl und Elektrostahl ist auch Ausdruck einer internationalen Arbeitsteilung, in der Deutschland sich stärker auf die Produktion von höherwertigen Oxygenstählen spezialisiert hat, wogegen Länder wie die Türkei oder die USA überwiegend Elektrostahl produzieren. Tatsächlich stellen Oxygen- und Elektrostahl bisher keine vollständigen Substitute dar, weil Elektrostahl aufgrund der Heterogenität des Ausgangsmaterials Schrott die Produktion höherer Stahlqualitäten, insbesondere im Bereich der Flachstähle, nicht zuließ. Diese Einschränkung wird durch den technischen Fortschritt aber zunehmend überwunden, so dass auch in Deutschland ein höherer Anteil der Wiederverwertung von Schrott im Elektrostahlprozess möglich erscheint. Wir gehen für die Modellierung von einer sukzessiven Steigerung der Recyclingquote (d. h. *Recycling Input Rate*) auf 70 Prozent bis 2020 aus. Diese Steigerung bedingt eine erhöhte Nachfrage nach Schrott, die ein entsprechendes Angebot voraussetzt. Bei Betrachtung des Schrottangebots ist festzustellen, dass der größte Teil des in Deutschland verfügbaren Schrotts erfasst und entweder in der deutschen Eisen- und Stahlproduktion verwendet oder exportiert wird (WV-Stahl 2010). Kurzfristig wäre eine Steigerung der Recyclingquote also durch Rückgriff auf bisher exportierte Schrottmengen möglich. Für 2008 (das letzte repräsentative Vorkrisenjahr, für das Daten vorliegen) wäre dadurch eine Quote von 64 Prozent erreichbar. Eine weitere Steigerung in begrenztem Umfang wäre außerdem durch zusätzliche Anstrengungen in der Erfassung möglich. Hierbei ist zu bedenken, dass die Menge an Alteisen, die potenziell für das Recycling zur Verfügung steht, in den nächsten Jahren noch ansteigen wird (Jochem et al. 2004). Insgesamt scheint also die Quote von 70 Prozent, wenn auch knapp, erreichbar zu sein. Unter Umständen könnte es sich aber auch als notwendig erweisen, mehr Schrott zu importieren. Die Herkunft des Schrotts hat dabei, wie bereits gezeigt wird, gravierende gesamtwirtschaftliche Auswirkungen.

Mit der Anhebung der Recyclingquote von 44 Prozent auf 70 Prozent werden im Rahmen der vorliegenden Analyse knapp 19 Prozent eines Gesamteinsparpotenzials in Höhe von 266 Mio. t

---

<sup>71</sup> Eisenerz wird in der Rohstoffstatistik getrennt von Eisen und Stahl aufgeführt, spielt hinsichtlich der Recyclingquote aber keine Rolle, da Eisen bzw. Stahl recycelt werden (und nicht das Erz). In der Modellierung wird Eisenerz „automatisch“ über die Vorleistungen für die Eisen- und Stahlherstellung berücksichtigt.

<sup>72</sup> Die Metallhersteller (Eisen/Stahl und NE-Metalle) bezeichnen als Recyclingquote meist den Anteil von Sekundärmetallen an der gesamten Metallproduktionsmenge (im Englischen genauer als *Recycling Input Rate* bezeichnet). Im Gegensatz dazu findet in anderen Bereichen (vor allem im Abfallbereich, aber z. B. auch in der Baubranche) ein Konzept Anwendung, das die aus Abfall stofflich wiederverwertete Menge zur Gesamtmenge des Abfalls in Relation setzt (StaBuA 2012b). Diese Quote wird im Englischen auch als *End-of-Life Recycling Rate* bezeichnet (Vgl. auch Tercero 2012).

kumulierten Rohstoffaufwandes realisiert. Dieser Wert stellt etwas mehr als ein Drittel des kumulierten, abiotischen Rohstoffaufwandes dar, der unter der Annahme eines BIP-Wachstums von 1,2 Prozent p.a. (im BAU-Szenario; vgl. Kap. 4 des 1. Zwischenberichtes) im Jahr 2020 insgesamt eingespart werden muss, um das Ziel der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität zu erreichen. Die Einsparung in Höhe von 266 Mio. t ist außerdem etwas größer als es zur Deckung der Lücke (182,4 gegenüber 200) notwendig wäre, die ohne zusätzliche Maßnahmen im Jahr 2020 mit Blick auf eine Verdoppelung der Rohstoffproduktion voraussichtlich noch verbleiben wird (vgl. Abbildung 31).

Die Kosten des Eisen- und Stahlrecyclings hängen in erster Linie von der Verfügbarkeit und dem Preis von Stahlschrott ab, der aktuell bei etwa 300 EUR/t liegt (EUWID 2012). Dieser Preis ist in zweifacher Hinsicht relevant: Erstens zeigt er in Relation zum durchschnittlichen Stahlpreis (ca. 950 EUR/t; berechnet aus dem in DERA (2011) angegebenen Stahlumsatz und -menge) den gegenwärtigen Anteil der Recyclingbranche an der Wertschöpfung bei der Stahlerzeugung (aus Sekundär-Stahl) an. Zweitens ist es sinnvoll, den Schrottpreis als Basis für die Kostenerhöhung anzunehmen, die durch die Anhebung der Recyclingquote verursacht werden könnte. Für die Szenarienanalyse nehmen wir an, dass zu Beginn etwa 50 Prozent des Schrottpreises an Zusatzkosten anfallen, diese Zusatzkosten durch Lerneffekte aber sukzessive sinken. Dabei fallen die resultierenden Mehrkosten nicht (überwiegend) in der Recyclingbranche an, sondern vor allem bei den Schrottverarbeitern, d. h. den eigentlichen Stahlherstellern, die den (im Vergleich zum Roheisen bzw. -stahl) qualitativ schlechteren Schrott stärker vorbehandeln oder anders verarbeiten müssen, um hochwertigen Stahl daraus zu gewinnen. Wir gehen hier von einer Aufteilung der Zusatzkosten im Verhältnis 20:80 zwischen Schrottlieferanten und (Elektro-)Stahlherstellern aus. Um die Recyclingquote von 44 Prozent auf 70 Prozent zu steigern, müssten von den insgesamt produzierten 43 Mio. t (in 2010 in DE) zusätzlich 11,2 Mio. t auf der Basis von Schrott produziert werden. Diese Menge wird gemäß den von uns getroffenen Annahmen nach linearem Zuwachs beginnend im Jahr 2012 bis zum Jahr 2020 erreicht; gleichzeitig berücksichtigen wir Lerneffekte und eine daraus resultierende Kostendegression in Höhe von jeweils 10 Prozent für jede Verdoppelung des zusätzlichen Recyclingvolumens. Da das Sammeln zusätzlicher Schrottmengen sowie deren Aufbereitung in Zukunft aufwändiger sein werden, beziehen wir diese Kostendegression aber nicht auf die Gesamt-, sondern nur die Zusatzkosten der Schrottverwertung in Höhe von 50 Prozent. Das bedeutet, dass im Jahr 2020 für die Erreichung der Zielquote (70 Prozent) Differenzkosten in Höhe von 35 Prozent des aktuellen Preises der zusätzlich erforderlichen Schrottmenge anfallen würden. Das sind  $(11,2 \text{ Mio. t} \times 300 \text{ EUR/t} \times 0,35 =)$  1,17 Mrd. EUR. Davon fallen bei den Schrottlieferanten annahmegemäß 234 Mio. EUR und bei den Stahlherstellern 936 Mio. EUR an. Die Erhöhung der Sekundärstahlproduktion führt zu einer Reduktion der Nachfrage von Produkten der Stahl- bzw. Eisenproduzenten aus der Hochofenroute hin zu Schrottlieferanten im Umfang von  $(11,2 \text{ Mio. t} \times 300 \text{ EUR/t} =)$  3,36 Mrd. EUR. Solange der zusätzlich benötigte Schrott im Inland erschlossen wird, kommt es zu einer entsprechenden Steigerung der Produktion bei den Sekundärrohstoffherstellern im Inland. Muss der Schrott hingegen importiert werden, so geht der Nachfragerückgang in der Stahlindustrie nicht mit einem entsprechenden Anstieg der Nachfrage bei den Sekundärrohstoffherstellern, sondern bei den Importen einher.

Investitionen nehmen bei allen effizienzsteigernden Maßnahmen und so auch bei der hier betrachteten Steigerung der Rohstoffeffizienz durch verstärktes Recycling eine Sonderstellung ein, da sie wie die Betriebskosten zwar Kosten darstellen, in den Folgeperioden aber zu zusätzlichen Einsparungen und damit zu Produktivitätssteigerungen Anlass geben. Außerdem lassen sich Investitionen technischer Art relativ leicht bestimmten Wirtschaftszweigen zuordnen, in denen sie zu entsprechenden Nachfrageimpulsen führen. Da in den Bereichen

Eisen und Stahl sowie NE-Metalle signifikante zusätzliche Investitionen erforderlich sind, gehen wir in beiden Fällen von einem Anteil der Investitionen an den Zusatzkosten in Höhe von 20 Prozent aus, die den Wirtschaftszweigen Maschinenbau, Herstellung von Büro- und Elektrogeräten (einschließlich Mess-Steuer-Regeltechnik) und Hoch- und Tiefbau im Verhältnis 40:40:20 zugeordnet werden.

### **NE-Metalle**

Im Gegensatz zum Bereich Eisen/Stahl divergieren die aktuellen Recyclingquoten bei den NE-Metallen<sup>73</sup> deutlich. Sie liegen bei „Massenmetallen“ wie Aluminium und Blei schon heute bei 60 Prozent und darüber (DERA 2011), wogegen seltene Metalle wie Tantal, Indium und die Seltenen Erden bisher so gut wie gar nicht recycelt werden (UNEP 2011). In Anlehnung an die in IZT (2011) angegebenen Recyclingpotenziale wurden für das Zieljahr 2020 für alle betrachteten NE-Metalle Zielrecyclingquoten ermittelt, die im Durchschnitt 15 bis 20 Prozentpunkte über den Ausgangsquoten liegen. Die dadurch erreichbare Senkung des kumulierten Rohstoffaufwandes beträgt 91 Mio. t und damit knapp 35 Prozent des Gesamteinsparpotenzials in Höhe von 266 Mio. t.

Der Gesamtwert der durch Recycling einzusparenden primären NE-Metalle liegt unter Zugrundelegung der Preise für aufbereitete (d. h. raffinierte) Metalle bei 5,59 Mrd. EUR. Wie schon im Fall des Eisens gehen wir auch hier davon aus, dass die gesammelten Sekundär-NE-Metalle vor der Verwendung erst noch einer Aufarbeitung bedürfen. Der Wert der Sekundärrohstoffe liegt also unter den Einsparungen für die raffinierten Metalle. Für Kupfer bspw. äußert sich dieser Unterschied darin, dass Kupferschrott am 18.7.2012 je nach Qualität zwischen 5,35 bis 6,05 EUR/kg kostete, während raffiniertes Kupfer mit 7,62 EUR/kg zu Buche schlug (EUWID 2012). Je nach Verunreinigungsgrad kann der Unterschied auch noch größer sein, so dass wir davon ausgehen, dass die Hersteller von NE-Metallen durch das Recycling derzeit zwei Drittel der Kosten des raffinierten Primärrohstoffs einsparen. Der tatsächliche Wert der zusätzlich zu recycelnden NE-Metalle beträgt also 3,73 Mrd. EUR. Darüber hinaus gehen wir für die Ausweitung der Recyclingquoten von Zusatzkosten in Höhe von 50 Prozent aus, die einer Degression um 10 Prozent für jede Verdoppelung der Recyclingkapazität unterliegen. Dadurch steigen hier wie schon in der Eisen- und Stahlherstellung die gesamten Differenzkosten bis zum Jahr 2020 kontinuierlich auf 35 Prozent der aktuellen Primärrohstoffkosten an. Die resultierenden 1,304 Mrd. EUR werden analog zum Fall des Eisen(erze)s von den Herstellern von NE-Metallen und Sekundärrohstoffen getragen. Allerdings ist hier davon auszugehen, dass zwecks Erreichung der Zielquote seitens der Sammlung und des Sortierens noch deutlich umfangreichere Vorarbeiten und Entwicklungen notwendig sind, so dass NE-Metall- und Sekundärrohstoffhersteller die Kosten je zur Hälfte tragen müssen, jeweils also 652 Mio. EUR. Schließlich kommt es zu einer Verschiebung der Nachfrage von (Vor-)Produkten der NE-Metallhersteller hin zu Sekundärrohstofflieferanten im Umfang von 3,73 Mrd. EUR. Im Unterschied zur Eisen- und Stahlproduktion gehen wir bei den NE-Metallen davon aus, dass die zur Steigerung der Recyclingquote erforderlichen Mengen von Sekundär-NE-Metallen im Inland gewonnen werden können und kein zusätzlicher Import notwendig ist (vgl. Hagelücken 2010).

---

<sup>73</sup> In der vorliegenden Analyse bezeichnet der Begriff NE-Metalle alle metallischen Rohstoffe mit Ausnahme von Eisen(erz) und Stahl, d. h. er schließt auch Edel- und Legierungsmetalle mit ein.

### **Baukies und -sand (Gesteinskörnung)**

In Kapitel 6.4.1 wurde die Aussage des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2011) angeführt, wonach heute bereits 80 Prozent des Bauschutts und Straßenaufbruchs im Straßen- und Landschaftsbau wiederverwertet würden. Tatsächlich handelt es sich bei dieser Verwendung nicht um Recycling, sondern um Downcycling; es wird damit verhindert, dass der Schutt als Abfall deklariert und auf einer Deponie teuer entsorgt werden muss. Wirkliches Recycling würde darin bestehen, Bauschutt und Straßenaufbruch als Ersatz für Bausand und -kies (d. h. als Gesteinskörnung, z. B. als Zuschlag in Beton) im Neubau zu verwenden. Laut FÖS (2012) stammten in 2008 11,5 Prozent (= 66,6 Mio. t) der verwendeten Gesteinskörnung aus Recyclingmaterial (d. h. aus Bauabfällen und Straßenaufbruch). Der gleichen Studie (FÖS 2012) zufolge wäre in Deutschland heute schon ein Anteil von bis zu 32 Prozent möglich, ohne dass gesetzliche Regelungen (insbesondere bzgl. Ausschreibungsvorschriften und einzuhaltender Normen) geändert werden müssten. Das entspräche einer potenziellen Reduktion des Primär Materialeinsatzes um 120 Mio. t pro Jahr bzw. einer Reduktion des kumulativen Rohstoffaufwandes um 125 Mio. t, das sind 47 Prozent des gesamten Einsparpotenzials.

In Großbritannien wird heute schon ein Sekundärrohstoffanteil von 25 Prozent erreicht. Auch wenn hierbei unterschiedliche Treiber eine Rolle spielen, besteht doch Übereinstimmung darin, dass der Erhebung einer Steuer in Höhe von 2 GBP (= 2,50 EUR) pro Tonne (primärem) Kies, Sand oder Natursteine eine wichtige Rolle zukommt (Söderholm 2011; FÖS 2012). Das deutet darauf hin, dass die Zusatzkosten der Nutzung entsprechenden Sekundärmaterials geringer sind als diese Steuer. Bei einem Durchschnittspreis von rund 10 EUR/t für Sand und Kies wurde daher ein Aufpreis von 2 EUR/t angenommen, um die Mehrkosten für die Verwendung von Sekundärmaterial auszugleichen. Für die Berechnung der Differenzkosten werden auch in diesem Fall wieder Lerneffekte (mit einer Kostenreduktion um 10 Prozent pro Kapazitätsverdoppelung) unterstellt. Daraus resultiert bei vollständiger Umsetzung der Quote im Jahr 2020 ein Differenzkostenzuschlag von ca. 14 Prozent (von 10 EUR/t). Das entspricht bei Anhebung der Quote von 11,5 auf 32 Prozent entsprechend einer Menge von 120 Mio. t pro Jahr Gesamtdifferenzkosten in Höhe von 168 Mio. EUR.

Was die Betroffenheit einzelner Wirtschaftszweige angeht, so büßt der Liefersektor des Primärmaterials (Gewinnung von Steinen und Erden) zunächst 1,2 Mrd. EUR an Umsatz ein. Die Herstellung der Gesteinskörnung (= sekundärer Betonzuschlag) erfolgt durch entsprechendes Brechen von Beton- und Gesteinsabfällen, d. h. im gleichen Wirtschaftszweig aus dem das Primärmaterial stammte (oder zumindest in einem Wirtschaftszweig, der diesem hinsichtlich seiner Liefer- und Verfahrensstruktur stark ähnelt). Die Kosten dafür dürften sich bei etwa der Hälfte der Kosten für die Gewinnung des Primärmaterials bewegen, d. h. 600 Mio. EUR, was für diesen Wirtschaftszweig immer noch einer Einbuße in der gleichen Höhe entspricht. Der Rest, die verbleibenden 600 Mio. EUR plus den Differenzkosten in Höhe von 168 Mio. EUR, dürfte in den Abriss oder Rückbau von Gebäuden oder Straßen sowie den Transport zur Aufbereitung fließen, der durch den Wirtschaftszweig „Vorbereitende Baustellenarbeiten, Hoch- und Tiefbau“ erfolgt. Der Transport von der Gewinnung bzw. Herstellung bis zur Baustelle dürfte für primäre und sekundäre Baustoffe der gleiche sein. Die Hersteller von Sekundärrohstoffen spielen in diesem Fall keine Rolle, da sie sich nur mit dem Recycling von Metallen, Kunststoffen, Papier, Glas u. a. befassen.

Eine gesonderte Berücksichtigung von Investitionen findet in diesem Fall nicht statt, da die Investitionen im Vergleich zu den die metallischen Rohstoffe betreffenden Fällen gering wären und die zusätzlichen Investitionen im Baubereich Investitionen ähnlicher Größenordnung bei der Gewinnung von Steinen und Erden substituieren würden.

Tabelle 35: Beitrag relevanter Rohstoffgruppen zur angestrebten Reduktion des kumulierten Rohstoffaufwandes im Jahr 2020, einschließlich Wert der Rohstoffe und Kosten des zusätzlichen Recyclings

Rohstoffgruppe	Eingesparter kumulierter Rohstoffaufwand (Mio. t/Jahr)	Anteil an Gesamteinsparung des kum. Rohstoffaufwandes ( Prozent)	Wert der substituierten Primärrohstoffe (Mio. EUR/Jahr)	Differenzkosten des Recyclings* (Mio. EUR/Jahr)
Eisen/Stahl	50	18,8	3360	1170
NE-Metalle	91	34,2	3730	1304
Baukies/-sand (Gesteinskörnung)	125	47,0	1200	168
Insgesamt	266	100,0	8290	2642
Zum Vergleich: Kunststoff	0,8	0,3	220	22

\* unter der Annahme, dass zur Erreichung der Quote kein Sekundärmaterial zusätzlich importiert werden muss.

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

## Kunststoff

Das Kunststoffrecycling spielt in Deutschland im Rahmen des Recyclings von Hausmüll, insbesondere Verpackungen (insbes. Duales System Deutschland, „Grüner Punkt“) seit Jahrzehnten eine herausragende Rolle. Daher stellt sich die Frage, welchen Beitrag eine Ausweitung des Kunststoffrecyclings für die Erreichung des Ziels der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität leisten könnte. Gegenwärtig (2010) werden in Deutschland pro Jahr etwa zwei Mio. t Kunststoffe verbraucht, bei einer Recyclingquote von etwa 43 Prozent. Würde bis 2020 eine Anhebung dieser Quote auf 65 Prozent erreicht, so würden pro Jahr weitere 440.000 t Kunststoff aus Primärrohstoffen eingespart, entsprechend 0,78 Mio. t kumulierten Rohstoffaufwandes. Das bedeutet, dass mit dieser Maßnahme ein Beitrag von allenfalls 0,3 Prozent zum oben genannten Ziel geleistet werden könnte.

Die Kosten des Kunststoffrecyclings würden sich unter den teilweise auch für Eisen und Nichteisenmetallen getroffenen Annahmen (50 Prozent Kostenaufschlag und 10 Prozent Degression, allerdings auf die gesamten Kosten!) unter Zugrundelegung eines Preises für Kunststoffrecyclat von, je nach Qualität, 200 bis 800 EUR/t, durchschnittlich also 500 EUR/t, auf 50 EUR/t und insgesamt 22 Mio. EUR belaufen. Trotz dieser relativ geringen Gesamtdifferenzkosten ist das im Vergleich zur Gesteinskörnung teuer, da dort für das 8-fache der Differenzkosten eine gut 150-fache Wirkung hinsichtlich des kumulierten Rohstoffaufwandes erzielt wird. Die spezifischen Kosten des Kunststoffrecyclings liegen mit 28 EUR pro Tonne kumulierten Rohstoffaufwandes also zwanzigmal höher als die der Gesteinskörnung (1,35 EUR/t). Auch Eisen/Stahl und NE-Metalle sind mit 23,50 bzw. 14,30 EUR/t noch deutlich kostengünstiger als das Kunststoffrecycling. Das Kunststoffrecycling wird daher aufgrund der relativ hohen (spezifischen) Kosten und der insgesamt geringen Wirksamkeit in der Modellierung nicht berücksichtigt.

### 6.4.2.3 Gesamtwirtschaftliche Effekte

#### **Inlandsproduktion und Wertschöpfung**

Grundsätzlich wäre zu erwarten, dass sich die zusätzlichen Kosten, die zumindest vorübergehend für die Erhöhung der Recyclingquoten aufzuwenden sind, in höheren Preisen für die entsprechenden Sekundärrohstoffe niederschlagen oder, falls eine Überwälzung der Kosten nicht möglich ist, die Gewinne und/oder die Entlohnung in den betroffenen Unternehmen in entsprechendem Umfang sinken. In beiden Fällen würden auf der Ebene der deutschen Volkswirtschaft im gleichen Umfang die Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen anderer Wirtschaftszweige eingeschränkt. Gleiches würde auch dann gelten, wenn die Zusatzkosten vom Staat subventioniert würden, weil dies zulasten der Staatsnachfrage oder über die Erhebung zusätzlicher Steuern wieder zulasten der privaten Nachfrage ginge. Bei der Berechnung der Effekte mit dem Modell wurde daher davon ausgegangen, dass die Netto-Mehrkosten, die bei der Steigerung des Recyclinganteils anfallen, durch eine Reduktion der Nachfrage Privater kompensiert werden. Es wird eine auf den Kreislaufzusammenhängen beruhende Kaufkraftkompensation angenommen, so dass die Summe der positiven Nachfrageimpulse, die mit der Steigerung der Sekundärproduktion der Rohstoffe verbunden sind, der Summe der negativen Nachfrageimpulse entspricht, die durch die verringerte Produktion der Primärrohstoffe ausgelöst wird. Diese Vorgehensweise ergibt insofern eine konservative Abschätzung, als sie von einem crowding out zusätzlicher Nachfrageimpulse ausgeht und keynesianische Effekte wie die Vornahme von Investitionen in einer Nachfragerücke nicht berücksichtigt (vgl. Walz und Schleich 2009 sowie Walz 2011).

Im Gegensatz dazu zeigt die Analyse der gesamtwirtschaftlichen Effekte mit Hilfe der Input-Output-Analyse, dass die Inlandsproduktion zumindest unter der Annahme der Sekundärrohstoffgewinnung im Inland erheblich wächst. Wie in Tabelle 36 dargestellt, wären die Werte für die Inlandsproduktion in allen Teilbereichen verstärkten Recyclings unter dieser Bedingung deutlich positiv. Die Ursache für diese Wirkung besteht in dem gleichfalls zu verzeichnenden Rückgang der Importe, der vor allem in den Bereichen Eisen/Stahl und NE-Metalle darauf zurückzuführen ist, dass in großem Umfang (mehr als 30 Prozent) importierte Primärrohstoffe durch im Inland produzierte Sekundärrohstoffe ersetzt werden. Während der zuletzt genannte Effekt beim Recycling von Gesteinskörnung (Baukies und -sand) weniger ausgeprägt ist, kommt in allen Bereichen außerdem zum Tragen, dass die zusätzliche Nachfrage in den das Recycling durchführenden Wirtschaftszweigen private Konsumnachfrage einschließlich der darin enthaltenen Importe verdrängt. Mit Ausnahme einer leichten Unterdeckung im Bereich Eisen/Stahl ist der Anstieg der Inlandsproduktion in allen Bereichen deutlich größer als die Differenzkosten (vgl. Tabelle 35). Augenscheinlich ist (unter dieser Bedingung) in allen drei Bereichen auch die Steigerung der Wertschöpfung, so dass sich die eingangs dargestellte Befürchtung, die Verstärkung der Recyclingbemühungen ginge zwangsläufig in größerem Umfang zulasten des privaten Konsums, bei Verzicht auf den Import von Sekundärrohstoffen als gegenstandslos erweist.

Tabelle 36: Veränderungen von Produktion, Wertschöpfung, Importen und Beschäftigung als Reaktion auf die Steigerung der Rohstoffproduktivität durch verstärktes Recycling (Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen)

Rohstoffgruppe	Inlandsproduktion (Mio. EUR)	Bruttowertschöpfung (Mio. EUR)	Importe gesamt (Mio. EUR)	Erwerbstätige (Anzahl)
Eisen/Stahl (mit Berücksichtigung des „Reimports“ von 80 Prozent Schrott)	-4.243	-1.028	1.036	-14.151
NE-Metalle	3.300	1.605	-1.812	23.947
Baukies/-sand (Gesteinskörnung)	223	102	-97	5.132
Summe	-720	679	-873	14.928
Eisen/Stahl ohne Schrottimport	760	716	-877	12.773

Allerdings ist es, wie oben dargestellt, unklar, in welchem Umfang die Steigerung der Recyclingquote im Bereich Eisen/Stahl durch die zusätzliche Schrotterfassung in Deutschland dargestellt werden kann. 80 Prozent der Steigerung könnten dadurch herbeigeführt werden, dass auf den derzeit stattfindenden Export von in Deutschland anfallendem Schrott verzichtet würde. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht müsste auch in diesem Fall der Schrott nicht importiert werden, aber es würde in gleichem Umfang der Export reduziert. Die Hersteller von Sekundärrohstoffen würden gleichzeitig nicht mehr umsetzen (wie im eingangs dargestellten Fall), sondern ihre Produkte lediglich anderen Kunden (im Inland statt im Ausland) verkaufen. Es würde an dieser Stelle also kein zusätzlicher Nachfrageimpuls entstehen. Der negative Impuls seitens der Eisen- und Stahlhersteller würde hingegen nach wie vor auftreten, weil diese im Zuge der Steigerung der Recyclingquote weniger Primäreisen verkaufen könnten. Insgesamt kann festgestellt werden, dass in der Logik der Input-Output-Analyse der Verzicht auf den aktuell stattfindenden Export von Sekundärrohstoffen mit einem (Re-)Import gleichzusetzen ist. Da der Export gegenwärtig (2008) 80 Prozent des zusätzlich benötigten Schrotts ausmacht, gehen wir in der zusammenfassenden Darstellung (in Tabelle 36) daher für die Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Wirkung von einem (Re-)Importanteil von 80 Prozent aus.

Die Zusammenfassung der Ergebnisse in Tabelle 36 deutet darauf hin, dass unter diesen Bedingungen ein Großteil der vorteilhaften Effekte in den Bereichen NE-Metalle und Baukies/-sand (Gesteinskörnung) durch den inländischen Schrottmangel und die daraus resultierende Notwendigkeit des „Reimports“ von Eisenschrott zunichte gemacht würde. Die Veränderung der Inlandsproduktion in allen Bereichen zusammen ist nun negativ. Immerhin nehmen die Importe in der Summe immer noch ab. Hier wird die Entwicklung bei Eisen und Stahl durch die anderen Bereiche überkompensiert.

### **Beschäftigungseffekte - aggregiert und nach Wirtschaftszweigen differenziert**

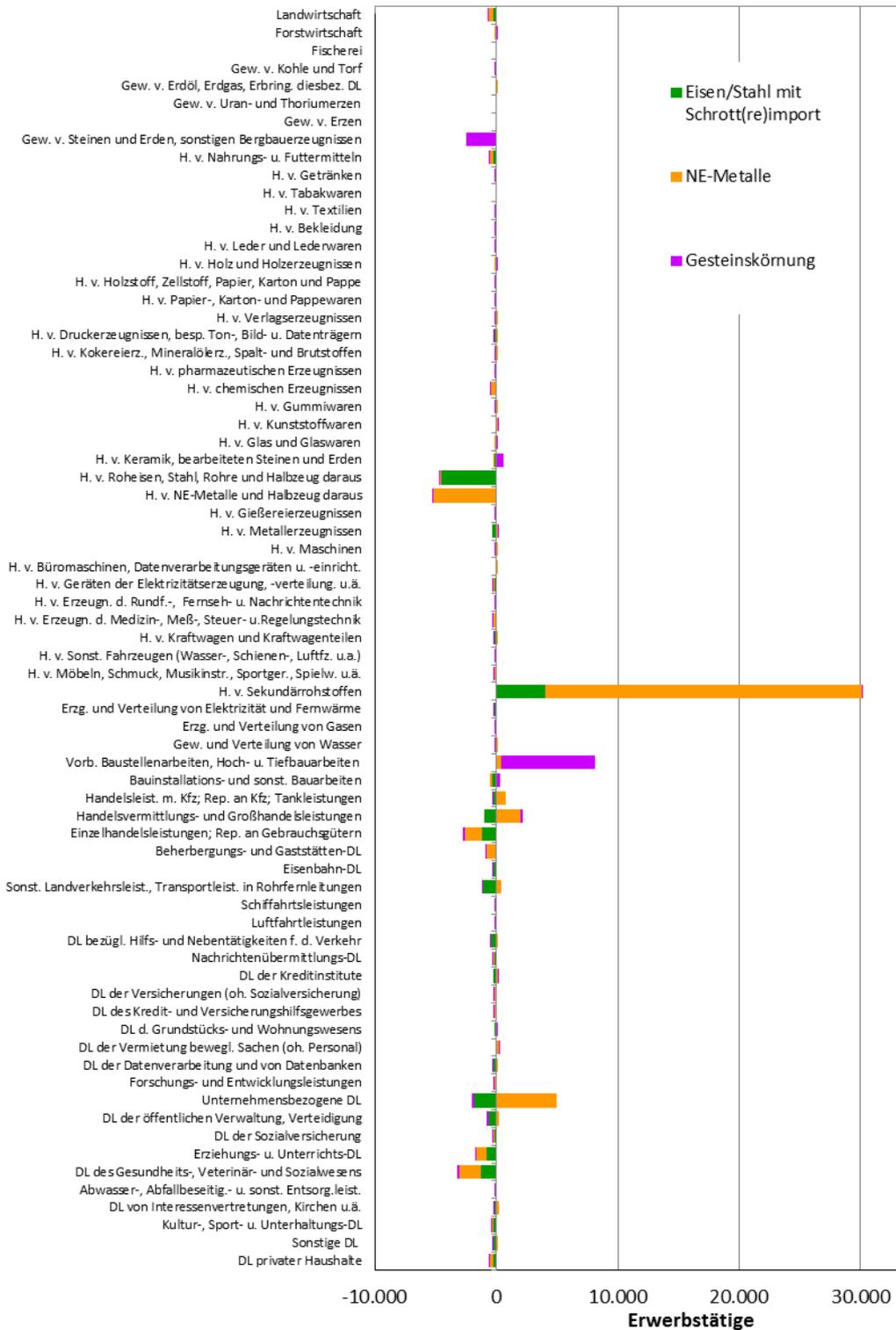
Wie aus Tabelle 36 hervorgeht, hat die Steigerung der Recyclinganstrengungen mit dem Ziel einer Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis 2020 in allen betroffenen Bereichen eine Veränderung der Anzahl der Erwerbstätigen zur Folge. Hierbei spielen in der Nettobetrachtung auch unterschiedliche Arbeitsproduktivitäten eine Rolle. Die Wertschöpfung pro Erwerbstätigen entspricht dabei für die Bereiche Eisen/Stahl und NE-Metalle in etwa dem Durchschnitt

der gesamten Wirtschaft (ca. 55.000 EUR), wogegen diese Kennziffer für den Bereich Baukies/-sand deutlich niedriger liegt (20.000 EUR).

Werden die Beschäftigungseffekte der verstärkten Recyclinganstrengungen auf einzelne Wirtschaftszweige herunter gebrochen, so sind aufgrund der gegenseitigen Verflechtung in allen 71 Wirtschaftszweigen zumindest geringe Schwankungen der Beschäftigung festzustellen. Größere Veränderungen mit Zu- oder Abnahmen um mehr als 1.000 Beschäftigte sind dagegen, wie aus Abbildung 32 ersichtlich, nur bei einer kleinen Zahl von Wirtschaftszweigen festzustellen. Am markantesten ist die Beschäftigungszunahme (+30.100) im Wirtschaftszweig „Herstellung von Sekundärrohstoffen“, die unmittelbar mit Rückgängen in den Wirtschaftszweigen „Herstellung von Roheisen, Stahl ...“ (-4.550) und „Herstellung von NE-Metallen ...“ (-5.150) im Zusammenhang steht. Von der Zunahme um 30.000 entfallen nur 4.000 auf die Steigerung der Recyclingquote bei Eisen/Stahl; ohne den (Re-)Importanteil von 80 Prozent würde der Beschäftigungszuwachs dort 22.300 betragen haben. Hinzu kommen als direkte Wirkung der gesteigerten Recyclingaktivitäten im Bereich der NE-Metalle positive Beschäftigungswirkungen bei den „Handelsvermittlungs- und Großhandelsleistungen“ (+2.000) und „Unternehmensbezogene Dienstleistungen“ (+4.950), die durch den negativen Einfluss der „Reimporte“ bei Eisen/Stahl um 1.000 bzw. 1.900 gemindert werden. Im Kontext des verstärkten Recyclings von Gesteinskörnung (Baukies und -sand) profitiert der Wirtschaftszweig „Vorbereitende Baustellenarbeiten, Hoch- u. Tiefbauarbeiten“ (+7.700) am deutlichsten, während die „Gewinnung von Steinen und Erden ...“ (-2.400) als Folge deutliche Einbußen verzeichnet. Hinzu kommen weitere geringere Beschäftigungsverluste (-9.300) bei verschiedenen Dienstleistungssektoren („Einzelhandelsleistungen; Reparatur an Gebrauchsgütern“, „Erziehungs- u. Unterrichts-DL“ und „DL des Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesens“), die auf den mit der Verteuerung der (Sekundär-) Rohstoffe einhergehenden, leichten Rückgang des privaten Konsums zurückzuführen sein dürfte.

Die moderate Veränderung in der Nettobeschäftigung darf nicht darüber hinweg täuschen, dass die Strategien ganz erhebliche Anpassungsleistungen der Arbeitsmärkte erfordern. Ein Indiz hierfür sind die Brutto-Beschäftigungswirkungen, d. h. der Betrag der Summen der zusätzlich erforderlich werdenden und der wegfallenden Arbeitsplätze. Für die drei Recyclingstrategien zusammen – für Stahl wurde wieder die 80 Prozent Importvariante angenommen – summieren sich diese Arbeitsplatzwechsel auf gut 130 000. Würde der zusätzliche Schrott hingegen zu 100 Prozent zusätzlich im Inland gesammelt, wären es sogar in etwa 165 000 Arbeitsplatzwechsel im Inland.

Abbildung 32: Beschäftigungswirkung der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis 2020 nach Wirtschaftszweigen differenziert



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

### Vergleich der Recyclingstrategien mit Hilfe einer Komponentenzerlegung

Zur Auswertung der Effekte und zum Vergleich zwischen den Recyclingstrategien wurden die gesamten Beschäftigungswirkungen jeweils den auslösenden positiven und negativen ökonomischen Impulsen, d. h. also den Nachfrageverschiebungen, sowie den dadurch über die gesamte Wertschöpfungskette ausgelösten Folgewirkungen zugeordnet. Gleichzeitig wurden die Beschäftigungseffekte der positiven und negativen Impulse in drei getrennt interpretierbare Komponenten zerlegt:

- Der Produktionsmultiplikator gibt an, in welchem Umfang ein ausgelöster Impuls durch den Bezug notwendiger Vorleistungen über alle vorgelagerten Produktionsstufen zur Produktionssteigerung beiträgt. Je höher der Produktionsmultiplikator ist, desto höher sind die ausgelösten Produktionseffekte eines Impulses.
- Der Importanteil gibt an, welcher Anteil der durch einen Impuls ausgelösten Gesamtproduktion auf Importe entfällt. Je höher der Importanteil ist, desto geringer ist der Anteil, der auf die Inlandsproduktion entfällt und damit im Inland beschäftigungswirksam wird.
- Die durchschnittliche Beschäftigungsintensität gibt an, wie viele Personen pro Million Euro inländischer Produktion, die aus dem Impuls resultiert, beschäftigt werden.

Bei den NE-Metallen und Kies liegt der Produktionsmultiplikator der positiven Impulse jeweils geringfügig über dem für die negativen Impulse. D. h. die positiven Impulse wirken sich stärker positiv aus als die negativen negativ. Von der Größenordnung her liegt der Produktionsmultiplikator um den Wert 2, d. h. die berechnete (zusätzliche) Güterproduktion übersteigt den Ausgangsimpuls jeweils in etwa um das Doppelte. Bei Eisen und Stahl trifft dies auch für die Variante mit 0 Prozent Schrottimport zu. Allerdings ändert sich die Situation hier grundlegend für die positiven Impulse. Bei den Schrottimporten fallen die Vorleistungen im Ausland an, so dass hier der Produktionsmultiplikator deutlich kleiner wird und im Fall eines 80-prozentigen Schrottimports auf den Wert von 1,5 absinkt.

Tabelle 37 zeigt auf, dass es in allen vier betrachteten Fallbeispielen eindeutig zu einer Steigerung der Arbeitsintensität kommt. Die Sektorstruktureffekte zugunsten von Branchen mit geringerer Arbeitsproduktivität sind damit deutlich ausgeprägt. Gleichzeitig bewirken die Recyclingstrategien eine deutliche Reduktion der Importe, wenn die zusätzlichen benötigten Sekundärrohstoffe auch durch zusätzliche Recyclingaktivitäten im Inland bereitgestellt werden. Kommt es aber zu einem Import der Sekundärrohstoffe, dreht sich dieser Effekt um.

Tabelle 37: Arbeitsintensitäten und Importquoten der Wertschöpfungsketten für die Recyclingstrategien

Rohstoffgruppe	Arbeitsintensität (Anzahl AN / Mio. EUR)		Importquote (Prozent)	
	negativ	positiv	negativ	positiv
Eisen/Stahl (0 Prozent Schrottimport)	3,5	4,6	24	12
Eisen/Stahl (80 Prozent Schrottimport)	3,4	3,9	24	52
NE-Metalle	3,8	4,8	30	11
Baukies/-sand (Gesteinskörnung)	5,3	7,0	14	7

#### 6.4.2.4 Fazit

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis 2020 durch eine Verstärkung des Recyclings in den Bereichen metallische Rohstoffe und Baukies und -sand mit Differenz-, d. h. Zusatzkosten, verbunden sind, die bis zum Jahr 2020 auf jährlich 2,64 Mrd. EUR ansteigen, um danach allmählich wieder zu sinken. Diese Differenzkostenabschätzung beruht auf den Primärrohstoffpreisen von 2010. Sollten diese Preise in Zukunft ansteigen, wovon mit hoher Wahrscheinlichkeit auszugehen ist, werden die Differenzkosten entsprechend weniger stark ansteigen, das für 2020 erwartete Maximum deutlich unterschreiten und von diesem niedrigeren Niveau schneller wieder sinken.

Wenn die für die Steigerung der Recyclingquote erforderlichen Sekundärrohstoffe im Inland produziert werden könnten, wären die Auswirkungen dieser Kosten auf die Wirtschaft insgesamt schon ohne die Berücksichtigung steigender Primärrohstoffpreise relativ gering, da die Wertschöpfung fast im gleichen Umfang stiege wie die Differenzkosten. Dadurch würden aufgrund der Kosten zu erwartende Einbußen weitgehend ausgeglichen. Werden darüber hinaus für die Zukunft noch steigende Primärrohstoffpreise in Rechnung gestellt, so würden die Differenzkosten noch geringer ausfallen und die Wertschöpfung höher. Zu beachten ist dabei aber, dass diese günstige volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz nur dann zustande kommt, wenn die Sekundärrohstoffe überwiegend im Inland bereitgestellt werden (d. h. keine signifikanten Nettoimporte stattfinden), wogegen die Primärrohstoffe grobenteils importiert werden. Tatsächlich dürfte es sich zwecks Erreichung der angestrebten Steigerung der Recyclingquoten zumindest bei Eisen und Stahl als notwendig erweisen, Sekundärrohstoffe (z. B. Schrott) in nennenswertem Umfang zu importieren. In diesem Fall geht der entsprechende Teil der Wertschöpfung verloren und die Kosten des Recyclings kommen auch volkswirtschaftlich stärker (d. h. negativ) zum Tragen.

Besonders positiv stellt sich die Beschäftigungsbilanz der verstärkten Recyclinganstrengungen dar: Ohne Importe von Sekundärrohstoffen entstünden über 40.000 zusätzliche Arbeitsplätze und selbst unter Einbeziehung von 80 Prozent Schrottimporten bei Eisen/Stahl sind es immer noch knapp 15.000. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Teil dieses Effekts auf die geringere Produktivität (und damit die geringeren Löhne) in den profitierenden Wirtschaftszweigen zurückzuführen ist. Tatsächlich ist davon auszugehen, dass im Zuge der Steigerung der Rohstoffproduktivität bspw. auch bei der Herstellung von Sekundärrohstoffen dem technischen Fortschritt zunehmende Bedeutung zukommen wird, wodurch die Arbeitsproduktivität und Löhne stiegen und die Anzahl der zusätzlich Beschäftigten sank.

Insgesamt zeigt die Analyse deutlich, dass die grundsätzlich möglichen positiven gesamtwirtschaftlichen Wirkungen verstärkter Recyclinganstrengungen an die Bedingung gebunden sind, dass die zu recycelnden Abfälle bzw. die daraus herzustellenden Sekundärrohstoffe vorwiegend aus dem Inland stammen.

#### 6.4.3 Perspektive 2030: Verdreifachung der Rohstoffproduktivität durch Steigerung des Rohstoffeffizienz in der Produktion

Wenn es gelingen sollte, die Rohstoffproduktivität mittels der in Kapitel 6.4.2 dargestellten Recyclingansätze bis zum Jahr 2020 zu verdoppeln, dann ist davon auszugehen, dass mittelfristig, bis zum Jahr 2030, die Bedeutung einer weiteren Intensivierung des Recyclings

langsam abnehmen wird. Ursache dafür ist, dass eine weitere Steigerung der Quoten immer aufwändiger wird.<sup>74</sup> Einerseits steigt der Aufwand für solche Verfahren, mit deren Hilfe zusätzliche Anteile von Sekundärrohstoffen aus dem Abfall herausgetrennt werden können, überproportional. Andererseits verhindern gewisse in einer Volkswirtschaft etablierte Strukturen, dass Stoffflüsse beliebig verändert werden können. Wenn also das verstärkte Recycling auf immer stärkere Hindernisse trifft, ist es umso wichtiger, frühzeitig auch die Voraussetzungen dafür zu schaffen, die Verwendung der nunmehr vorwiegend sekundären Rohstoffe effizienter zu gestalten. Das heißt, die gleiche Menge von Gütern wird mit geringerem Rohstoffeinsatz hergestellt. In Übereinstimmung mit den Überlegungen im vorangegangenen Kapitel wären dabei die produzierten Güter monetär zu bewerten, wogegen für den Input der kumulierte Rohstoffaufwand relevant sein sollte.

Natürlich sind Unternehmen, die miteinander in Konkurrenz stehen, grundsätzlich bestrebt, die Kosten zu senken und den Aufwand nicht zuletzt im Bereich der Rohstoffverwendung so gering wie möglich zu halten. Die Grundlage für solche Effizienzsteigerungen sind aber technische Neuerungen, die Investitionen in Forschung und Entwicklung und entsprechendes Humankapital voraussetzen. Beides ist aber insbesondere bei kleineren Unternehmen nur in begrenztem Umfang vorhanden, weshalb die Steigerung der Effizienz langsamer von Statten geht als es grundsätzlich möglich und aus volkswirtschaftlicher Sicht auch sinnvoll wäre. Für alle Unternehmen kann an dieser Stelle auch das Argument des Wissens-Spillover aufgeführt werden, wonach das forschende Unternehmen zwar den gesamten Aufwand für die Effizienzsteigerung tragen muss, in vielen Fällen vor allem längerfristig aber nur einen Teil des Vorteils für sich nutzbar machen kann. Daher erscheint es unter diesen Umständen gerechtfertigt, das Instrument der Forschungs- und Entwicklungsförderung zum Einsatz zu bringen. Im Bereich der effizienten Rohstoffnutzung in der Produktion besteht in diesem Zusammenhang eine besondere Herausforderung darin, dass entsprechende Förderprogramme einen langen Vorlauf und eine geringe Spezifität aufweisen. Mit Blick auf das Ziel der Steigerung der Rohstoffproduktivität ist dies ein Grund mehr, diesen Ansatz zur Effizienzsteigerung in der Produktion einer mittelfristigen Perspektive – dem Zeitraum 2020 bis 2030 – zuzuordnen.

Wegen des Fehlens entsprechender Vorarbeiten und notwendiger Inputdaten kann die Analyse dieses Ansatzes im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht quantitativ mit Modellanalysen erfolgen, sondern qualitativ deskriptiv. Hintergrund hierfür bilden die unterschiedlichen Wirkungsmechanismen, die bei der Untersuchung der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der Energieeffizienz betrachtet und auch zur Strukturierung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Materialeffizienz herangezogen werden (vgl. Jochem et al. 2004, Walz und Schleich 2009 sowie Walz 2011). Hierbei werden Kosten und Preiseffekte, Nachfrageeffekte sowie Innovationseffekte unterschieden.

#### 6.4.3.1 Kosten der Effizienzsteigerung in der Produktion

Die Kosten der Effizienzsteigerung sind ein wichtiger Wirkungsmechanismus. Aus Untersuchungen aus den Bereichen der Energieeffizienz (Doll et al. 2008; Jochem et al. 2008) und der Rohstoffeffizienz (Walz 2011) ist bekannt, dass es eine Vielzahl von Maßnahmen zur

---

<sup>74</sup> In den Bereichen, in denen die Recyclingquote als *Input Recycling Rate* definiert ist, und dort vor allem im Bereich NE-Metalle bestünde eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Quote darin, den Anstieg des Rohstoffverbrauchs zu verlangsamen. Dadurch würde der relative Anteil des aus der Nutzungsphase zurückfließenden Sekundärmaterials automatisch ansteigen.

Umsetzung entsprechender Potenziale gibt und dass sich ein Großteil dieser Maßnahmen innerhalb kurzer Zeit (oft weniger als ein Jahr) wirtschaftlich rechnen. Grundsätzlich handelt es sich hierbei ähnlich wie bei dem in Kapitel 6.4.2 behandelten Ansatz verstärkter Recyclinganstrengungen um ein Investitionsproblem mit dem wichtigen Unterschied, dass die Payback-Zeiten erheblich kürzer sind. Sie sind in vielen Fällen so kurz, dass sie sich schon für Unternehmen mit ihren hohen Profitabilitätsansprüchen (d. h. geforderten Renditen in Höhe von 8 oder 10 Prozent) lohnen. Das heißt, dass im Gegensatz zu Maßnahmen zur Steigerung der Recyclingquoten, die entsprechend der im vorigen Kapitel angetroffenen Annahmen zu Mehrkosten führen, Maßnahmen zur Steigerung der Rohstoffeffizienz in der Produktion im ureigenen Interesse der Unternehmen liegen. Allerdings gibt es eine Reihe von Hindernissen, insbesondere die Begrenztheit von Finanzierungsmöglichkeiten und des Knowhows, die dazu führen, dass diese Maßnahmen von den betroffenen Unternehmen doch nicht ergriffen werden oder zumindest seltener bzw. später als eigentlich möglich. Entsprechend könnten Informations- und Beratungsprogramme einen Ansatz darstellen, diese Hemmnisse abzumildern (Meyer et al. 2007). Gleichzeitig ist bekannt, dass Projekte zur staatlichen Förderung von Forschung und Entwicklung dazu führen, dass die staatlichen Fördersummen für die unterstützten Unternehmen einen Anreiz darstellen, selbst noch einmal ein Mehrfaches der Fördersumme zusätzlich zu investieren (vgl. Heinzl 2010).

Bei der Analyse der makroökonomischen Wirkungen der Energieeffizienz spielen die Double Dividend Effekte eine große Rolle. Sie können auftreten, wenn das Steueraufkommen aus einer Energiesteuer zur Reduktion anderer, sehr verzerrend wirkender Abgaben verwendet wird. Entsprechend werden die Einnahmen aus der deutschen Ökosteuer zur Reduktion der Sozialabgaben verwendet. Im Ressourcenbereich dient die oben erwähnte Ressourcensteuer in Großbritannien auch dazu, die Beiträge der Arbeitgeber zur Arbeitslosenversicherung zu reduzieren (Söderholm 2011). Allerdings setzt ein derartiger Wirkungsmechanismus voraus, dass es tatsächlich zur Einführung einer entsprechenden Steuer kommt. Sie ist bisher noch nicht im Maßnahmenplan der Bundesregierung zur Ressourceneffizienzsteigerung (ProgRes) enthalten.

Festzuhalten bleibt, dass von der Steigerung der Rohstoffeffizienz in der Produktion aller Voraussicht nach keine Kostenschübe und damit verbundene Verdrängungseffekte ausgehen sollten.

#### 6.4.3.2 Nachfrageeffekte

Durch Effizienzsteigerungen in der Produktion werden typischerweise Rohstoffe durch verbesserte Techniken substituiert, die zusätzliche Investitionen erfordern. Damit kommt es zu Nachfrageverschiebungen von der Bereitstellung von Rohstoffen hin zu Investitionsgütern. Im Falle der Steigerung der Recyclingintensität wurde oben argumentiert, dass die dabei anfallenden Mehrkosten durch eine Reduktion der Konsummöglichkeiten der privaten Haushalte kompensiert werden. Im vorliegenden Fall einer gesteigerten Rohstoffeffizienz in der Produktion ist jedoch von vorneherein nicht davon auszugehen, dass privater Konsum verdrängt wird. Vorliegende Ergebnisse aus den Analysen zu den Wirkungen von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Jochem et al. 2008; Schade et al. 2009) lassen es plausibel erscheinen, dass insgesamt eine Verschiebung hin zu Wertschöpfungsketten induziert wird, die höhere Arbeitsintensitäten und geringere Importquoten aufweisen als die Wertschöpfungsketten der Rohstoffbereitstellung. Erste Fallstudien (Walz et al. 2001) deuten darauf hin, dass dieser Effekt auch bei der Steigerung der Rohstoffeffizienz auftreten könnte. Allerdings macht das hierbei untersuchte Beispiel einer Lebensdauerverlängerung von Pkw auch deutlich, dass hier – ähnlich wie bei dem Import von Schrott – eine

Außenhandelsproblematik zum Tragen kommen kann: Wenn ein Land viele Güter für den Export produziert, wie Deutschland Pkw, und die Strategie zu einer Verschiebung hin zu höherer Wertschöpfung in der Nutzungsphase führt (intensivere Wartung und Reparatur), wird für die Exportgüter dieser Teil des Nachfrageimpulses ins Ausland verlagert.

Festzuhalten bleibt damit, dass die Nachfragestruktureffekte einer Steigerung der Rohstoffeffizienz in Produktion und beim Produkt im Falle von Deutschland eher beschäftigungssteigernd wirken dürften, Allerdings ist es erforderlich, genauere Analysen durchzuführen, um die Größenordnung sowie die Bedeutung der skizzierten Außenhandelseffekte genauer abzuleiten.

Bei einer breiten, viele Bereiche durchdringenden Strategie der Steigerung der Rohstoffeffizienz sind auch makroökonomische Wirkungen wie Einkommensmultiplikatoreffekte nicht zu vernachlässigen. Außerdem können Akzeleratoreffekte auftreten, die das Volkseinkommen und die Beschäftigung weiter ansteigen lassen. Die Bedeutung dieser Effekte ist von der Modellauswahl und den zu Grunde gelegten Inputdaten abhängig. Allerdings zeigen Analysen mit Modellen, die auch entsprechende Wirkungsmechanismen berücksichtigen, positive Beschäftigungseffekte auf (vgl. hierzu auch die Analysen zu den Erneuerbaren Energien und dem Verkehrsbereich sowie Meyer et al. 2007). Von daher wäre zu erwarten, dass eine Steigerung der Rohstoffeffizienz in der Produktion Effekte in die gleiche Richtung herbeiführen würde.

#### 6.4.3.3 Innovationseffekte

Für die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen spielt es ebenfalls eine wichtige Rolle, welche Auswirkungen die gesteigerte Rohstoffeffizienz auf die Produktivität der Unternehmen hat. Der Literaturüberblick in Walz et al. (2012) zeigt auf, dass es eine Reihe von Studien gibt, die Umweltinnovationen eine Steigerung der Produktivität zusprechen. Von einer Steigerung der Rohstoffeffizienz in der Produktivität sind vor allem die Wirtschaftszweige betroffen, in denen die entsprechenden Innovationen stattfinden. Aus diesen Gründen ist zu erwarten, dass die Produktivität in einigen Wirtschaftszweigen steigen wird. Zwar wird hierdurch der Effekt einer Verschiebung hin zu arbeitsintensiveren Wertschöpfungsketten reduziert. Andererseits gehen von der Produktivitätssteigerung positive Effekte auf die Wettbewerbsfähigkeit aus. Das gilt insbesondere dann, wenn die effizienteren Unternehmen im globalen Wettbewerb betrachtet werden und die Tatsache Anerkennung findet, dass produktivere Unternehmen im internationalen Wettbewerb deutliche Vorteile genießen.

Eine besondere Innovationswirkung kann sich für Steigerungen der Rohstoffeffizienz auf tun, die mit veränderten Produktdesigns wie Leichtbau oder gar veränderten Produktkonzeptionen wie Lebensdauerverlängerung einher gehen. Da insbesondere bei Produktinnovationen der Qualitätswettbewerb eine wichtige Rolle spielt, bieten derartige Strategien die Chance, einen First-Mover-Vorteil im internationalen Handel zu erreichen. Unter den Bedingungen der Globalisierung sind entscheidende Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Erfolg die Etablierung schwer transferierbarer Leistungsverbünde, die aus Kombinationen von hochwertiger FuE mit ausdifferenzierten Produktionsstrukturen bzw. einer gegenüber Innovationen aufgeschlossenen Nachfrage im Sinne eines Lead-Marktes bestehen (vgl. Meyer-Krahmer und Reger 1999; Walz 2006 und Walz und Schleich 2009). Analysen zur technologischen Leistungsfähigkeit in der Materialeffizienz deuten darauf hin, dass Deutschland im Bereich der FuE und der Leistungsfähigkeit der Angebotsseite entsprechender Effizienzmaßnahmen sehr gute Ausgangsbedingungen aufweist (Ostertag et al. 2010). Wenn es in Deutschland gelingt, diese Faktoren mit den anderen, auf die Nachfrageseite abzielenden zu

kombinieren, werden sehr gute Ausgangsbedingungen für zusätzliche, qualitätsbedingte Außenhandelserfolge geschaffen.

## 6.5 Strategien und innovative Ansätze auf internationaler Ebene

### 6.5.1 Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien spielen beim Umbau der Wirtschaft zu einer Green Economy eine Schlüsselrolle. Energie ist Grundlage für eine funktionierende Wirtschaft in hochindustrialisierten Ländern und Entwicklungschance für die Schwellenländer. Von entscheidender Bedeutung werden dabei in Zukunft die erneuerbaren Energien sein. Sie ermöglichen eine klimafreundliche und unerschöpfliche Produktion von grüner Energie. Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien wird auch der Steigerung der Energieeffizienz große Bedeutung zukommen. Grund hierfür ist nicht alleine der ohnehin erwartete Anstieg des Energiebedarfs (IEA 2011), sondern auch die erwartbare Intensivierung dieser Entwicklung z. B. durch neue elektronische Mobilitätskonzepte, welche die Nachfrage an Energie weiter steigern werden. Seit einigen Jahren verzeichnen die neuen Energieträger einen rasanten Kapazitätswachstum und haben sich zu einem der wachstumstärksten Zukunftsmärkte entwickelt. Im Jahr 2009 betrug der Gesamtanteil der erneuerbaren Energien am globalen Endenergieverbrauch 16,7 Prozent, bei einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 8 Prozent. Einen großen Teil davon macht jedoch – neben der lange etablierten Wasserkraft – immer noch die vergleichsweise ineffiziente traditionelle Biomassenutzung in Entwicklungs- und Schwellenländern aus. Die globalen Investitionen in erneuerbare Energie lagen 2011 zwischen 210 und 257 Milliarden US-Dollar (REN21 2012, UNEP 2012). 2020 könnten die Investments bei knapp 400 Milliarden US-Dollar und bis 2030 bei 460 Milliarden US-Dollar liegen. Mehr als sieben Billionen US-Dollar an neuem Kapital und Investitionen könnten in den nächsten 20 Jahren für den geplanten Ausbau der erneuerbaren Energien notwendig werden. Dennoch dominieren weltweit noch Investitionen in konventionelle Energieinfrastrukturen, welche ein geschätztes Volumen von ca. 1,23 Billionen US-Dollar haben. Der Anteil der erneuerbaren Energien an den globalen Investitionen im Energiebereich liegt demnach bei ca. 30 Prozent - Tendenz steigend (Bloomberg 2011).

Erneuerbare Energie kann grundsätzlich in allen Nutzungsbereichen (Elektrizität, Wärme, Mobilität) bereitgestellt werden. Weltweit gab es zuletzt ein deutliches Wachstum der Anteile erneuerbarer Energien im Strombereich. Hier sind in den letzten Jahren die Solar- und Windenergie am stärksten gestiegen, gefolgt von der Biomasse. Auf einem konstant hohen Niveau befindet sich die Wasserkraft, die bereits auf eine lange Historie zurückschauen kann. Stand 2011 sind inkl. Wasserkraft 1.360 GW an erneuerbaren Energien weltweit installiert – ohne Wasserkraft sind es 390 GW. Auf den stark wachsenden Windsektor entfallen 238 GW, mit weitem Abstand folgen die Photovoltaik- und Solarthermie (CSP)-Installationen mit zusammen ca. 72 GW. Die installierte Kapazität in Biomasse und -gas betrug ebenfalls ca. 72 GW. Im Wärmebereich spielen vor allem die Solarenergie und Biomasse eine wichtige Rolle, mit einer installierten Kapazität von ca. 232 GW bzw. 290 GW (ohne Einberechnung der traditionellen Biomassenutzung). Einen geringeren Beitrag liefert die Geothermalwärme mit 58 GW (REN21 2012).

2011 verfügten insgesamt 118 Staaten über eine Politik, die den Ausbau der erneuerbaren Energien mit Hilfe von wirtschaftspolitischen Instrumenten unterstützen. 92 Staaten nutzen einen Einspeisetarif, während in 71 Staaten ein Quotenmodell zum Einsatz kommt. Zwei

Beispielländer, die solche Instrumente mit besonderem Erfolg einsetzen, sollen im Folgenden präsentiert werden.

### 6.5.1.1 China

China ist bei jeder Betrachtung ein Spezialfall, da die Wirtschaftspolitik des Landes nicht mit denen westlicher OECD-Staaten vergleichbar ist. Die starke Staatsorientierung der chinesischen Wirtschaft steht im Gegensatz zu den marktwirtschaftlichen Ökonomien der übrigen OECD-Mitglieder. Einige der hier vorgestellten Instrumente wären in dieser Form nicht in Deutschland implementierbar. Trotzdem erscheint ein Blick auf die chinesische Strategie sinnvoll. Zum einen verfolgt China als eines von wenigen Ländern eine erneuerbare Energien-Strategie, die alle Technologien mit einschließt und sich nicht nur auf geographisch vorteilhafte Energieträger fokussiert (z. B. Windenergie in Dänemark). Zum anderen kann der Marktführer im Bereich Marktvolumen und Ausbau der Kapazitäten für erneuerbare Energien bei der Betrachtung von internationalen Vorreiterstrategien nicht außen vor gelassen werden, da dieser auch zukünftig eine herausragende Rolle spielen wird (REN21: 2012). Die im Folgenden dargestellten Strategien und wirtschaftspolitischen Instrumente müssen daher im Kontext des in China herrschenden wirtschaftlichen Systems betrachtet werden. Die chinesische Regierung hat in ihrem 12. Fünf-Jahres Plan (2011-2015) besonders ambitionierte Ziele für den Ausbau von erneuerbaren Energien vorgegeben. Bis 2015 sollen 11,4 Prozent der Energieproduktion aus nicht-fossilen Ressourcen kommen. Zudem ist eine installierte Kapazität von 200 GW im Bereich Wind-, Solar- und Biomasseenergie vorgegeben (CGI 2012). China setzt zur Förderung der erneuerbaren Energien (im Gegensatz zu anderen Ländern) auf eine doppelte Subventionierung: Es wird sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite der erneuerbaren Energien finanziell oder durch wirtschaftspolitische Instrumente unterstützt. Dadurch soll ein schneller Ausbau gewährleistet sowie die Gefahr von Über- oder Unterproduktion vermindert werden. Eine Überproduktion soll dabei dadurch verhindert werden, dass der Staat im Falle einer drohenden Überproduktion eine künstliche Nachfrage schafft, welche der Markt bedienen kann und so eventuelle Verluste der Produzenten verhindert bzw. zumindest abmildert. Sollte eine Unterproduktion drohen, können die Instrumente helfen, die Nachfrage auf dem Markt zeitnah zu befriedigen.

In China findet als Fördermechanismus dazu unter anderem das Feed-in Tariff-System Verwendung. Das Feed-in Tariff (FiT)-System, in Deutschland bekannt als Einspeisevergütung für erneuerbare Energien, beschreibt einen Fördermechanismus, bei dem aus erneuerbaren Energiequellen gewonnener Strom prioritär in die Stromnetze eingespeist und mit einem festgelegten Betrag vergütet wird. Dabei kann der Einspeisetarif technologiedifferenziert ausgestaltet werden. Zuerst und besonders erfolgreich wurde dieses Instrument in Deutschland 1991 mit dem Stromeinspeisungsgesetz und seinem Nachfolger, dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) des Jahres 2000 eingeführt.

Die Einspeisevergütung ist einer der Bausteine, auf denen sich das Wachstum des deutschen Erneuerbaren Energien-Sektors stützt. Doch auch andere Länder besitzen inzwischen ein ähnliches FiT-System wie Deutschland. Hierbei wurde das deutsche System oftmals als Vorbild genommen und den eigenen ökonomischen und politischen Gegebenheiten angepasst. Im Mittelpunkt solcher FiT-Systeme stehen zumeist zwei zentrale Elemente: Zum einen bekommen die Betreiber von erneuerbaren Energien-Anlagen die Zusicherung, dass ihr regenerativer Strom prioritär in die Verbundnetze eingespeist wird. Zum anderen erhalten sie einen festgelegten Preis für den von ihnen eingespeisten Strom.

Ebenso wie in Deutschland führte das FiT-System auch in der Volkrepublik China zu sehr hohen Zuwachsraten im Bereich der erneuerbaren Energien – insbesondere im Bereich der

Windenergie. Während die installierte Kapazität im Jahr 2004 gerade einmal 750 MW betrug und 75 Prozent der installierten Windenergietechnologie noch importiert wurden, konnten nach der Einführung enorme Zuwachsraten verzeichnet werden. Bei seiner Einführung im Jahr 2009 war China das erste Land außerhalb der Europäischen Union, in dem dieses Instrument zum Einsatz kam. Dabei wurde das Einspeisesystem zunächst nur für Energie aus Wind und Biomasse eingeführt. Der Vergütungssatz für Windenergie lag regional unterschiedlich zwischen 0,06 Euro und 0,07 Euro pro Kilowattstunde und damit bis zu 50 Prozent über dem Erlös von Anlagen, die mit konventionellen Energieträgern betrieben werden. Das Land verfügte bei Einführung des FiT im Bereich der Windenergie bereits über jährliche Wachstumsraten von 60 Prozent, konnte diese aber durch das FiT-System zwischen 2006 und 2010 auf eine jährliche Verdopplung steigern (GWEC 2012). 2011 wurden weitere Reformen initiiert. Diese zielten im Wesentlichen auf die Behebung netztechnischer Probleme sowie auf die Erhöhung der Zuwachsraten. Auf Basis dieser Reformen soll die Kapazität bis 2015 auf 100 GW ausgebaut werden. Der chinesische Markt für Windenergie ist sowohl bei den installierten Kapazitäten als auch im Bereich der Investitionen weltweit führend und hat im Jahr 2010 die USA als Weltmarktführer abgelöst. Durch die staatlichen Förderprogramme hat China erreicht, dass heute 80 Prozent der heimisch produzierten Windturbinen auf dem Binnenmarkt verkauft werden (CGI 2012).

In Abgrenzung zu der herausragenden Stellung, die die chinesische Windenergie einnimmt, spielt Biomasse nur eine untergeordnete Rolle – und das obwohl für diese ein eigenes FiT-System implementiert wurde (ca. 0,09 Euro pro Kilowattstunde). Das Wachstum in diesem Bereich stagniert und wird auch seitens der Regierung nicht prioritär gefördert. Trotz neuer Anreize (z. B. Steuererleichterungen) wurden die Ausbauziele mit 3,2 GW anstatt 5 GW für 2010 verfehlt. Bis 2015 plant die chinesische Regierung den Ausbau der Biomasse auf 13 GW (CGI 2012).

Als vorerst letzter Baustein des chinesischen FiT-Systems wurde im August 2011 auch ein FiT-System für Solarenergie implementiert. Der Vergütungssatz liegt hier bei 0,12 Euro pro Kilowattstunde. Um die im aktuellen Fünf-Jahres-Plan gesetzten Zielmarken zu erreichen, soll insbesondere der Bereich der PV-Technologie massiv ausgebaut werden, da dieser Sektor im Moment sowohl technologisch als auch von seinem Anteil am Energiemix noch nicht als ausreichend weit entwickelt eingestuft wird. Eine Entwicklung in die gewünschte Richtung zeichnet sich durch die starken Wachstumsraten der vergangenen 18 Monate ab: Im Jahr 2010 wurden noch lediglich ca. 300 MW an neuen Kapazitäten installiert. Durch die Implementierung des FiT-Systems im PV-Sektor stieg die Installation neuer PV-Module in 2011 auf ca. 3 GW. Bis 2015 sollen 15 GW installiert sein und bis 2020 soll die gesamte Solarenergie einen Beitrag von 50 GW bereitstellen. Dieses Ziel würde einer 83-fachen Steigerung der Produktion von 2010 entsprechen. Auch wenn es damit ggf. überambitioniert erscheint, gehen Prognosen dennoch davon aus, dass die Solarenergie einen ähnlich rapiden Anstieg erfahren wird, wie dies bei der Windenergie der Fall war.

Erklärtes Ziel der chinesischen Regierung ist es, möglichst dauerhaft die Entstehung von Überkapazitäten zu verhindern, wie sie sich in der Vergangenheit auf dem europäischen Markt ergeben haben. Dazu will die chinesische Regierung insbesondere private PV-Anlagen mit dem Golden Sun and Solar Roofs-Programm subventionieren und so die notwendige Nachfrage generieren. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die Preise für chinesische PV-Module weiter und vermutlich stärker als in den USA und Deutschland sinken werden, sollte der Plan einer massiven Ausweitung des Produktionsvolumens aufgehen.

Die chinesische Regierung strebt allerdings nicht nur nach einem quantitativen, sondern auch nach einem qualitativen Ausbau des PV-Bereichs. Dazu soll vor allem die Effizienz der PV-

Module stark verbessert werden. Um dies zu erreichen, finanziert die chinesische Regierung zum einen bis zu 50 Prozent der Entwicklungskosten neuer Technologien. Zum anderen vergibt die staatseigene China Development Bank zusätzlich Kredite in Höhe von insgesamt 43,6 Milliarden US-Dollar für Forschungsprojekte und geplante Großflächenanlagen an erneuerbare Energien-Produzenten.

Die bisherigen Ausführungen legen nahe, dass die hohen Wachstumsraten und das enorme Marktvolumen der erneuerbaren Energien in China auf massive staatliche Unterstützung zurückzuführen sind. Diese Vermutung wird noch plausibler, wenn man betrachtet, dass China über die bereits erwähnten Initiativen hinaus noch viele weitere kleinere und/oder regionale Förderprogramme besitzt. Insgesamt investierte China 2010 54,4 Milliarden US-Dollar in seinen erneuerbare Energien-Sektor, was einer Steigerung um 39 Prozent gegenüber 2009 und einem Anteil von 20 Prozent der weltweiten Investments in diesen Sektor entspricht (GTAI 2011). Kritisch anzumerken bleibt hierbei, dass China für dieses System der doppelten Subventionen – insbesondere im Solarbereich – von den USA vor der Welthandelsorganisation (WTO) verklagt wird. Der Ausgang des Verfahrens ist noch offen. Dennoch belegt die US-Regierung chinesische PV-Module derzeit mit hohen Strafzöllen zum Schutz der eigenen Industrie. Dies macht die Risiken des von China verfolgten Ansatzes zur Förderung der erneuerbaren Energien im Kontext von Exportnationen wie Deutschland deutlich.

#### 6.5.1.2 USA

Die erneuerbare Energien in den USA sind im Verhältnis zur gesamten nationalen Energieproduktion nach wie vor ein recht überschaubarer Markt. Im Jahr 2010 stammten lediglich knapp 10 Prozent der erzeugten Elektrizität aus erneuerbaren Ressourcen, wobei insbesondere auf die traditionsreiche Wasserkraft 7 Prozent entfielen. Insgesamt gewinnt die Entwicklung allerdings auch in den USA an Fahrt, so entfielen 2011 40 Prozent der Neustallationen im Stromsektor auf den Bereich der erneuerbaren Energien (REN21 2012). Ohne Wasserkraft<sup>75</sup> ist Windenergie mit Abstand der größte Energieträger der erneuerbaren Energien. Diese stellt mehr als 50 Prozent der gesamten installierten Kapazitäten von regenerativen Energien. Die installierte Windkraft-Kapazität konnte innerhalb von zwei Jahren auf 35 GW verdoppelt werden. Ebenfalls große Zuwachszahlen schreibt die Solarenergie, die sich 2010 innerhalb eines Jahres auf eine Kapazität von 2,5 GW verdoppeln konnte. Zu beachten ist allerdings, dass die Solarenergie trotz ihres starken Wachstums in den letzten Jahren national nach wie vor lediglich einen verschwindenden Anteil an der gesamten Stromerzeugung darstellt.

Zur Förderung der erneuerbaren Energien verfügt die USA über vielfältige politische Instrumente, wobei ihr Schwerpunkt im Bereich wirtschaftlicher Anreize liegt. Der Blick auf die einzelnen US-Bundesstaaten zeigt aber hier ebenso wie in anderen Bereichen der erneuerbaren Energien, dass eine starke regionale Differenzierung besteht. Um dieser Differenzierung gerecht zu werden, muss jegliche Analyse US-amerikanischer Politiken zur Förderung von

---

<sup>75</sup> Bei der Betrachtung von erneuerbaren Energien wird die Wasserkraft häufig nicht mit einbezogen, insbesondere wenn diese einen überproportionalen Anteil gegenüber den anderen EE-Trägern aufweist. So haben bspw. Staudämme in manchen Ländern oft historische Ursprünge (z. B. Hoover Damm in den USA) und sind besonders aufgrund der geographischen Gegebenheiten errichtet worden. Durch das Herausrechnen der Wasserkraft soll sichergestellt werden, dass neuere Entwicklungen in den sonstigen EE-Trägern ausreichend sichtbar dargestellt werden.

erneuerbaren Energien zum einen zwischen den einzelnen Bundesstaaten, zum anderen aber auch zwischen den Bundesstaaten und der Bundesebene unterscheiden (CSS 2011).

Mit Blick auf die Ebene der einzelnen Bundesstaaten ist zu beachten, dass diese im Energiesektor über einen größeren Gestaltungsspielraum verfügen, als dies beispielsweise bei den deutschen Bundesländern der Fall ist. Diesen Spielraum nutzen einige von ihnen auch weitgehend aus, was wiederum zu teilweise sehr unterschiedlichen Ansätzen bei der Förderung der erneuerbaren Energien und in der Folge auch zu deutlichen Unterschieden beim Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergiemix führt. Dabei macht der Vergleich zwischen den Bundesstaaten deutlich, dass sich diejenigen mit klaren Förderungsstrukturen durch einen hohen Anteil regenerativer Energien an ihrer Gesamtenergieproduktion hervortun. Die Förderungsstruktur der Bundesstaaten lässt sich wie folgt nach dem jeweiligen Instrumenteneinsatz unterscheiden:

- 38 US-Staaten haben einen ‘renewable portfolio standard’ (RPS), welcher einen Mindestanteil bzw. Standardwert an erneuerbaren Energien an der Gesamtenergieproduktion vorschreibt. Die Mindestquote unterscheidet sich dabei stark zwischen den einzelnen Bundesstaaten.
- Sechs US-Staaten haben ein eigenes Feed-in-Tariff-System eingeführt und hiermit bemerkenswerte, wenn auch regionale Erfolge erzielt.
- Weitere sechs US-Staaten haben keinerlei verbindliche Ausbauziele für erneuerbare Energien.

Die RPS sind ein wirtschaftspolitisches Instrument, das einen bestimmten Prozentsatz an erneuerbaren Energien vorschreibt, welchen die Stromanbieter in ihrem Angebotsportfolio bereitstellen müssen. Der Vorteil dieses Instruments ist seine Offenheit gegenüber den zur Anwendung kommenden Technologieformen. Diese ermöglicht den Anbietern selbständig zu entscheiden, welche erneuerbaren Energiequellen sie zur Erreichung des Standards nutzen und hat dazu beigetragen, dass die Bundesstaaten ihre Energieproduktion aus erneuerbaren Energien den geographischen Gegebenheiten anpassen konnten. Dementsprechend wird Hydroenergie heutzutage überwiegend im Norden der USA produziert und Solarstrom hauptsächlich in den südlichen und westlichen Bundesstaaten. Energie aus Wind und Biomasse findet sich hingegen in allen Regionen. Um die regionale Erzeugung zu fördern, genehmigen die meisten Staaten nur einen begrenzten oder gar keinen Import von grünem Strom aus anderen Bundesstaaten.

Die Implementierung und Umsetzung des RPS hängt stark von der Energiepolitik des jeweiligen Bundesstaates ab. Staaten mit einer ausgeprägten Tradition und starken Playern einer konservativen Energieproduktion – und den damit verbundenen Lobbystrukturen – haben in der Regel einen niedrigen Standardwert. Die klima- und energiepolitischen Vorreiterstaaten wie Kalifornien und Maine schreiben hingegen hohe Mindestwerte fest. So reicht der RPS-Wert in den verschiedenen Bundesstaaten von 2 Prozent bis 40 Prozent. Auch der Zeitraum bis zur Erfüllung der Vorgaben variiert sehr stark und macht deutlich, wie ambitioniert die Politik in dem jeweiligen Bundesstaat ist (Elefant und Holt 2011). Der Vorteil dieses Instrumentes ist, dass es die regionalen, geographischen und klimatischen Gegebenheiten nutzt und hilft die jeweiligen Potenziale voll zu entfalten. Im Umkehrschluss schafft es aber auch keine neuen Potenziale im Sinne eines erneuerbaren Energiemixes, da sich die meisten Bundesstaaten in der Regel nur auf einzelne erneuerbare Energieträger konzentrieren.

Um die regionalen und geographischen Gegebenheiten zur Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Ressourcen auszugleichen, wird momentan eine innovative Erweiterung der RPS

diskutiert. Um die Erzeugung und Nutzung von erneuerbaren Energien zu trennen, sollen so genannte ‚Renewable Energy Certificates‘ (REC) eingeführt und zwischen den Stromanbietern gehandelt werden. So wird die physische Produktion von der Notwendigkeit zur zeitgleichen Lieferung getrennt. Mit diesem System haben potenzialarme Bundesstaaten die Möglichkeit, Energiezertifikate einzukaufen und diese in ihrem Bundesstaat anrechnen zu lassen, um auf diesem Weg ihre Vorgaben aus dem RPS zu erfüllen. Auf diesem Weg soll von der Idee her ein Zertifikathandelssystem ähnlich dem Emissionshandel und Clean Development Mechanism aufgebaut werden. Die Einnahmen der Verkäufer können wiederum in neue Projekte investiert werden (Cory und Swezey 2007). Dieses System wurde nun auch für private Käufer geöffnet, die verstärkt in den Ausbau von erneuerbaren Energien investieren wollen.

Zusätzlich zu dem RPS haben einzelne Staaten in den vergangenen Jahren ein eigenes Feed-in-Tariffs-System (FiT) eingeführt. Hervorgetan haben sich hier jeweils die Staaten, die sich auch als Vorreiter für eine US-amerikanische Energiewende sehen und für diese einsetzen – primär mit dem Ziel, die USA unabhängiger von Energieimporten zu machen. Das bekannteste Beispiel ist der US-Bundesstaat Kalifornien. Auch wenn diese Systeme in den einzelnen Staaten zu großen Erfolgen und einem rasanten Ausbau der erneuerbaren Energien geführt haben, so sind sie dennoch nicht mit der deutschen Einspeisevergütung vergleichbar. Die meisten Staaten haben eine jährliche Förderbegrenzung („Cap“) und die Vergütung erfolgt auf einer anderen preislichen Basis als dies in Deutschland der Fall ist. Darüber hinaus verfügen die Bundesstaaten auch über individuelle und sehr unterschiedliche Programme für Finanzierungshilfen und Steuererleichterungen zur Förderung von erneuerbaren Energien.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die föderale Struktur der Erneuerbaren-Förderung als sehr positiv herausgestellt hat (Rickerson et al. 2008). Dies insbesondere, da sie den Bundesstaaten ermöglicht, sich Ziele entsprechend ihrer geographischen Gegebenheiten und Ambitionen zu setzen. Allerdings ist dies auch oftmals vom politischen Willen und Zielen abhängig, so dass manche Staaten aufgrund einer konservativen Energiepolitik hinter ihrem theoretischen Potenzial zurückbleiben. Striktere politische Vorgaben z. B. durch die Regierung in Washington könnten den Ausbau der erneuerbaren Energien beschleunigen, ohne dabei den Bundesstaaten ihre Souveränität zu nehmen (Hempling et al. 2010).

Auf nationaler Ebene setzt die US-amerikanische Regierung von Präsident Barack Obama vor allem auf steuerliche Anreize und Unterstützungsprogramme. Für den Haushalt 2013 ist eine weitere Erhöhung der Förderung auf knapp 10 Milliarden US-Dollar geplant. Diese steht mittels verschiedener bundesstaatlicher Programme, wie z. B. des Treasury Grant Program (TGP) zur Förderung von erneuerbaren Energien zur Verfügung. Einen besonderen Schwerpunkt stellt hierbei das Sun Shot-Programm dar. Mit dessen Hilfe sollen die Preise für Solarstrom langfristig auf 0,06 US-Dollar pro Kilowattstunde reduziert werden und zudem der Anteil von Solarstrom an der nationalen Energieproduktion bis 2030 auf ca. 15 Prozent-18 Prozent gesteigert werden. Das Programm zielt vor allem darauf ab, die Kosten zu senken, Effizienz und Leistung der Module zu steigern sowie neue Design- und Installationsmethoden zu fördern (DOE 2011). Zusätzlich gibt es im Rahmen des Sun Shot-Programms auch steuerliche Anreize: So werden z. B. private Solaranlagen mit Steuererleichterungen von bis zu 2.000 US-Dollar im Jahr begünstigt, was vor allem in den südlichen und westlichen Bundesstaaten zu einem Boom der Solarenergie geführt hat. Ein weiterer Ansatz ist das Cash-Grants Programm, welches einer einmaligen Einspeisevergütung ähnelt. Für jede installierte Kilowattstunde wird 1,0-2,1 US-Cent pro Kilowattstunde als Kreditvergünstigung gezahlt. So lassen sich Reduzierungen von bis zu 30 Prozent des Investitionsvolumens für EE-Projekte ermöglichen (USDT 2012).

Gegenfinanziert werden diese Programme durch den Abbau umweltschädlicher Subventionen und steuerlicher Begünstigungen für fossile Energiequellen. Dadurch konnten im Zeitraum

2008-2012 mehr als 15 Milliarden US-Dollar eingespart werden. Außerdem wurden die Sicherheitsrücklagen für US-Nuklearkraftwerke auf 3,5 Milliarden US-Dollar pro Kraftwerk erhöht. Hierdurch entsteht ein Lenkungseffekt, welcher Anreize für Investitionen in den Ausbau von erneuerbaren Energien schafft.

Das Gesamtkonzept der US-amerikanischen Energiepolitik fällt damit zwiespältig aus. Während es – besonders auf der Ebene der Bundesstaaten erfolgversprechende Ansätze gibt – werfen Kritiker der US-Energiepolitik vor, auf Bundesebene kein schlüssiges Gesamtkonzept zu haben und zu sehr auf kurzfristige politische Instrumente zu setzen. Dadurch – so die Kritiker – werden Investoren verunsichert und der Ausbau der erneuerbaren Energien in den USA gebremst (GWEC 2012). Insbesondere das wiederholte Genehmigen und Auslaufen von Steuererleichterungen hat in der Vergangenheit zu einem „stop-and-go“ Charakter der Förderpolitik geführt (Schill et al. 2009). Dennoch fällt die Gesamtbetrachtung grundsätzlich eher positiv aus, da die USA einer der größten und bedeutendsten Märkte für erneuerbare Energien ist, auch wenn angenommen werden muss, dass sich Potenziale durch eine kohärentere Energiepolitik noch besser ausschöpfen ließen.

### 6.5.1.3 Zwischenfazit

Bei den hier präsentierten Länderstudien treffen zwei extreme Varianten aufeinander: Die vorwiegend staatsorientierte chinesische und die vorwiegend marktorientierte US-amerikanische Energiepolitik für erneuerbare Energien. Beide haben zu einem rasanten Anwachsen der erneuerbaren Energien geführt und dazu beigetragen, dass sich in China und den USA heute die mit Abstand größten erneuerbaren Energien-Märkte finden, sowohl mit Blick auf die gesamten installierten Stromerzeugungskapazitäten als auch mit Blick auf die Investitionen. Somit haben die USA und China Deutschland, den einst auch in absoluten Zahlen größten Markt für erneuerbare Energien der Welt, inzwischen deutlich überholt. Nur bei der Photovoltaik hat Deutschland auch absolut betrachtet immer noch eine Spitzenreiterstellung. Aufgrund der extremen Größe der chinesischen und amerikanischen Energiemärkte sind die Anteile erneuerbarer Energien an der gesamten Energiebereitstellung in diesen Ländern aber immer noch gering, und sie entwickeln sich auch weniger dynamisch als in Deutschland. Der aktuelle Niedergang der deutschen Solarenergiebranche könnte den aktuell bestehenden Technikvorsprung in den kommenden Jahren allerdings gefährden.

China verfolgt im Bereich der erneuerbaren Energien eine recht aggressive Politik. Zum einen fördert China die Anbieter erneuerbarer Energien – ähnlich wie dies auch in Deutschland geschieht. Gleichzeitig wird in China aber auch die Nachfrageseite subventioniert. Durch diese Strategie konnte China nicht nur seine Importe für entsprechende Technik verringern, sondern vielmehr auch zum führenden EE-Exportland werden. Auf diese Weise konnte China große Anteile am Weltmarkt erobern. China hat mit dieser Strategie (und auf Basis der akuten Energieknappheit in China) erreicht, dass der größte Markt für diese Zukunftstechnologie sein eigener Binnenmarkt ist. Inwiefern dies eine Strategie für Deutschland sein kann, ist vor allem vor dem Hintergrund des laufenden WTO-Verfahrens gegen China offen. Jedoch ist zu beachten, dass sich ein Teil der staatlichen Unterstützung nicht von der deutschen Subventionierung unterscheidet, sondern sogar an sie angelehnt ist.

Mit Blick auf die USA ergibt sich ein anderes Bild. Hier geht der teilweise erfolgreiche Ausbau der erneuerbaren Energien vor allem auf die regionalen Akteure – die Bundesstaaten – zurück. Zumindest in dem hier betrachteten US-amerikanischen Beispiel scheint es den regionalen Akteuren besonders gut zu gelingen, die jeweiligen regionalen und geographischen Gegebenheiten beim Ausbau der erneuerbaren Energien zu berücksichtigen. Da Energiepolitik vor allem im Zuständigkeitsbereich der Bundesstaaten liegt, fallen auch die Förderpolitiken

unterschiedlich aus. Das Beispiel USA macht aber auch deutlich, dass es neben der regionalen Förderung auch eines nationalen Konzepts bedarf, welches eine grobe Richtung vorgibt und finanzielle und (unter anderem für Investoren) planerische Sicherheit gibt. Auch ist der Ausbau der erneuerbaren Energien in den einzelnen US-Bundesstaaten zu sehr von den bundesstaatlichen Interessen und Politiken abhängig. Ein Plan der US-amerikanischen Regierung, der klare Ausbauziele vorgibt, könnte die Umsetzung einer Energiewende deutlich beschleunigen ohne dabei die Vorteile eines regionalen Ausbaus zu konterkarieren. Ein Handelssystem mit Zertifikaten, wie das Renewable Energy Certificates, könnte zudem dafür sorgen, dass Bundesstaaten mit schlechteren geographischen Gegebenheiten oder finanzieller Ausstattung ihre Ziele erfüllen können.

## 6.5.2 Energieeffizienz

Energie als Inputfaktor im Wirtschaftsprozess stellt – anders als oft angenommen – nur einen geringen Kostenanteil im Produktionsprozess dar. In einzelnen energieintensiven Branchen und Unternehmen ergeben sich zwar deutlich höhere Werte, im Durchschnitt entfallen aber deutlich weniger als 10 Prozent der Produktionskosten auf Energie. Im Gegensatz zu stofflichen Ressourcen (siehe Kapitel 6.4), deren Kostenanteil bei knapp 50 Prozent liegt, lassen sich durch eine erhöhte Energieeffizienz also nur geringere Einsparungspotenziale für die Wirtschaft erzielen. Jedoch ist die Bereitstellung und Umwandlung von Energie eine der wesentlichen Quellen der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Daher dient eine Steigerung der Energieeffizienz vor allem klimapolitischen Zielen, kann aber gleichzeitig die Gefahr von Rebound-Effekten erhöhen.

Weltweit betrug der Gesamtausstoß der Primärenergieproduktion ca. 31,5 Mrd. Tonnen Kohlendioxid. Damit ist sie der mit Abstand größte Hauptverursacher für den globalen Klimawandel (IEA 2011). Eine effiziente Energiepolitik kann somit einen erheblichen Beitrag zur Verminderung der globalen Erwärmung leisten. Zudem werden die Energiepreise in Zukunft steigen, da vor allem die Nachfrage in Schwellenländern rasant zunimmt. Eine steigende Energieeffizienz kann Volkswirtschaften daher auch unabhängiger von den Entwicklungen auf den Weltmärkten machen.

Mit Blick auf das Ziel der Steigerung der Energieeffizienz besteht eines der Hauptprobleme darin, dass sich die externen Effekte (CO<sub>2</sub>-Ausstoß) nicht (ausreichend) in den Energiekosten widerspiegeln. Die Preise entsprechen daher nicht der „ökologischen Wahrheit“ und es kommt zu einem Marktversagen. In der Folge können die Märkte keinen ausreichenden Anreiz bieten, um mit Energie sparsam und effizient umzugehen. Das wiederum lässt staatliche Eingriffe erforderlich erscheinen.

### 6.5.2.1 Japan

Japan ist ein internationales Erfolgsbeispiel im Bereich der Energieeffizienz. Aufgrund historischer und geographischer Gegebenheiten ist das Ziel, die Abhängigkeit von ausländischen Energieimporten zu reduzieren, spätestens seit den 1970er Jahren (und der ersten Erdölpreiskrise) fester Bestandteil japanischer Energiepolitik. Mit Blick auf dieses Ziel ist zu beachten, dass Japan als zweitgrößte Industrienation, ähnlich wie Deutschland, kaum über eigene Energiequellen verfügt.

Heute ist Japan nach wie vor das Land mit der geringsten Energieintensität im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt (BIP); Haushalte ebenso wie Unternehmen weisen die niedrigsten Energieverbräuche aller Industrienationen auf. Mit Blick auf die Bedrohung durch den Klimawandel und im Angesicht knapper werdender Ressourcen wurde die Energiepolitik seit

2002 mit dem „Basic Act on Energy Policy“, dem „Basic Energy Plan“ (beide 2002) und der „New National Energy Strategy“ (2006) auf die neuen Herausforderungen ausgerichtet. Im Jahr 2008 wurde der Energy Conservation Act eingeführt, der neue und weitergehende Effizienzmaßnahmen vorgibt. Die ambitionierten Ziele im Detail sind (IEA 2008, BMWi 2008):

- Ausbau der erneuerbaren Energien<sup>76</sup>;
- Verbesserung der Energieeffizienz im Bereich des Primärenergieverbrauchs um weitere 30 Prozent bis 2030, um so die weltweit höchsten Standards der Ressourceneffizienz zu halten und auszubauen;
- Verminderung des Ölverbrauchs im Primärenergiebereich auf unter 40 Prozent bis 2030;
- Verminderung des Ölverbrauchs im Verkehrssektor um 80 Prozent bis 2030;
- Steigerung des Selbstversorgungsanteils an Energieträgern bis 2030 von 38 Prozent auf 70 Prozent;
- Steigerung des Anteils von Null-Emissions-Energiequellen von gegenwärtig 34 Prozent auf 70 Prozent bis 2030;
- Ausbau und Eroberung von Marktanteilen bei hochklassigen Produkten und Systemen für Energieeffizienz auf den globalen Märkten;
- Beschleunigung der Entwicklung und praktischen Anwendung energiesparender Technologien in Forschung und Entwicklung (FuE).

Japans Erfolgsgeschichte im Bereich Energieeffizienz basiert auf marktwirtschaftlichen Anreizsystemen. So werden auf den Import von fossilen Energieträgern und vorindustriellen Produkten Steuern erhoben. Somit entsteht der Anreiz, diese entweder gegen energiefreundlichere Energieträger einzutauschen oder aber mit der Energie effizienter umzugehen. Das Kernstück der japanischen Energieeffizienzpolitik bildet jedoch der Top-Runner-Ansatz, welcher bereits 1998 als Maßnahme zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls eingeführt wurde: Bei diesem Ansatz wird in jedem Produktsegment der Marktführer im Bereich Energieeffizienz ermittelt und dessen Wert als Standard für alle Produkte in diesem Segment festgesetzt. Die übrigen Anbieter müssen diesen Wert nun in einem vorgegebenen Zeitraum erfüllen oder werden ansonsten sanktioniert. Nach einiger Zeit wird das Produktsegment evaluiert, ein neuer „Top-Runner“ ausgemacht und ein weiterer Zyklus eingeleitet. In allen 23 berücksichtigten Produktkategorien wurden durch dieses Instrument die Standards erreicht oder übertroffen. Sanktionen waren bisher nicht notwendig (IEA 2008, ABB 2010).

---

<sup>76</sup> Während sich das Ziel des Ausbaus der erneuerbaren Energien bereits in dem 2008er Zielkatalog findet, ist nach der Atomkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 festzustellen, dass dieses Ziel nun mit etwas mehr Nachdruck verfolgt wird. Mit dem „Sun Rise Project“ plant die japanische Regierung einen schnelleren Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2020. So sollen verstärkt Photovoltaik, Offshore Wind- und Turbinenanlagen, Biomasse und Geothermalenergie ausgebaut werden. Auch wenn die Atomenergie weiterhin ein wichtiges Standbein der japanischen Energieversorgung sein wird, so soll diese langfristig abgebaut und durch neue Energiearten ersetzt werden (Jupesta und Suwa 2011). Im September 2012 kündigte die japanische Regierung ein Ausstiegsszenario für die Atomenergie bis 2040 an. Ob und wie sich unter diesen neuen Voraussetzungen die energiepolitischen Ziele verändern bzw. einhalten lassen, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht sagen.

Eine weitere Erfolgsstory der japanischen Bemühungen um Energieeffizienz stellt der Gebäudesektor dar. Mit der Überarbeitung des „Building Standard Law“ hat Japan die Vorschriften im Bauwesen in Richtung Energieeffizienz erneut verschärft. Unter anderem wurde der Energieeffizienzstandard für Bestandsgebäude um 40 Prozent gesteigert und muss bis zum Jahr 2015 erfüllt werden. Da staatliche Kontroll- und Sanktionsmechanismen fehlen, gingen Prognosen aus dem Jahr 2004 im Bereich der Neubauten von einer erfüllten Umsetzung der Energieeffizienzrate von 80 Prozent bis 2008 aus, diese Prognose wurde tatsächlich um 5 Prozent übertroffen (BMW 2008). Dies kann als Signal gesehen werden, dass die Instrumente effektiv gestaltet sind und auf große Zustimmung in der Wirtschaft und Bevölkerung stoßen. Darüber hinaus ist Japan auch führend in Technologien für Gebäudeisolierungen, Klimatisierung, Wärmeversorgung und Gebäudemanagementsystemen für Energieeffizienz (IEA 2008; ABB 2010).

Im Industriesektor setzt Japan auf einen Mix aus Push- und Pull-Faktoren, indem es mit Regulation und Selbstverpflichtungen einerseits und Subventionen, Steuererleichterungen und Krediten für Investitionen zur Erfüllung der Energieeffizienzvorschriften andererseits arbeitet. Unternehmen sind außerdem verpflichtet, einen „Energiemanager“ zu benennen, der einen detaillierten Unternehmensplan zur Energieeffizienz erstellen muss. Darüber hinaus haben mehr als 1.100 Unternehmen Selbstverpflichtungen vorgelegt, welche aufwendig belegt und auch überwiegend eingehalten wurden. Dies ist ein wichtiges Kriterium für staatliche Finanzierungshilfen.

Japan verfügt darüber hinaus über ein ausgefeiltes Indikatoren- und Meßsystem für wichtige Kennzahlen im Bereich der Energieeffizienz, über welche die Unternehmen ebenfalls ausführlich berichten müssen und die als Grundlage für weitere politische Entscheidungen dient. Können die Unternehmen gute Kennzahlen vorlegen, kann ein Teil der Projektkosten für Effizienzmaßnahmen übernommen werden. Zudem kann eine Selbstversorgung der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien staatlich gefördert werden (ABB 2010).

Die Gesamtheit dieser Maßnahmen führte in den letzten 20 Jahren zu einem energetischen Strukturwandel in Japan. Dieser wird zum einen daran deutlich, dass der Energieverbrauch im Industriesektor zwischen 1990 und 2007 um vier Prozent gesenkt wurde, während er in allen anderen Industrienationen anstieg. Die Energieintensität konnte so zwischen 1990 und 2008 im Schnitt um jährlich 1,3 Prozent gesenkt werden, seit 2000 im Durchschnitt sogar um jährlich 3 Prozent. Dabei gelten diese Zahlen auch für Stahl-, Chemie- und Papierindustrie und damit für die energieintensiven Branchen (ABB 2010). Zum anderen ist der energetische Strukturwandel auch daran festzumachen, dass energieeffiziente Maschinen in Japan heute den größten Inputfaktor der Industrie darstellen.

Im Jahr 2008 wurde der Energy Conservation Act überarbeitet, um die Energieeffizienz weiter zu erhöhen. Dabei wurden für einzelne Industriesektoren Benchmarks eingeführt, insbesondere in den energieintensiven Industrien. Verschiedene Indikatoren ermöglichen einen Energiewettbewerb um die besten Effizienzwerte. Die Regierung setzt hierbei verschiedene mittel- und langfristige Ziele, die es zu erreichen gilt (um 2015-2020). Ersten Studien und Berichten zur Folge können diese Ziele bei gleichbleibenden Bedingungen erfüllt werden (Capozza 2011).

Deutlich wird der Erfolg der japanischen Strategie auch dadurch, dass Japan gemessen am BIP den niedrigsten Energieverbrauch und eine hervorragende Energieproduktivität aufweist. Wenn Japan als Faktor eins betrachtet wird, liegt der Verbrauch in Deutschland 1,7 mal höher, Russland übersteigt den Energieverbrauch Japans um das 17fache (BMW 2008, Capozza 2011). Dadurch ist Japan heute weltweit führend im Export energieeffizienter Maschinen.

Hervorzuheben ist auch, dass sich alle japanischen Programme zur Steigerung der Energieeffizienz annähernd selbst finanziert haben. Zudem wurden durch die politischen Regulierungen und Verordnungen Innovationen angeregt, die der japanischen Wirtschaft geholfen haben, ihre Produktionskosten erheblich zu senken und die somit die Kosten für die Erhöhung der Energieeffizienz mehr als kompensiert haben.

#### 6.5.2.2 Dänemark

Der effiziente Umgang mit Energie ist auch in Dänemark seit den 1970er Jahren eine parteienübergreifende Grundlage für die Energiepolitik des Landes. Wie in Japan wurde vor dem Hintergrund der Ölpreis-Schocks seitdem das Ziel verfolgt, die Abhängigkeit von Energieimporten Jahr für Jahr zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, wird seitdem vor allem auf den effizienten Umgang mit Energie gesetzt und es wurden in diesem Bereich gute Erfolge erzielt. Auch auf europäischer Ebene ist Dänemark im Bereich der Energieeffizienz eines der Beispielländer. Zwischen 1990 und 2008 konnte Dänemark seine Energieeffizienz um 18 Prozent steigern, wobei alle wirtschaftlichen Sektoren einen Beitrag leisteten. Zwischen 2000 und 2008 stieg die Effizienz um 7,3 Prozent. Besonders hervorzuheben ist hierbei der Beitrag des Industriesektors mit 23 Prozent. Auch die Haushalte konnten mit 16 Prozent ihren Beitrag leisten. Dieser geht vor allem auf den Austausch alter Ölwärmeanlagen durch modernere Geräte auf der Basis erneuerbarer Energieträger zurück. In anderen Sektoren stieg die Energieeffizienz deutlich langsamer oder war rückläufig, wodurch die nationale Steigerung „lediglich“ 7,3 Prozent betrug. Präzise Angaben zu diesen Sektoren werden im Energiebericht der dänischen Energieagentur allerdings nicht explizit aufgeführt. Dänemark hat darüber hinaus eine Energiesteuer eingeführt, welche vor allem eine Lenkungsfunktion hat und Anreize für den sparsamen Umgang mit Energie setzen soll.

Im März 2012 wurde mit dem ‚Energy Agreement‘ ein weiterer Meilenstein der dänischen Energiepolitik beschlossen. Ziel ist eine grüne Transformation des Landes durch einen Umstieg auf erneuerbare Energien und die Reduzierung des Energieverbrauchs. Die übergeordneten Ziele lassen sich wie folgt aufgliedern (Danish Energy Agency 2011):

- Reduzierung des Bruttoenergieverbrauchs bis 2020 um 12 Prozent gegenüber dem Jahr 2006;
- ein Anteil von 35 Prozent erneuerbarer Energien an der dänischen Energieproduktion bis 2020, hiervon 50 Prozent durch Windenergie;
- vollständige Versorgung Dänemarks mit erneuerbaren Energien bis 2050, insbesondere Strom- und Wärmeversorgung, Industrie und Transport.

Energieeffizienz ist eine der Schlüsselrollen der aktuellen dänischen Energiepolitik. Ziel ist es, die steigenden Kosten für fossile Energieträger zu begrenzen und damit Haushalte und Unternehmen zu entlasten. Der Energieverbrauch soll mittels eines Stufenplans bis 2020 durch Effizienzmaßnahmen um 7 Prozent im Vergleich zu 2010 sinken. Unternehmen müssen dieses Ziel bis 2014 zu 75 Prozent und 100 Prozent bis 2020 erreicht haben. Hierfür stehen ihnen Energieberatungen und ggf. Subventionen zur Verfügung. Darüber hinaus können Unternehmen am Green Tax Package (Schneller Ausbau von Effizienzmaßnahmen) partizipieren und in dessen Rahmen Steuererleichterung erhalten (DMCEB 2012).

Zudem sollen Pläne zur energetischen Modernisierung des Gebäudebestandes ausgeweitet werden. Dänemark hat viele Vorschriften zur energetischen Sanierung von Gebäuden und hat u. a. auch bereits den größten Teil der EU-Vorschriften zum „Null-Energie-Haus“ implementiert. Zusätzlich wurden weitgehende Energieeffizienzvorschriften erlassen und insbesondere private KWK-Versorgung unterstützt. Im Rahmen der EU-Energieeffizienz-

Direktive und dem EU-20 Prozent Energieeffizienz-Ziel soll verstärkt in neue Fernwärmenetze investiert werden. Der National „Renewable Energy Action Plan for Denmark“ sieht einen massiven Ausbau dieser Netze vor, damit auch bisher nicht angeschlossene Gebiete versorgt werden können. Des Weiteren sollen im Bereich der Gebäudesanierung vor allem veraltete Wärmeboiler mithilfe einer staatlichen Subventionierung gegen neue Techniken ausgetauscht werden und die Haushalte an das Fernwärmenetz angeschlossen werden – unterstützt werden insbesondere Solarwärme, Geothermik oder KWK-Anlagen. So darf es ab 2012 in Neubauten und bis 2017 in Altbauten keine Ölheizungen mehr geben. Außerdem soll der Anteil erneuerbarer Energien im Fernwärmenetz bis 2020 auf 80 Prozent gesteigert werden. Die dänische Regierung unterstützt dieses Programm mit bis zu 5,6 Millionen Euro (Danish Energy Agency 2011).

Unterstützt und finanziert wird die dänische Energieeffizienzpolitik durch verschiedene Finanzierungsformen. Zum einen werden die Energieanbieter mittels einer Abgabe, die sie auf ihre Tarife aufschlagen dürfen, direkt in die Finanzierung eingebunden. Zum anderen wird eine geringe Steuer auf konventionelle Wärmeversorgung erhoben, um die Versorgungssicherheit mit erneuerbaren Energieträgern und Effizienzmaßnahmen zu finanzieren. Das System ist komplex untergliedert und enthält auch Steuererleichterungen für Industrien, um auftretende Wettbewerbsnachteile zu kompensieren. So kann beispielsweise eine Reduzierung der Energiesteuer gewährt werden, wenn ein Unternehmen verstärkt in Effizienzmaßnahmen investiert. Forschungsprojekte zur Förderung der Energieeffizienz und dem Umbau des Energiesektors unterstützt die dänische Regierung jährlich mit rund 250 Millionen Euro (DMCEB 2012).

### 6.5.2.3 Zwischenfazit

Auch im Handlungsfeld Energieeffizienz wurden zwei unterschiedliche Strategien vorgestellt. Japan ist weltweiter Marktführer in Energieeffizienz; die Unternehmen des Landes produzieren die effizientesten und modernsten elektronischen Geräte. Japan hat dies durch die strikten Effizienzvorschriften des Top-Runner-Programms für die Wirtschaft erreicht. Nach 15 Jahren zeigt sich, dass diese Vorschriften nicht zu Wettbewerbsnachteilen geführt haben, sondern zu neuen, sparsamen und innovativen Produkten – also zu einem Wettbewerbsvorteil. Zudem amortisieren sich die energieeffizienten Produktionstechnologien und wirken sich insbesondere bei steigenden Energiepreisen positiv auf die Kostenstrukturen der Unternehmen aus. Es zeigt sich damit, dass staatliche Vorgaben einen positiven Effekt haben können, wenn es ihnen gelingt, notwendige Innovationen für energieeffiziente Maschinen und Produktionsprozesse zu initiieren, für die es teilweise allein auf Basis marktwirtschaftlicher Prozesse keine ausreichenden Anreize gegeben hätte. Der japanischen Regierung ist es gelungen, die staatlichen Vorgaben so zu gestalten, dass sie eine hohe Akzeptanz in der Wirtschaft erreicht haben. Prinzipiell könnte ein solches Programm auch in den deutschen Schlüsseltechnologien wie Maschinen- und Automobilbau zu innovativen Prozessen führen und den Weg zu zukunftsfähigen Industrieprodukten leiten, ähnlich der EU-Öko-Design-Richtlinie.

Ein anderes Konzept verfolgt Dänemark, welches das energieeffiziente Vorzeigeland in Europa ist. Hier wird sowohl der Ausbau der erneuerbaren Energien als auch die Steigerung der Energieeffizienz vorangetrieben, da die erneuerbaren Energien nur dann spitzenlasttauglich werden, wenn auch der absolute Energieverbrauch langfristig sinkt. Auch Dänemarks Regierung setzt auf einen Mix aus Vorschriften und Unterstützungsmaßnahmen. Besonders hervorzuheben ist, dass viel Wert auf eine Kostenteilung zwischen den privaten Haushalten und der Wirtschaft gelegt wird. So müssen die Haushalte ihre alten Heizungen gegen energieeffizientere Anlagen auf der Basis erneuerbarer Energien austauschen, werden dabei

aber vom Staat finanziell gefördert. Dasselbe trifft auf die energieeffiziente Gebäudesanierung zu. Unternehmen werden vor allem über steuerliche Anreize unterstützt. Bei ggf. steigenden Kosten können die Unternehmen diese teilweise auf die Preise aufschlagen. Das Beispiel Dänemark legt nahe, dass die Steigerung der Energieeffizienz ein wesentlicher Bestandteil einer EE-Strategie sein muss, wenn diese spitzenlastfähig werden sollen.

### 6.5.3 Ressourceneffizienz

Ziele einer erhöhten Ressourceneffizienz ist im Wesentlichen, die selektive Nutzung von erneuerbaren und natürlichen Ressourcen im Wirtschaftsprozess zu möglichst geringen Kosten zu ermöglichen. So gesehen, geht es dabei um eine Entkopplung von Ressourcennutzung und wirtschaftlicher Entwicklung (Weizsäcker et al. 2010). Ein effizienter Umgang mit Ressourcen ist daher nicht nur ein Kernelement einer ökologischen Modernisierung, sondern sorgt auch dafür, dass durch Kostensenkungen wichtige Wettbewerbsvorteile erzielt werden können. Das wird insbesondere vor dem Hintergrund deutlich, dass Ressourcen heute ca. 50 Prozent der Produktionskosten verursachen (McLoughlin 2011). Darüber hinaus verringert eine erhöhte Ressourceneffizienz die Abhängigkeit vom weltweiten Ressourcenmarkt, welcher in Zukunft bei knapper werdenden Ressourcen voraussichtlich durch weitere deutliche Preissteigerungen gekennzeichnet sein wird. Dies wird beispielsweise am Ölpreis deutlich, der im letzten Jahrzehnt innerhalb weniger Jahre von unter 50 US-Dollar auf über 145 US-Dollar pro Barrel im Jahr 2008 stieg. Gestoppt wurde dieser Trend nur durch das Einsetzen der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise und den dadurch bedingten Rückgang der Wirtschaftsproduktion in den westlichen Industriestaaten. Wie bei vielen anderen mineralischen oder fossilen Rohstoffen ist ein Rückgang der Preise nicht zu erwarten. Denn auch trotz der Erschließung neuer Fördergebiete steigt das Rohstoffangebot häufig nur wenig an oder sinkt sogar. Für dieses Phänomen wurde bei der Ölförderung der Begriff „Peak Oil“ geprägt. Dem steht ein Anstieg der Nachfrage gegenüber, der seit Jahren immer wieder zu Engpässen führt. Der Grund hierfür ist u. a. die starke Nachfrage in den aufstrebenden Schwellenländern, wo immer mehr Menschen nach einem Leben in Wohlstand streben und dabei den westlichen Lebensstandard im Blick haben. Die Menge an hierfür notwendigen Ressourcen kann bei derzeitigem Verbrauch in den Grenzen der Tragfähigkeit der Erde jedoch nicht bereitgestellt werden. Damit wird deutlich, dass eine Senkungen des Ressourcenverbrauchs dringend angezeigt erscheint, um sowohl Preisanstiege, aber auch Ressourcenkonflikte zu verhindern. Darüber hinaus erbringt die Reduktion des Ressourcenverbrauchs auch einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, da der Abbau von Rohstoffen häufig große Mengen an Kohlenstoffdioxid verursacht (Weizsäcker et al. 2010). Eine Reduzierung des Inputs von Rohstoffen kann daher zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen. Vor diesem Hintergrund ist es überraschend, dass Strategien zur Ressourceneffizienz bislang in den meisten Ländern nur eine untergeordnete Rolle in den nationalen Modernisierungsstrategien spielen. Die meisten Länder setzen in diesem Zusammenhang vor allem auf Energieeffizienz. Ausgeprägte und langfristige Modernisierungsstrategien im Umgang mit Ressourcen sind bisher noch wenige auszumachen.

In der Ressourcenwirtschaft unterscheidet man zwei verschiedene Strategien: Zum einen die Steigerung der Ressourceneffizienz, also das Verhältnis des Inputs zum Outputs von Ressourcen. Zum anderen die Entwicklung bzw. Transformation der traditionellen Industrie, mit ihren CO<sub>2</sub> intensiven Produktionsprozessen und Produkten, zu einer so genannter Low Carbon Industry und der Produktion von Umweltgütern. Diese Strategien können insbesondere durch vier Handlungsfelder erreicht bzw. gefördert werden:

- Substitution von umweltschädlichen durch umweltschonende Ressourcen;

- Schaffung von Produktionsprozessen im Sinne eines geschlossenen Kreislaufs, der Produkte nicht nur umweltschonend produziert, sondern auch das Recycling auf möglichst hoher Ebene der Wertschöpfungskette mit einschließt;
- Dematerialisierung durch Reduzierung von Ressourcen als Inputfaktor;
- Steigerung der Ressourceneffizienz im gesamten Lebenszyklus.

Ähnlich negative Effekte wie bei der Energieeffizienz können sich auch an dieser Stelle in Form von Rebound-Effekten ergeben, wenn die pro Produktionseinheit eingesparten Rohstoffe durch eine Ausweitung der Produktion verbraucht werden.

### 6.5.3.1 Vereinigtes Königreich

In Europa ist das Vereinigte Königreich Großbritannien und Nordirland einer der Vorreiter im effizienten Umgang mit Ressourcen. Die britischen Inseln verfügen über wenige natürliche Ressourcen. Daher ist der effiziente Einsatz der importierten Ressourcen von großer Bedeutung, um eine wettbewerbsfähige Wirtschaft zu ermöglichen. Das Vereinigte Königreich wählt dabei einen eher marktbasierter Ansatz, welcher die Fehlanreize und potenzielles Marktversagen beseitigen bzw. verhindern soll. Dies soll durch folgende Maßnahmen geschehen (Vivid Economics 2011):

- Schaffung eines Preises für Kohlendioxid, um so negative externe Effekte zu internalisieren;
- Förderung neuer Technologien;
- die Überwindung von negativen Verhaltensmustern und -beschränkungen durch das Beheben asymmetrischer Informationen.

Mittelfristig setzt die britische Regierung seit Jahren auf die Lenkungsfunction von Umweltsteuern und -abgaben. Langfristig will das Vereinigte Königreich seine Wirtschaft zu einer Low-Carbon-Economy umbauen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Kapitalbeschaffung für grüne Investitionen.

Ziel der Umweltabgaben und -steuern ist die Förderung des effizienten Umgangs mit Rohstoffen. Das Hauptziel solcher Steuern ist es, die bei Produktion oder Konsum entstehenden externen Kosten zu internalisieren. Das Prinzip lautet dabei „tax bads not goods“. Dies soll den Anreiz bieten mit knappen oder umweltschädlichen Gütern sparsam umzugehen und verstärkt auf energie- und ressourceneffiziente Produktionsweisen zu setzen (Weizsäcker et al. 2010). Die Einnahmen der Steuern sollen – im Idealfall – wiederum in umweltschonende Maßnahmen investiert werden, z. B. in die Wiederaufforstung, in die Finanzierung von Steuererleichterung für umweltfreundliche Güter oder in die Beseitigung von Umweltschäden.

Mit Blick auf ein eher marktliberales Land mit geringem Steueraufkommen wie das Vereinigte Königreich mag es überraschen, dass dort bereits 1996 eine Umweltsteuer auf Abfallprodukte erhoben wurde – die so genannte Landfill tax, welche sowohl auf private Haushalte wie auch Unternehmen abzielt. Ziel dieser Steuer ist es, die Abfallmenge deutlich zu reduzieren sowie die Wiederverwertung und das Recycling zu unterstützen. Der Steuersatz berechnet sich auf Gewichtsbasis und Typ des Abfalls und beträgt zwischen ca. 2,50 Euro und 45 Euro pro metrischer Tonne. Eine jährliche Erhöhung der Steuer soll den Anreiz zur Ressourcenschonung kontinuierlich verstärken – bis 2015 wird der Preis pro Tonne bis zu 90 Euro betragen (Technology Strategy Board 2009). Dadurch wird jährlich eine Summe von ca. 650 Millionen Euro eingenommen, welche im Rahmen des Landfill Tax Credit Scheme des Department for the Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) teilweise in Projekte zur

nachhaltigen Ressourcennutzung und Rohstoffforschung reinvestiert wird. Dies geschieht zum größten Teil durch Förderung auf Kreditbasis, wobei bis zu 90 Prozent der Projektkosten durch diese Steuer bezahlt werden. Ein weiterer Großteil der durch diese Steuer generierten Einnahmen wird, ähnlich wie bei der deutschen Ökosteuer, zur Finanzierung der sozialen Sicherungssysteme genutzt. Die Implementierung der Steuer führte in erster Linie zu einer besseren Datenlage über den Ressourcenverbrauch des Landes und dieser konnte so erstmals zuverlässig statistisch erfasst werden, so dass eine Datengrundlage für weitere ressourcenpolitische Maßnahmen zur Verfügung stand. Zudem konnte der Ressourcenverbrauch in der Wirtschaft deutlich gesenkt werden, wobei durch innovative Effizienzmaßnahmen nur geringe Zusatzkosten entstanden. Da die privaten Haushalte weniger Möglichkeiten haben, ihren Ressourcenverbrauch zu reduzieren, wurden in diesem Bereich deutlich weniger Verhaltensänderungen im Umgang mit Abfall induziert. Im Ganzen sind Privathaushalte dadurch von dieser Steuer tendenziell stärker belastet (GTZ 2007). Als Konsequenz plant das DEFRA auf Grundlage dieser Erkenntnisse eine umfangreiche Aufklärungs- und Informationskampagne für private Haushalte, um die geringen Potenziale bestmöglich zu nutzen.

Als weiteres marktwirtschaftliches Anreizinstrument besteuert die britische Regierung im Rahmen des EU-Emissionshandelssystem seit 2001 mit dem climate change levy die Emission von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Die Regierung legt dabei einen maximalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß für das Land fest und bestimmt die Anzahl der CO<sub>2</sub>-Zertifikate. Für jede Anlage die einen relevanten Ausstoß hat, müssen die Betreiber Zertifikate erwerben oder auf ressourceneffizientere Anlagen ausweichen. Durch eine periodische Reduzierung der Zertifikate steigt deren Preis und damit der Anreiz zur Substitution weiter an. 2009 lag der Preis zwischen 10 und 30 Euro pro Tonne. Durch die Reduzierung der Zertifikate soll der Preis bis 2020 auf 60-90 Euro pro Tonne steigen (Technology Strategy Board 2009). Ziel ist es, sowohl neue ressourcenschonende Technologien zu fördern, als auch den nationalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2020 um 34 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren (HM Government 2009).

Langfristig setzt das Vereinigte Königreich auf eine Transformation seiner Wirtschaft in eine Low-Carbon-Economy und damit auf die Dekarbonisierung der Wirtschaft. Dabei liegt der Schwerpunkt auf so genannten Low Carbon Environmental Goods and Services (LCEGS), welche umweltfreundlich und ressourcenschonend produziert bzw. angeboten werden. Zu diesem Sektor gehören neben den erneuerbaren Energien auch Techniken zur energieeffizienten Gebäudesanierung und grünes Investment. Der LCEGS-Sektor hat im Vereinigten Königreich ca. eine Million Beschäftigte und einen Anteil von 7 Prozent am nationalen BIP. Bis 2015 sollen eine weitere halbe Million Arbeitsplätze entstehen. Der Umsatz betrug 2010/11 ca. 120 Milliarden Euro, bei einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 5 Prozent. Das entspricht einem Anteil von 4 Prozent am Weltmarkt. Die Wertschöpfung pro Beschäftigtem ist in diesem Sektor mit ca. 150.000 Euro im Jahr mehr als doppelt so hoch wie im nationalen Durchschnitt (BERR 2009). Während der wirtschaftlichen Rezession in den Jahren 2008 und 2009 konnte der LCEGS-Sektor ein positives Wachstum verzeichnen. Auch in den nächsten Jahren wird nach Prognosen des Department for Business, Innovation and Skills (BIS) eine zunehmende Wachstumsrate erwartet (BIS 2012).

Um den langfristigen Umbau der britischen Wirtschaft zu unterstützen, wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Unterstützungsinstrumente implementiert. Beispielsweise nutzt das Vereinigte Königreich ein umfangreiches Indikatorensystem zur Überwachung der Nutzung von natürlichen Ressourcen und Ökosystemen wie Wasser, Böden und Luft sowie für den Straßenverkehr und das Transport- und Bauwesen. Diese sollen nicht nur den gegenwärtigen Stand dokumentieren, sondern Prognosen für die zukünftige Entwicklung erlauben, um

politische Maßnahmen zum Schutz und Erhalt der Ressourcen zu ermöglichen. Umfangreiche Aufklärungs- und Informationskampagnen, zum Teil mit prominenter Unterstützung, sollen einen nachhaltigen Konsum und vorbildliches Verhalten fördern (OECD 2011). Für die britische Regierung sind Green Investments als Bestandteil von Environmental Services wesentlicher Baustein einer Low-Carbon-Economy. Um verstärkt grüne Investitionen nach Großbritannien zu locken, wurde im April 2012 die erste Green Investment Bank der Welt gegründet und somit die Attraktivität des Londoner Finanzplatzes gestärkt. Der Handel mit Anleihen und Wertpapieren soll 2015 beginnen. Schätzungen zur Folge, beträgt der Bedarf an Investitionen in eine Green Economy in Großbritannien bis 2020 zwischen 250 und 400 Milliarden Euro (Vivid Economics 2011). Den gesamten Prozess der Transformation überwachen soll eine überparteiliche Kommission aus Vertretern aller gesellschaftlichen Bereiche. Das Climate Committee soll die Umsetzung des Climate Change Act überprüfen und Empfehlungen geben oder auf Fortschritte hinweisen (OECD 2011).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Vereinigte Königreich eine Vielzahl an mittel- und langfristigen Instrumente einsetzt, die alle zusammen ein schlüssiges Gesamtkonzept ergeben. Bei der Umsetzung der Ressourceneffizienz-Strategie der Europäischen Union liegt Großbritannien in vielen Bereichen auf den vordersten Plätzen. So konnte die Recyclingrate bei Haushaltsmüll innerhalb von zehn Jahren verdreifacht werden und liegt heute bei 40 Prozent. Zudem sank die durchschnittliche Abfallproduktion pro Kopf seit 2006 um 88 kg auf insgesamt 263 kg/Kopf (im Vergleich: In Deutschland liegt dieser Wert bei 530 kg/Kopf). 52 Prozent des kommerziellen und industriellen Abfalls wurden recycelt oder wiederverwertet. Viele Abfallprodukte sollen in Zukunft zur Energieerzeugung beitragen, z. B. Klärwasserschlämme soll bis 2020 schätzungsweise 3-5 Terawattstunden Elektrizität und 6 -10 Terawattstunden Wärme erzeugen. Insgesamt kann das Vereinigte Königreich durch diese Maßnahmen den Ausstoß an CO<sub>2</sub> um schätzungsweise 18 Millionen Tonnen pro Jahr reduzieren – was dem Ausstoß von 5 Millionen Kraftfahrzeugen entspricht (Defra 2012).

### 6.5.3.2 Südkorea

Die ökologische Modernisierung Südkoreas erlangte während der Weltwirtschaftskrise 2009 große Aufmerksamkeit. Das von der Regierung geplante Konjunkturprogramm zur Unterstützung der nationalen Wirtschaft, zeichnete sich durch einen besonders hohen Anteil an grünen Investitionen aus. Ungefähr 80 Prozent der staatlichen Investitionen wurden in grüne Bereiche investiert und damit insgesamt ca. 30 Milliarden US-Dollar vorwiegend in die Bereiche erneuerbare Energien, energieeffiziente Gebäudesanierung, schadstoffarme Automobile, Ausbau des Schienenverkehrs und in das Wasser- und Abfallmanagement. Durch den Multiplikatoreffekt des Programmes wollte sich Südkorea auf einen Pfad des green growth bringen (UNEP 2010). Ähnlich wie bereits andere hier angeführte Beispielländer verfügt Südkorea über wenig nationale Ressourcen und ist von Importen abhängig. Im Durchschnitt müssen mehr als die Hälfte aller Rohstoffe importiert werden. Besonders hoch ist die Abhängigkeit mit 97 Prozent bei Rohstoffen zur Energieerzeugung (Giljum et al. 2010). Das Ziel der Regierung ist es daher, die Importabhängigkeit insbesondere in diesem Bereich zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, verkündete die Regierung im Juli 2009 einen 5-Jahres-Plan (2009-2013) für einen Green New Deal, um so eine kohlenstoffarme Wirtschaft und grünes Wachstum zu fördern. Für diesen Zeitraum ist jährlich ein Budget von ca. 75 Milliarden Euro (2 Prozent des BIP) eingeplant, was über die fünf Jahre zusammengenommen 10 Prozent des nationalen Bruttoinlandsproduktes entspricht. Der gesamte Modernisierungsplan für Südkorea ist auf 50 Jahre angelegt (OECD 2012). Grundlage für diesen ist das "Basic Law for Green Growth", welches im Januar 2010 in Kraft getreten ist und sich in drei Strategien, zehn

politische Handlungsfeldern und 50 Kernprojekte aufteilt, die sich wiederum in über 600 Einzelprojekte untergliedern.

Die drei Hauptziele der südkoreanischen Modernisierungsstrategie setzen sich wie folgt zusammen: die Schaffung von Maßnahmen gegen den Klimawandel, Maßnahmen zur Anpassung an diesen und die Absenkung der Abhängigkeit von Energieimporten. Hierfür sollen der Ausbau der erneuerbaren Energien sowie effizienterer Energietechniken durch eine ökologische Modernisierung der Wirtschaft gefördert und somit letztendlich auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Landes deutlich gesenkt werden. Die zweite Strategie ist die Schaffung von Green Growth-Quellen. Dies soll durch die Förderung neuer umweltfreundlicher Technologien erfolgen, die einen langfristigen Umbau der Wirtschaft ermöglichen. Hierzu sollen neue politische Instrumentarien und Infrastrukturen geschaffen werden, welche die Wirtschaft stets auf dem neuesten Stand der Technik hält. Die dritte Strategie soll die Lebensqualität im Land steigern und die Reputation des Landes fördern. Hierzu zählen grüne Städteplanung und Transportwege, eine grüne Revolution des Lebensstils, sowie die internationale Kooperation zur Förderung des Green Growth-Gedankens (UNEP 2010).

Als aufstrebende Industrienation hat sich Südkorea insbesondere vorgenommen, einer der Hauptanbieter für Zukunftstechnologien zu werden und dadurch neue grüne Wachstumskräfte zu entwickeln. Hierfür hat es prioritäre Handlungsfelder und 27 damit verbundene Technologien identifiziert, die besonders gefördert werden sollen: Die als prioritär eingestuften Handlungsfelder sind: Klimawandel, Forschung zu erneuerbaren Energien, Energieeffizienztechnologien (z. B. Green Cars, Green-IT, Green Citys) und End-of-Pipe Technologien (z. B. Wasserqualität, Weiterverarbeitung von CO<sub>2</sub>). Hierfür stehen bis 2013 Projektmittel von bis zu 2,2 Milliarden US-Dollar bereit. Gefördert werden sollen insbesondere Zukunftsbranchen wie die Nano- und Biomedizintechnologien, Telekommunikation und IT-Technologien, welche einzeln oder auch im Zusammenwirken zur Effizienzsteigerung bestehender Technologien beitragen können. Im Vergleich zu 2008 wurden die staatlichen Ausgaben zu Forschung & Entwicklung grüner Technologien um 20 Prozent auf jährlich ca. 3 Milliarden US-Dollar gesteigert. Bis 2013 sollen 9 Milliarden US-Dollar zusätzlich investiert werden. Zudem hat sich die Regierung zusammen mit der Wirtschaft auf ein umfangreiches Public-Private-Partnership (PPP) Forschungsprogramm geeinigt, welches für die nächsten fünf Jahre ein Volumen von 40 Milliarden US-Dollar hat und zu 75 Prozent von der Wirtschaft finanziert wird. Damit soll die Wettbewerbsfähigkeit der südkoreanischen Unternehmen durch moderne Technologien gesteigert und durch gemeinsame Entwicklungen den zukünftigen Problemen der Rohstoffversorgung begegnet werden. Das Programm wird in seiner Umsetzung und Ausrichtung als weltweit führend angesehen (McKinsey 2011, UNEP 2010). Hiermit schließt die Regierung eine Lücke die traditionell zu Marktversagen aufgrund von fehlenden Anreizen für langfristige Investitionen führt: einzelne Unternehmen haben keine ausreichenden Anreize in grüne Zukunftstechnologien zu investieren, da sie zwar den gesamten Forschungsaufwand tragen müssen, aber aufgrund des Wissens-Spillover vor allem längerfristig nur einen Teil des Vorteils für sich nutzbar machen können. Seit 2009 wurden knapp 2/3 der ca. 5.000 Projekte des 5-Jahres-Plan durchgeführt, wobei von diesen Projekten 2/3 von privaten Unternehmen im Rahmen der PPP-Programme getätigt wurden. Unternehmen, die sich an diesen Projekten beteiligen, erhalten vergünstigte Kredite zur Finanzierung oder Kreditgarantien von staatlichen Institutionen (OECD 2012).

Der Plan der südkoreanischen Regierung beinhaltet auch regulative Vorgaben. Diese schreiben z. B. dem Automobilsektor vor, dass neuverkaufte Autos ab 2015 nur noch ca. 5 Liter pro 100 Kilometer verbrauchen oder maximal 140g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen dürfen. Um die Abhängigkeit von Importen fossiler Energie und von Treibstoffen zu reduzieren, wurde ein "renewable fuel

standard” ähnlich dem bereits erwähnten Renewable Portfolio Standard in den USA eingeführt. Dies betrifft den Transportsektor, der bis 2012 seiner Flotte 3 Prozent und bis 2020 7 Prozent Biodiesel beifügen muss. Ein weiteres Set an Maßnahmen fördert die ökologische Modernisierung der Städte, Ausbau öffentlicher Verkehrssysteme und die energieeffiziente Gebäudesanierung, mit einem Gesamtvolumen von 25 Milliarden US-Dollar (UNEP 2010). Südkorea besitzt zudem eines der effektivsten Abfall- und Recyclingsysteme außerhalb der Europäischen Union (COWI 2011). Im Jahr 2003 wurde die bisherige Abfallvermeidungsstrategie in eine Abfallreduzierungs- und Ressourceneffizienzstrategie umgewandelt. Abfall soll auch als Energieträger verwendet werden und wird seitdem in der koreanischen Politik als eine Ressource behandelt. Pro Jahr wird in Südkorea ein Betrag von 581 Millionen Euro für die Verwertung des angefallenen Abfalls als Energiequelle ausgegeben. Damit wird jährlich Energie im Wert von 730 Millionen Euro erwirtschaftet, was gegenüber den Kosten ein deutlicher wirtschaftlicher Gewinn ist. Insgesamt wird 92 Prozent des Abfalls in Südkorea recycelt oder wiederverwertet (COWI 2011).

Zur Finanzierung des Green Growth-Planes strebt die südkoreanische Regierung einen Umbau des fiskalischen Systems an (UNEP 2010, OECD 2012). Steueranreize sollen die gewünschten Investitionen für Unternehmen interessant machen. Zudem kauft der Staat langfristige Anleihen zu niedrigen Zinsen von kleinen und mittleren Unternehmen, die sich am Green Growth-Plan beteiligen. Darüber hinaus wird ein Green Fund eingerichtet, der Kredite für Projekte der ökologischen Modernisierung für Unternehmen bereitstellt, die für diese Projekte unter Marktbedingungen keine wirtschaftlichen Kredite bekommen hätten. Privaten Investoren werden Steuererleichterungen auf ihre Kapitalerträge aus grünen Anleihen gegeben. Im Juli 2012 hat das südkoreanische Parlament der Einführung eines nationalen Emissionshandelssystems zugestimmt (Bloomberg 2012), welches im Jahr 2015 starten und durch dieses System der Umverteilung weitere Finanzierungsmöglichkeiten ermöglichen soll. Der OECD-Bericht Economic Survey Korea empfiehlt jedoch zusätzlich die Einführung einer Steuer auf den Ausstoß von Kohlendioxid (OECD 2012).

Die Bemühungen für einen effizienten Umgang mit Ressourcen können als sehr vorbildlich betrachtet werden. Südkorea hat für ein Mitgliedsland der OECD und einen entsprechenden Lebensstandard einen sehr niedrigen Ressourcenverbrauch von 9 Tonnen/Kopf im Jahr. Dies ist deutlich niedriger als der durchschnittliche Verbrauch in Europa (36 Tonnen) oder Nordamerika (68 Tonnen) (Giljum et al. 2010; Sustainable Europe Research Institute 2009). Zwar wächst der Materialverbrauch absolut gesehen auch in Südkorea weiterhin an, jedoch deutlich geringer als in anderen Schwellenländern des asiatischen Raumes. In manchen Bereichen konnte er auch deutlich reduziert werden, z. B. bei Biomasse und Metallen. Zudem ist Südkorea dem Ziel einer Entkopplung von Wachstum des BIPs und Zunahme des Rohstoffverbrauchs wesentlich näher als die meisten anderen Staaten. So verdreifachte sich das koreanische BIP in den letzten 20 Jahren, während der Ressourcenverbrauch nur um 60 Prozent zunahm (Giljum et al. 2010). Darüber hinaus besitzt das Land eine der niedrigsten Energieintensitäten der Welt und ist mit einem Wert von 0,006 verbrauchtem Kilowatt pro Dollar des Bruttoinlandproduktes auf einem vergleichbaren Niveau mit Japan. Auch andere Indikatoren zeigen, dass das Land eine vergleichbare hohe Energieeffizienz wie Japan besitzt (UNESCAP 2009). Zudem unterstützt die Industrie des Landes die ökologische Transformation der Wirtschaft. Einer Umfrage zur Folge tragen 70 Prozent den Green Growth-Plan der Regierung und knapp 50 Prozent der Unternehmen sind bereit, kurzfristig ihre Investitionen in grüne Bereiche zu steigern. Zudem erwartet die südkoreanische Wirtschaft von dem Plan zu profitieren und eine Steigerung der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes (UNEP 2010).

Insgesamt schätzt das koreanische “Presidential Committee on Green Growth” die Höhe der notwendigen Investitionen für die grüne Transformation bis 2013 auf ca. 83,6 Milliarden US-Dollar. Diese werden aber bis zu 160,4 Milliarden US-Dollar mittels Multiplikatoreffekten an Erlösen einbringen und ca. 1,5 Millionen Jobs schaffen (UNEP 2010).

### 6.5.3.3 Zwischenfazit

In vielen Strategien zur ökologischen Modernisierung der Wirtschaft spielt der effiziente Umgang mit natürlichen Ressourcen noch eine untergeordnete Rolle und ist oftmals nur ein Bestandteil der Energieeffizienz. Dies überrascht, da die Rohstoffe als Inputfaktor der Wertschöpfung einen deutlich höheren Anteil an den Kosten haben als Energie. Daher muss es auch gelingen, den absoluten Ressourcenverbrauch zu senken. Entgegen diesem naheliegenden Erfordernis zielen die hier vorgestellten Strategien jedoch eher auf mittel- bis langfristige Effekte ab, nämlich die ökologische Modernisierung und Transformation der Wirtschaft zu einer Low-Carbon-Economy. Die beiden vorgestellten Fallbeispiele zeigen auch in diesem Handlungsfeld zwei unterschiedliche Ansätze, die jedoch dasselbe Ziel verfolgen. Für das Vereinigte Königreich geht es vor allem um die langfristige Transformation der heimischen Wirtschaft, um auf sich verändernden Weltmärkten weiterhin innovativ und wettbewerbsfähig sein zu können. Eine Low-Carbon-Economy senkt nicht nur den Preisdruck, da weniger Ressourcen benötigt werden, sondern fördert zudem die Entwicklung wichtiger Zukunftstechnologien. Um dies marktwirtschaftlich zu ermöglichen, werden Steuern auf Ressourcen erhoben, um somit die negativen externen Effekte zu internalisieren und einen Anreiz für einen effizienten Umgang mit diesen zu setzen. Langfristig setzt der Staat jedoch wirtschaftspolitische Leitplanken, da der marktwirtschaftliche Anreiz für Unternehmen, auf eine Low-Carbon-Economy umzusteigen, zu gering ist. Dieses potenzielle Marktversagen kann nur der Staat beheben bzw. vermeiden.

An diesem Punkt ähneln sich die Ansätze im Vereinigten Königreich und Südkorea. Auch Südkorea hat den strategischen und langfristigen Plan einer ökologischen Modernisierung der Wirtschaft. Hier steht jedoch das Ziel einer wirtschaftlichen Entwicklung im Mittelpunkt, also der Aufbau einer international konkurrenzfähigen Wirtschaft. Als Schwellenland sieht die Regierung Umwelttechnologien vor allem als einen Wachstumsmotor an, mit denen man sich von anderen Ländern absetzen kann. Zudem vermindert eine solche Strategie die Abhängigkeit gegenüber den globalen Rohstoffmärkten, was in Konkurrenz zu anderen Wirtschaftsnationen ein weiterer entscheidender Kostenvorteil sein kann. Das Konzept der ökologischen Modernisierung Südkoreas ist sehr weit gefasst und bezieht auch Bereiche wie Stadtplanung, Mobilität und Bildung mit ein. Die staatlichen Forschungsprogramme setzen auf eine umfangreiche Beteiligung privater Investoren und Unternehmen, mit dem Ziel der Technologieführerschaft in bestimmten Schlüsseltechnologien. Durch die starke Einbindung der nationalen Wirtschaft in den langfristigen Modernisierungsplan, wird dieser von den wirtschaftlichen Akteuren akzeptiert und unterstützt.

Besonders hervorzuheben und essentiell für eine ökologische Modernisierung sind die langfristig ausgelegten Strategien zum Umbau der nationalen Wirtschaft. Steuern und Abgaben auf Ressourcen fördern den effizienten Umgang mit diesen. Dabei besteht das Ziel darin die Instrumente so effektiv zu gestalten, dass die Summe der kurzfristigen zusätzlichen Kosten durch mittel- und langfristige Kosten- und Wettbewerbsvorteile kompensiert werden. Dadurch könnte es zu einem neuen Innovationsschub im Bereich der Umwelttechnologien kommen, welche zukünftig von steigender Bedeutung sein werden. Durch Skaleneffekte und steigende Nachfrage lassen sich ähnlich wie bei den Strategien zum Handlungsfeld Energieeffizienz erhebliche Kosten- und Wettbewerbsvorteile realisieren. An vielen Punkten

haben dies Japan, das Vereinigte Königreich, Dänemark und auch Südkorea in beiden Handlungsfeldern bereits vorgemacht.

#### 6.5.4 Mobilität

Der Zugang zu und die Verfügbarkeit von Mobilität gilt als ein entscheidender Faktor für wirtschaftliche Entwicklung. Wenig überraschend nimmt die Mobilität denn weltweit auch mit hohem Tempo zu. Damit gehen vor allem in den so genannten Schwellenländern enorme Umweltbelastungen und gesundheitliche Risiken einher. Bis 2030 werden global 1,3 Milliarden Personenkraftfahrzeuge auf den Straßen unterwegs sein; der größte Teil davon in den Schwellenländern (IEA 2011). Zusammen mit dem steigenden Verkehrsaufkommen nimmt dadurch die Abhängigkeit vom Öl weiter zu und sorgt bei steigender Nachfrage und sinkenden Fördermengen zu steigenden Preisen (WBCSD 2004).

Der Transport-Sektor verursacht ca. 25 Prozent der globalen energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, wovon wiederum 75 Prozent auf den Verkehrsträger Straßenverkehr entfallen. Darüber hinaus haben 50 Prozent des weltweiten Ölverbrauchs und 80 Prozent der städtischen Luftverschmutzung ihren Ursprung im Transportsektor (UNEP 2011a). Besonders der Straßenverkehr verzeichnet große Zuwachsraten, insbesondere in den schnell wachsenden OECD-Staaten. Dies ist sowohl auf die zunehmende individuelle Mobilität durch Kraftfahrzeuge als auch den steigenden regionalen und lokalen Warenverkehr, welcher meist von LKWs getätigt wird, zurückzuführen. Der globale Warenverkehr wird dagegen nach wie vor vom Schiffsverkehr dominiert (Kahn Ribeiro 2007). Die weltweite Anzahl von Kraftfahrzeugen wird bis 2050 von 800 Millionen Fahrzeugen auf schätzungsweise 2-3 Milliarden ansteigen. Einem Business-as-usual (BAU) Szenario des Umweltprogramms der Vereinten Nationen zufolge, könnten die verkehrsbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen dann um 250 Prozent gestiegen sein (UNEP 2011a).

Mit Blick auf das Ziel einer Green Economy wird damit deutlich, dass ein nachhaltiges Mobilitätskonzept in enger Verbindung zu den vorgenannten Handlungsfeldern in diesem Kapitel steht. Mobilität kann nicht ohne eine Verbindung zu erneuerbaren Energien sowie Energie- und Ressourceneffizienz betrachtet werden. Mobilität ist nicht nur ein Handlungsfeld für sich, sondern liefert auch einen erheblichen Beitrag zur Erfüllung der anderen Bereiche. Leider wird dies in vielen ökologischen Modernisierungsstrategien nicht oder nur unbefriedigend berücksichtigt. Mobilitätskonzepte werden dabei nur als ein Teilaspekt der anderen drei genannten Handlungsfelder gesehen und eher nachrangig behandelt. Mit Blick auf die Höhe der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors ist es aber unverzichtbar, eine eigene, langfristige und nachhaltige Mobilitätsstrategie im Rahmen einer ökologischen Modernisierung zu entwickeln. Die steigende Nachfrage nach individueller Mobilität sowie die stetige Zunahme des Frachtaufkommens im Welthandel, setzen neue Herausforderungen für zukünftige Mobilitätskonzepte.

Innovative Ansätze finden sich meist auf lokaler oder regionaler Ebene. In der Regel steht dabei die Reduzierung der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vordergrund, da diese wie bereits oben beschrieben einen bedeutenden Anteil am Gesamtausstoß haben. Gleichzeitig ist festzustellen, dass mehrere internationale Pilot- und Versuchsprojekte im Zuge der anhaltenden Finanzkrise aufgeschoben oder gar gestoppt wurden.

Vor diesem Hintergrund können im folgenden Unterkapitel keine umfassenden Vorreiterstrategien und deren Instrumenteneinsatz untersucht werden, sondern es werden mögliche wirtschaftspolitische Instrumente und deren Auswirkungen auf eine ökologische

Modernisierung anhand exemplarischer Beispiele vorgestellt, sowie vereinzelte regionale Ansätze mit einem exemplarischen Charakter.

#### 6.5.4.1 Regionale Mobilitätsansätze

Auch wenn auf nationaler Ebene keine umfassenden Mobilitätskonzepte existieren, so gibt es auf regionaler Ebene einige vielversprechende Ansätze. Diese sollen an dieser Stelle kurz dargestellt werden:

- **Regional Land Transport Programme (Großraum Wellington/Neuseeland):** Der Großraum um die Hauptstadt Wellington ist das Hauptverkehrszentrum von Neuseeland. Der größte Teil des inländischen Waren- und Transportverkehrs verläuft über diesen Knotenpunkt. Ziel ist es, ein nachhaltiges Verkehrskonzept für die Region zu entwickeln und so den Einfluss der überlasteten Infrastruktur auf die Umwelt und den Menschen zu reduzieren. Hierfür werden neben Investitionen in den Ausbau der Infrastruktur auch die Fahrpläne des ÖPNV als auch der Schulbusse dem statistischen Verkehrsaufkommen angepasst. Hierdurch konnte das Stauaufkommen und die negativen Effekte auf Mensch und Umwelt deutlich reduziert werden sowie durch effizientere und moderne Transportinfrastruktur das Wirtschaftswachstum gesteigert werden. Insgesamt investiert die Regierung ca. 50 Millionen Euro pro Jahr in das Programm (Wellington Regional Council 2012).
- **EuroMed Transport Project:** Dieses Projekt ist eine grenzüberschreitende Kooperation von Staaten des mediterranen Raumes, welche im Rahmen des Barcelona-Prozesses gegründet wurde. In ihr sind sowohl Mitgliedsstaaten der Europäischen Union als auch nordafrikanische Länder vertreten. Ziel ist es, die Transportinfrastruktur der Region zu fördern, um wechselseitig den wirtschaftlichen Handel zu unterstützen. Dafür sollen Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftverkehrswege ausgebaut werden. Zudem sollen gemeinsame Instrumentarien und Regulierungen für die Förderung nachhaltiger Verkehrs- und Transportkonzepte entwickelt werden. Probleme gibt es derzeit noch bei der politischen Ausgestaltung der Vorhaben und bei der Finanzierung der Arbeitsgruppen (EuroMed Transport Project 2005).
- **Regional Transportation Improvement Program (Kalifornien/USA):** Dieses Programm ist eine Sammlung unterschiedlichster Infrastrukturprogramme in den Millionenmetropolen des US-Bundesstaates Kalifornien (vornehmlich Los Angeles, San Francisco und San Diego), welche die immensen verkehrsbedingten Umwelt- und Gesundheitsbelastungen deutlich reduzieren soll. Hierbei werden sowohl Autobahnen ausgebaut als auch neue Transit-, Bus- und Bahnstrecken realisiert sowie technische Infrastrukturmaßnahmen wie eine intelligente Signalschaltung und Lärm- bzw. Umweltschutzanlagen errichtet (Southern California Association of Governments 2012).
- **West Africa Regional Transport and Transit Facilitation Project:** Dieses von der Weltbank finanzierte Entwicklungsprojekt soll die Infrastruktur in Westafrika nachhaltig verbessern. Neben dem Ausbau des Straßen- und Schienennetzes sind auch diverse Sicherheitsmaßnahmen für die Reisenden vorgesehen. Hierzu werden auch satellitengestützte Überwachungs- und Navigationssysteme für die Sicherheit auf den Transportwegen eingerichtet. Hierdurch soll der Handel zwischen den westafrikanischen Staaten gefördert werden. Zudem sollen sanitäre und medizinische Anlagen entlang der Strecken gebaut werden, um die Verbreitung von ansteckenden Krankheiten zu reduzieren. Das Projekt hat ein Investitionsvolumen von ca. 200 Millionen US-Dollar (World Bank 2012).

#### 6.5.4.2 Wirtschaftspolitische Instrumente im Mobilitätsbereich

Die gängigen Instrumente zu Förderung nachhaltiger Mobilität lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Landnutzungs- und Verkehrswegeplanung
- Steuern und Preise
- Regulationen und operative Instrumente (z. B. Verkehrsmanagement, -kontrolle und -informationen)
- Treibstoffstandards (in Richtung Nachhaltigkeit)
- Methoden des Transport-demand-management
- Förderung neuer Technologien und Projekte

Ein Teil der oben genannten Instrumente zielt auf Verhaltensänderungen der Konsumenten und damit auf die Nachfrageseite. Beispielhaft zu nennen sind hier Kaufanreize für sparsame Automodelle oder Informationskampagnen zur Reduzierung der Geschwindigkeit. Bisherige Erfahrungen zeigen allerdings, dass sich diese Bemühungen oftmals als ineffektiv herausstellten, da die Nachfrageelastizitäten sehr gering ausfallen und es daher schwer ist, Verhaltensänderungen herbeizuführen (Kahn Ribeiro 2007). Ob und wie sich diese Elastizitäten bei stark ansteigenden Rohölpreisen möglicherweise verschieben könnten, ist eine wichtige Frage, die genauer untersucht werden sollte. Neue Erkenntnisse, wie sich die Nachfrage nach Benzin bei einem Rückgang des Ölangebotes verhält, liegen aktuell noch nicht vor. Erfahrungen hierzu gibt es lediglich aus OECD-Staaten. In diesen sorgt ein ansteigender Benzinpreis nur kurzfristig zu einem Rückgang der Nachfrage, die dann aber wieder ansteigt und sich wieder dem Ausgangswert nähert. Die Nachfrageelastizität ist auch an diesem Punkt sehr gering. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Preisanstiege bisher in einem moderaten Tempo vorstättengingen und auch das Preisniveau derzeit noch als moderat einzustufen ist (Kahn Ribeiro 2007).

Vor diesem Hintergrund erscheint es effektiver, solche Ansätze zu wählen, welche eine Fokussierung auf der Angebotsseite aufweisen. Einen solchen Weg geht die Europäische Union, welche sich insbesondere auf den Schadstoffausstoß konzentriert. Bis 2030 sollen die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 20 Prozent gegenüber dem Wert von 2008 reduziert werden, sowie um 60 Prozent bis 2050 gegenüber dem Wert von 1990 (Europäische Kommission 2011). Daher hat die Europäische Union strenge Grenzwerte beschlossen, die den maximalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von in der EU zugelassenen Fahrzeugen definiert. Bei Überschreitung müssen die Hersteller der Fahrzeuge Strafen zahlen. Hierdurch sollen im Idealfall Innovationsschübe initiiert und in der Folge effizientere Autos entwickelt und produziert werden. Es besteht die Hoffnung, dass Wettbewerbsvorteile erzielt werden können, vor allem gegenüber dem US-amerikanischen und einigen asiatischen Herstellern. Bisherige Erfahrungen haben in diesem Kontext deutlich gemacht, dass sich strenge Grenzwerte und Umweltauflagen positiv auf Wettbewerbsfähigkeit auswirken können, indem sie erfolgreiche innovative Entwicklungen initiieren. Dabei werden diese Innovationsschübe umso stärker, je besser es gelingt, die externen Kosten des Verkehrs zu internalisieren (Jänicke 2012, Canzler und Knie 2009). Dieses klassisch europäische Vorgehen wurde in den letzten Jahren auch von asiatischen Staaten und der USA übernommen (Canzler und Knie 2009). Ein entscheidender Vorteil dieser Strategie ist es, dass die entstehenden Kosten für Forschung und Entwicklung durch die entstehenden Wettbewerbsvorteile kompensiert werden können (Jänicke 2012).

Während die europäischen Staaten vor allem darauf abzielen, den traditionellen Verbrennungsmotor effizienter weiterzuentwickeln, werden in Japan vor allem die Elektro- und Hybridmobile gefördert. Dies geschieht hauptsächlich über steuerliche Anreize (Capozza 2011). So wurden seit 1997 mehr als zwei Millionen Elektro- und Hybridautos in Japan verkauft. Der japanische Automobilmarkt ist daher mit Abstand der erfolgreichste Markt für diese Technologien, was die japanischen Hersteller zu Technologieführern in diesem Bereich macht (Canzler und Knie 2009). Neueste Studien lassen darauf schließen, dass dies vor allem durch das japanische Top-Runner-Programm ermöglicht wurde, das mittlerweile auch in anderen asiatischen Staaten Anwendung findet (Jänicke 2012). Diese Strategie fördert innovative Konzepte auf der Angebots- bzw. Herstellerseite. Gegen die Doppelunterstützung (durch das Top-Runner-Programm und die finanziellen Anreize) in Japan legten die USA auf Druck der eigenen Automobilindustrie Protest ein – allerdings erfolglos. Heute verfügt u. a. der US-Bundesstaat Kalifornien über ein ebensolches System.

In den USA liegt die Umweltpolitik wie bereits in Kapitel 6.5.1.2 beschrieben größtenteils bei den US-Bundesstaaten. Einige fördern bereits seit Jahren verstärkt alternative Treibstoffe. In den USA basieren diese vor allem auf Biomasse, welche aus Mais hergestellt werden. Ähnlich wie im Bereich der erneuerbaren Energien, haben viele US-Bundesstaaten einen Treibstoffstandard („Renewable fuel standard“). Dieser verpflichtet die regionalen Treibstoffproduzenten zur Beimischung einer vorgegebenen Quote von Biokraftstoff. Dieser Treibstoffstandard ist eine im Energy Policy Act von 2005 und den Energy Independence and Security Act von 2007 enthaltende Verordnung, die das Ziel hat, den Gesamtenergieverbrauch von Mineralöl durch die Erhöhung der Anteile von Biokraftstoffen zu reduzieren. Ähnliche Pläne gab und gibt es auch in der Europäischen Union, z. B. die EU-Richtlinie zur Kraftstoffqualität und zur Beimischung von Biodiesel – besser bekannt als E - 10. Die Produktion von Biokraftstoffen wird in den USA aber zu wesentlichen Teilen von der nationalen Ebene finanziert und unterstützt. Gefördert wird die Entwicklung neuer Technologien im Bereich der Biokraftstoffherstellung durch ein Drei-Jahres-Programm im Umfang von 160 Mio. US-Dollar. Zudem stellt die US-Regierung mehr als zwei Milliarden US-Dollar als Kreditsicherung für Forschungs- und Pilotprojekte neuer Technologien bereit. Nach Prognosen der Environmental Protection Agency wird die Produktion von Biokraftstoffen in den USA von derzeit 6 Mrd. Gallonen/Jahr auf 36 Mrd. Gallonen/Jahr bis zum Jahr 2022 ansteigen (RBSC 2009). Aufgrund positiver geographischer Voraussetzungen hat die USA das Potenzial, auch in Zukunft der größte Produzent von Biotreibstoffen zu sein. Daher wird sowohl seitens der US-Automobilindustrie als auch ausländischer Investoren verstärkt in diesen Bereich investiert. Zur Entwicklung neuer Technologien flossen von Venture Capital-Gebern 2008 knapp 850 Millionen US-Dollar in die Bioethanolindustrie (RBSC 2009). Insgesamt belaufen sich die öffentlichen und privaten Investitionen für Bioethanol in USA auf ca. 7 Milliarden US-Dollar pro Jahr – dies ist ungefähr die gleiche Summe, welche für alle anderen erneuerbaren Energien insgesamt zur Verfügung steht (OECD 2011). Andere große Produzenten von Biotreibstoffen sind vor allem Brasilien und Russland. Kritisch anzumerken bleibt, dass sich das Wachstum der Biotreibstoffe auch negativ auf die weltweiten Nahrungsmittelpreise auswirkt. Diese sind vor allem während der Dürreperiode in den USA stark angestiegen, da die Biokraftstoffindustrie bessere Preise geboten hat. Dieser Verlauf könnte sich in Zukunft verstärken (z. B. OECD 2008a).

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Den Ausgangspunkt der vorliegenden Studie bildet eine Sammlung von Umweltzielen, deren Erreichung erforderlich ist, um eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland zu ermöglichen sowie ein Überblick über die Umweltinanspruchnahme ausgewählter Wirtschaftsbereiche in Deutschland. Dabei wurden die 15 Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Emissionen bzw. dem höchsten Ressourcenverbrauch untersucht. Fokus wurde somit auf solche Wirtschaftssektoren gelegt, die einerseits eine besondere Relevanz für die Erreichung von Umweltzielen haben, andererseits aber von einer ökologischen Modernisierungsstrategie potentiell auch besonders betroffen sein können.

Die sich hieraus ergebenden ersten Ansatzpunkte für eine ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik wurden im Folgenden weiter ausdifferenziert, indem Erfolgsfaktoren ökologischer Modernisierungsstrategien und die relevanten ökonomischen Rahmenbedingungen in Deutschland detailliert untersucht wurden.

Um insbesondere auch von den Chancen einer ökologischen Modernisierung der Wirtschaft profitieren zu können, wurde darüber hinaus der Frage nachgegangen, wie Deutschland für sich First-Mover-Vorteile realisieren kann. Dazu wurde untersucht, welche Faktoren für die Möglichkeit der Realisierung von First-Mover-Vorteilen ausschlaggebend sind, wie Deutschland mit Blick auf diese Faktoren aufgestellt ist und was sich aus internationalen Fallbeispielen erfolgreicher Umsetzung von First-Mover-Strategien ableiten lässt.

Auf Basis dieser Vorarbeiten wurden schließlich detaillierte Untersuchungen hinsichtlich der Wirkungen ökologischer Modernisierungsstrategien für die Bereiche erneuerbare Energien, Energieeffizienz, nachhaltiger Verkehr und Rohstoffeffizienz vorgenommen. Dazu wurden sowohl die Wirkungen internationaler Vorreiterstrategien untersucht als auch detaillierte modellgestützte Untersuchungen speziell für Deutschland durchgeführt.

Die so erzielten Ergebnisse machen deutlich, dass

- für die hier näher untersuchten Bereiche gerade eine ambitionierte und in geeigneter Weise gestaltete ökologische Modernisierungsstrategie vielfältige positive Auswirkungen auf Deutschland im Allgemeinen und auf die deutsche Wirtschaft im Besonderen haben kann;
- es einer sehr anspruchsvollen ökologischen Modernisierungsstrategie bedarf, um die ökologischen Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, zu denen sich die Bundesregierung bereits verpflichtet hat oder deren Erreichung sie anstrebt;
- vielfältige und enge Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den untersuchten Bereichen bestehen, so dass Fortschritte in einem Bereich einerseits häufig Fortschritte in einem oder mehreren der anderen untersuchten Bereiche befördern; andererseits sind Fortschritte in einem Bereich oft zwingende Voraussetzung dafür, Ziele in einem anderen Bereich zu erreichen;
- es insbesondere umfassenden Strategien mit sich komplementär ergänzenden Instrumenten im Sinne eines Smart Mix gelingt, die Chancen einer ökologischen Modernisierung weitgehend auszuschöpfen;
- es international bereits Erfahrungen gibt, von denen Deutschland mit Blick auf die Chancen aber auch die Herausforderungen ökologischer Modernisierungsstrategien profitieren kann.

Neben diesen für die hier untersuchten Bereiche übergreifenden Erkenntnissen erlauben insbesondere die Ergebnisse aus den modellgestützten Untersuchungen eine Reihe spezifischer Schlussfolgerungen für die einzelnen Bereiche. Diese werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

### **Erneuerbare Energien**

Mit dem Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland werden u. a. die Ziele der Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie der Verbesserung der Energiesicherheit verfolgt. Die in diesem Forschungsprojekt vorgenommenen Modellierungen haben dabei ergeben, dass ein solcher Ausbau gleichzeitig zu einer höheren Produktion und höheren Realeinkommen führen kann, die in der Folge wiederum einen höheren privaten Verbrauch ermöglichen.

Voraussetzung, um insbesondere die letztgenannten Effekte zu erzielen, ist die Mobilisierung zusätzlicher volkswirtschaftlicher Produktionsfaktoren. Diese kann sowohl durch Produktivitätssteigerungen als auch durch die Aktivierung von Arbeitskräften aus der Unterbeschäftigung geschehen. Dabei ist zu beachten, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien in dem Maße Nettobeschäftigungsgewinne ermöglicht, wie eine Aktivierung von Arbeitskräften aus der Unterbeschäftigung gelingt.

Die Modellierungen zeigen zudem, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien mit einem Strukturwandel zugunsten der Industrie und der industrienahen Dienstleistungen verbunden ist. Während dies beides Wirtschaftsbereiche sind, in denen Deutschland günstige institutionelle Voraussetzungen aufweist, ist es dennoch erforderlich, dass die Politik diesen Strukturwandel insbesondere durch arbeitsmarktpolitische Maßnahmen unterstützt.

Wie genau die Instrumentierung des künftigen Ausbaus erneuerbarer Energien aussehen könnte, ist derzeit Gegenstand intensiver akademischer sowie politischer Diskussionen (vgl. Altmaier 2012, Diekmann et al. 2012). Dies gilt insbesondere für den Strombereich, der gegenüber den Wärme- und Kraftstoffbereichen künftig noch an Bedeutung gewinnen wird. Dabei ist zu beachten, dass der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten derzeit dank des EEG noch zügig voranschreitet, dass sich mittel- und langfristig jedoch grundsätzliche Fragen der Weiterentwicklung des EEG sowie der adäquaten Bereitstellung flexibler Ausgleichs- und Integrationsoptionen wie Speicher, Nachfragemanagement sowie (thermischer) Back-up Kraftwerke stellen.

### **Energieeffizienz**

Die Steigerung der Energieeffizienz ist ein zentraler Baustein einer ökologischen Modernisierungsstrategie. Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass ohne sie weder die Erreichung der Ziele der Energiewende noch die Realisierung der Minderungsziele bezüglich der Treibhausgasemissionen möglich erscheint.

Die Steigerung der Energieeffizienz ist darüber hinaus notwendige Voraussetzung für die Entkopplung von wirtschaftlichem Wachstum und Energieverbrauch. Während einer solchen Entkopplung in kurz- und mittelfristiger Perspektiver großes Gewicht beizumessen ist, kann ihre Bedeutung in langfristiger Perspektive jedoch dann an Bedeutung verlieren, wenn die Energiebereitstellung überwiegend durch saubere erneuerbare Energien erfolgt. Zu beachten ist in diesem Kontext, dass ein höheres wirtschaftliches Wachstum als in den energiepolitischen Zielvorstellungen der Bundesregierung (und damit den hier durchgeführten Modellierungen) zu Grunde gelegt, bei gleichzeitiger Beibehaltung der ökologischen Ziele die Notwendigkeit

einer zusätzlichen Steigerung der Energieeffizienz (und/oder einer weiteren Forcierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien) mit sich bringt.

Die Ergebnisse der Modellierungen legen nahe, dass die ökonomischen Wirkungen der Bemühungen um eine erhöhte Energieeffizienz eher positiv ausfallen werden. Dies begründet sich darin, dass die zusätzlichen Investitionen sowie die eingesparten Energiekosten und Energieminderimporte zu einem leicht ansteigendem Bruttoinlandsprodukt und einem leicht erhöhten privaten Verbrauch führen. Die Auswirkungen der Bemühungen um eine erhöhte Energieeffizienz auf die Beschäftigung hängen dabei vor allem von den Bedingungen auf dem Arbeitsmarkt ab: Gelingt es, zusätzliche Arbeitskräfte zu mobilisieren, so kann die Beschäftigung zunehmen.

Mit Blick auf die sektoralen Wirkungen einer beschleunigten Entwicklung der Energieeffizienz ist festzuhalten, dass die Bauwirtschaft – u. a. aufgrund der großen Bedeutung der energetischen Gebäudesanierung – voraussichtlich am stärksten profitieren wird. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass auch das produzierende Gewerbe überdurchschnittlich partizipieren wird, während die Dienstleistungsbereiche erst im Zeitablauf im stärkeren Ausmaß an den positiven wirtschaftlichen Effekten einer erhöhten Energieeffizienz teilhaben werden.

Wie bereits erwähnt, kommt der energetischen Gebäudesanierung eine hohe Bedeutung zu. In diesem Kontext ist zum einen zu beachten, dass die energetische Sanierung von Wohngebäuden deren Eigentümer vor eine komplexe Entscheidungssituation stellt. Diese ergibt sich u. a. daraus, dass die Investitionsentscheidung mit einer hohen und langfristigen Kapitalbindung verbunden ist und auch die Sicherstellung der Qualität der durchgeführten Arbeiten eine große Herausforderung darstellt. Zum anderen ist davon auszugehen, dass das Eigentümer-Nutzer-Dilemma im Fall von vermietetem Wohnraum eine energetische Sanierung häufig behindert.

Grundsätzlich besteht bei allen Maßnahmen zur Energieeinsparung, die mit entsprechenden Verbrauchskostensenkungen verbunden sind, die Gefahr von Rebound-Effekten: Verbraucher können bei geminderten Energiekosten einen verringerten Anreiz haben, sparsam mit Energie umzugehen, beziehungsweise sogar Anreize für zusätzlichen Energiekonsum bekommen. Die Stärke von direkten und indirekten Rebound-Effekten dürfte in verschiedenen Nutzungsbereichen stark unterschiedlich ausfallen, ist aber noch nicht hinreichend erforscht (Maxwell et al. 2011, Santarius 2012). In jedem Fall kann der Rebound-Effekt den absolut definierten Einsparzielen entgegen laufen, sofern sich bei den Verbrauchern nicht auch Verhaltensänderungen zu dauerhaften Energieverbrauchsreduzierungen durchsetzen.

### **Nachhaltiger Verkehr**

Im Hinblick auf das Ziel der Reduktion der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind sowohl zwei verschiedene Teilziele als auch zwei verschiedene Adressatengruppen zu unterscheiden. Um das Ziel Reduktion der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen, bedarf es sowohl einer Reduktion der spezifischen Emissionen der Fahrzeuge als auch der Reduktion des Verkehrsaufkommens. Die zu unterscheidenden Adressatengruppen sind der Personenverkehr einerseits und der Güterverkehr andererseits. Zu beachten ist dabei, dass sich beide oben genannten Teilziele im Personenverkehr leichter realisieren lassen als im Güterverkehr. Dies liegt darin begründet, dass zum einen das Effizienzsteigerungspotenzial bei Pkw größer ist als bei Lkw. Zum anderen hat es seinen Ursprung in der Annahme, dass das Güterverkehrsaufkommen in einer wachsenden Wirtschaft stärker wächst als der

Personenverkehr, der großenteils privater Natur ist und damit in erster Linie von der Bevölkerungszahl und den jeweiligen, dem Verkehr zugeordneten Zeitbudgets abhängt.

Während mit Effizienzsteigerungen bei Pkw und (in geringerem Umfang) Lkw, Bahn und Schiff der größte Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen geleistet werden kann, so sind auch nicht-technische Maßnahmen für die Erreichung anspruchsvoller Reduktionsziele unerlässlich. Diese beinhalten die Verschiebung des Gütertransports vom Straßenverkehr auf klimafreundlichere Verkehrsträger wie Bahnen und Binnenschiffe oder auch die Erhöhung des Preises für Verkehr durch die Erhebung zusätzlicher Steuern oder einer Maut. Vor allem im urbanen Kontext ist außerdem eine Verlagerung des Personenverkehrs auf ÖPNV und Fahrrad vielversprechend. Dabei erscheint die Erhöhung des Preises für Verkehr durch die Erhebung von Steuern oder einer Maut von zentraler Bedeutung, weil sie der Erreichung gleich zweier Zwecke dient: Erstens wird unmittelbar das Verkehrsaufkommen reduziert und zweitens wird verhindert, dass die mit Hilfe der technischen Maßnahmen erzielten Effizienzsteigerungen durch Senkung des Preises für Verkehr das Verkehrsaufkommen wieder ansteigen lassen und damit zu Rebound-Effekten führen, die die erzielte Senkung der Emissionen wieder rückgängig machen. Aus fiskalischer Sicht hätte die Erhebung bzw. Erhöhung von Steuern darüber hinaus den positiven Nebeneffekt, dass das durch steigende Effizienz reduzierte Aufkommen an Kraftstoffsteuer wieder ausgeglichen würde.

Die vorangegangenen Ausführungen machen deutlich, dass eine ambitionierte Reduktion verkehrsbedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen ein mehrgleisiges Vorgehen erforderlich macht. So müssen kurzfristig vorhandene Effizienzsteigerungspotenziale seitens der Fahrzeuge mit konventionellem Verbrennungsmotor realisiert werden. Gleichzeitig muss in die Entwicklung alternativer Antriebe (batterieelektrisch, Brennstoffzelle, Hybrid) investiert werden, damit mittelfristig noch weitergehende Ziele erreicht werden können. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass der Beitrag der E-Mobilität zum Klimaschutz in hohem Maße davon abhängt, dass der erforderliche Strom weitestgehend aus erneuerbaren Quellen stammt. Festzuhalten ist außerdem, dass für die Realisierung sehr anspruchsvoller Klimaschutzziele (z. B. Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 Prozent bis 2050) durchaus auch drastischere Maßnahmen wie die verpflichtende Verschiebung des Transports bestimmter Güter auf Bahn oder Binnenschiffe und das Verbot der Zulassung von Neu-Pkw mit Verbrennungsmotoren notwendig sein können.

### **Rohstoffeffizienz**

Wie in Kapitel 6.4 gezeigt wird, existieren im Wesentlichen drei verschiedene Ansätze zur Erhöhung der Rohstoffeffizienz. Diese sind der effizientere Einsatz der Rohstoffe in der Produktion, die Produktion langlebigerer Produkte und der verstärkte Einsatz sekundärer Rohstoffe durch Produkt-Recycling in der Nach-Nutzungsphase.

Kurzfristig erscheint der verstärkte Einsatz sekundärer Rohstoffe und damit das verstärkte Recycling der erfolgversprechendste Ansatz zur Steigerung der Rohstoffproduktivität, da bereits eine Reihe etablierter Politikinstrumente existieren und keine wesentlichen Verhaltensänderungen auf Seiten der Verbraucher notwendig sind. Weit schwieriger erscheint die Steigerung der Langlebigkeit, da hier sowohl Informationsdefizite zu überwinden als auch Verhaltensänderungen notwendig sind. Deshalb wird dieser Ansatz allenfalls als langfristig wirksam eingestuft. Eine Mittelposition in der Reihe möglicher Strategien nimmt der effizientere Einsatz der Rohstoffe in der Produktion ein: Einerseits sind hier keine Verhaltensänderungen auf Seiten der Konsumenten nötig, andererseits bestehen aber für die politischen Akteure wenige spezifische Interventionsmöglichkeiten, die darüber hinaus

teilweise (Beispiel: Primärrohstoffsteuer) hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen umstritten sind.

Der Blick auf das Ziel der Verdoppelung der Rohstoffproduktivität bis 2020 mittels einer Steigerung der Produktion und des Einsatzes von Sekundärrohstoffen zeigt, dass diese sowohl möglich als auch (gesamt)wirtschaftlich sinnvoll erscheint. Die Differenzkosten steigen zwar zunächst aufgrund der hohen Investitionen deutlich an, sinken dann aber schnell wieder, da gleichzeitig ein Anstieg der Primärrohstoffpreise zu erwarten ist. Außerdem schlagen die zusätzlichen Kosten gesamtwirtschaftlich kaum zu Buche, da das verstärkte Recycling den Import von Primärrohstoffen überflüssig macht, wodurch die Wertschöpfung steigt. Alles in Allem ist mit einem Anstieg der Anzahl der Erwerbstätigen vor allem bei der Herstellung von Sekundärrohstoffen zu rechnen.

Ebenso deutlich wird aber auch, dass sich eine solche Steigerung der Rohstoffproduktivität nicht ohne eine Veränderung der Anreizstruktur für die betroffenen Unternehmen, einstellen wird. Zu beachten ist dabei, dass Unternehmen eine Investition in verstärktes Recycling nur unter Maßgabe einer hohen Erwartungssicherheit ihrer Rentabilität tätigen werden. Tatsächlich steht letztere jedoch im Widerspruch zur Entwicklung der Preise sowohl für Primär- als auch Sekundärrohstoffe, die starken Schwankungen unterliegen. Bei der Gestaltung geeigneter Instrumente sind weiterhin die Folgen zu beachten, die sich daraus für die Produzenten und Verarbeiter der Rohstoffe ergeben. In diesem Zusammenhang spielt es eine entscheidende Rolle, inwieweit die Rohstoffe und die daraus hergestellten Produkte international gehandelt werden: Rohstoffe wie die Gesteinskörnung (entsprechend Baukies und -sand) werden aufgrund relativ hoher Transportkosten nur in geringem Umfang über Ländergrenzen hinweg gehandelt und transportiert. Die Gefahr einer Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit der Rohstoffproduzenten bzw. der Bauwirtschaft erscheint daher auch dann gering, wenn Primärrohstoffe mittels einer Steuer so verteuert werden, dass das Recycling attraktiv wird. Anders stellt sich die Situation z. B. mit Blick auf metallische Rohstoffe dar. Hier findet reger internationaler Handel statt, eine Verteuerung würde inländische Produzenten und/oder die inländischen Verbraucher dieser Rohstoffe benachteiligen. Um die damit einhergehende Wettbewerbsverzerrung zu verhindern, kommt bei international gehandelten Rohstoffen daher eher eine Subventionierung von Sekundärrohstoffen in Betracht.

Gleichzeitig machen die Ergebnisse der Modellierungen deutlich, dass Forschung und Entwicklung auf den Gebieten sowohl des Recyclings als auch der effizienten Rohstoffnutzung in der Produktion entscheidend dafür sind, wie lange und in welchem Umfang Subventionen gezahlt werden müssen und mit welcher Geschwindigkeit der Effizienzzuwachs voranschreitet. Weiterhin zeigen die Modellierungsergebnisse, dass staatliche Unterstützung auf diesem Gebiet in hohem Maße zur Steigerung der Wertschöpfung und über Akzeleratoreffekte zur Steigerung des Volkseinkommens insgesamt beiträgt. Daher erscheint sie unabhängig davon lohnend, welcher Ansatz gewählt wird – Intensivierung des Recyclings oder Steigerung der Rohstoffeffizienz in der Produktion.

Der Blick auf die Steigerung der Rohstoffproduktivität durch die Herstellung langlebiger Produkte stellt schlussendlich weniger ein technisches Problem als eines der notwendigen Verhaltensänderungen und der Beseitigung evtl. Fehlanreize dar. Darüber hinaus gilt es zu klären, wann die Langlebigkeit von Produkten wünschenswert ist bzw. wann gewichtige Argumente (beispielsweise die Zielstellung technischen Fortschritts) dem entgegenstehen und wie eine ggf. gewünschte Langlebigkeit von Produkten und deren Nachfrage durch den Konsumenten gefördert werden kann.

## 8 Quellenverzeichnis

- ABB 2010: Japan - Energy efficiency report, ABB Group. Zuletzt eingesehen am 10. Juli 2012, unter [http://www05.abb.com/global/scot/scot316.nsf/veritydisplay/5a74498fcc9fbabbc1257864005160e4/\\$file/japan.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot316.nsf/veritydisplay/5a74498fcc9fbabbc1257864005160e4/$file/japan.pdf)
- Acemoglu, D.; Aghion, P.; Bursztyn, L. und D. Hermalin 2011: The Environment and Directed Technical Change. GRASP Working Paper 21, zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter <http://www.economics.harvard.edu/faculty/aghion/files/Environment%20and%20Directed.pdf>
- Ackermann, F.; Stanton, E.; Roach, B. und A-S. Andersson 2008: Implications of REACH for developing countries. *European Environment*, 18, 16-29
- AGEB (AG Energiebilanzen) 2011: Energieflussbild 2009 Deutschland (in Terajoule). Zuletzt eingesehen am 08.08.2012, unter [http://www.ag-energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1304325157.pdf&filename=Energieflussbild2009\\_TJ\\_lang.pdf&mimetype=application/pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1304325157.pdf&filename=Energieflussbild2009_TJ_lang.pdf&mimetype=application/pdf)
- Aghion, P.; Hermalin, D. und R. Veugelers 2009: Green Growth without Innovation. In: Bruegel Policy Brief 2009/07.
- Altmaier, Peter 2012: Verfahrensvorschlag zur Neuregelung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Hintergrundpapier des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, 2012
- Amable, B. und B. Verspagen 1995: The role of technology in market shares dynamics. *Applied Economics*, Vol. 27, 197-204.
- Andersson, M. und O. Ejerom 2008: Technology Specialization and the Magnitude and Quality of Exports. *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 17, 355-375
- APCO (Hrsg.) 2010: China´s 12th Five-Year Plan. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.apcoworldwide.com/content/pdfs/chinas\\_12th\\_five-year\\_plan.pdf](http://www.apcoworldwide.com/content/pdfs/chinas_12th_five-year_plan.pdf)
- Arbeitsgemeinschaft (Hrsg.) 2011: Wohnungsbau in Deutschland 2011 - Modernisierung oder Bestandsersatz. Studie zum Zustand und der Zukunftsfähigkeit des deutschen "Kleinen Wohnungsbaus", Kiel. [http://www.dgfm.de/uploads/media/ARGE-Kiel-Textband-gesamt\\_01.pdf](http://www.dgfm.de/uploads/media/ARGE-Kiel-Textband-gesamt_01.pdf)
- Archibugi, D. und C. Pietrobelli 2004: The globalisation of technology and its implications for developing countries – Windows of opportunity or further burdens? *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 70, 861-883
- Arimura, T.; Hibiki, A. und N. Johnstone 2007: An empirical study of environmental R&D: What encourages facilities to be environmentally-innovative? In: Johnstone, N. (ed.): *Environmental policy and corporate behaviour*. Cheltenham.
- Bär, H. 2010: Innovationspotentiale der umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung. Fallstudie China - Analyse der allgemeinen Beschaffungspolitik und die Beschaffung von Elektroautos. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4164.html>
- Bär, H.; Jacob, K.; Meyer, E. und K. Schlegelmilch 2011: Wege zum Abbau umweltschädlicher Subventionen. Expertise im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung

- Beise, M. 2004: Lead markets: country specific drivers of the global diffusion of innovations. *Research Policy*, Vol. 33, 997-1028
- Beise, M. und K. Rennings 2005: Lead markets and regulation: a framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations. *Ecological Economics*, Vol. 52, No.1, 5–17
- Beise-Zee, M. und T. Cleff 2004: Assessing the Lead Market Potential of Countries for Innovation Projects, *Journal of International Management* Vol. 10, No. 4, 453-477
- BERR 2009: *Low Carbon and Environmental Goods and Services: an industry analysis*, London: Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform
- Biogasrat e.V. (Hrsg.) 2012: *Ökologische und ökonomische Optimierung des Wärmemarktes unter besonderer Berücksichtigung des Endenergiebedarfs und von Biogas/Bioerdgas*. Stuttgart
- BIS (Department for Business Innovation & Skills) 2012: *Low Carbon Environmental Goods and Services (LCEGS)*. Zuletzt eingesehen am 27.03.2013, unter <https://www.lowcarbonknowledgebase.com/redirfile.asp?id=432>
- Blazejczak, J. 2012: Umweltschutz bei Engpässen auf dem Arbeitsmarkt. Von den Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes zu den Erfordernissen eines ökologischen Strukturwandels. In: Sauer, T. (Hrsg.), *Ökonomie der Nachhaltigkeit. Grundlagen, Indikatoren, Strategien*. Marburg 2012, 219-238
- Blazejczak, J. und D. Edler 1998: *Elemente innovationsfreundlicher Politikmuster. Ein internationaler Vergleich am Beispiel der Papierindustrie. Untersuchung des DIW im Rahmen des Forschungskonsortiums Innovative Wirkungen umweltpolitischer Instrumente des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)*. Berlin: BMBF.
- Blazejczak, J. und D. Edler 2004: Could Too Little and Too Much Turn Out to be Just Right? – On The Relevance of Pioneering Environmental Policy. In: Jacob, K.; Binder, M. und A. Wieczorek (Hrsg.): *Governance for Industrial Transformation. Proceedings of the 2003 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change*, Environmental Policy Research Centre, 67-78.
- Blazejczak, J. und D. Edler 2011: *Strukturwandel und Klimaschutz: Wie Klimapolitik Wirtschaft und Arbeitswelt verändert*. Schriften zu Wirtschaft und Soziales der Heinrich-Böll-Stiftung Band 8, Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung
- Blazejczak, J. und Edler, D., 2008: *Szenarien zur Entwicklung des Weltmarktes für Umwelt- und Klimaschutzgüter*. Forschungsprojekt des DIW Berlin im Auftrag des Umweltbundesamtes. In: *Umweltbundesamt, Umwelt, Innovation, Beschäftigung 04/08*. Berlin, Dessau.
- Blazejczak, J., Braun, F., Edler, D., Schill, W.-P. 2011: *Economic effects of renewable energy expansion: A model-based analysis for Germany*, DIW Discussion Papers No. 1156, Berlin
- Blazejczak, J.; Edler, D.; Hemmelskamp, J. und M. Jänicke 1999: *Umweltpolitik und Innovation: Politikmuster und Innovationswirkungen im internationalen Vergleich*. In: *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht*. Jg. 22, H. 1, 1-32.
- Blind, K. 2001: The impacts of innovations and standards on trade of measurement and testing products: empirical results of Switzerland's bilateral trade flows with Germany, France and the UK. *Information Economics and Policy*, 2001, Nr.13, 439-460
- Bloomberg 2011: *Global Renewable Energy Market Outlook – Executive Summary*. New York: Bloomberg New Energy Finance

- Bloomberg 2012: South Korean Parliament Approves Carbon Trading System, Pressemitteilung der Bloomberg New Energy Finance. Zuletzt eingesehen am 02.06.2012, unter <http://www.bloomberg.com/news/2012-05-02/south-korean-parliament-approves-carbon-trading-system.html>
- Bloomberg New Energy Finance 2012: Bloomberg New Energy Finance Online Database. Zuletzt eingesehen am 26.03.2013, unter <http://about.bnef.com/>
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2011: Arbeitsentwurf des BMU für ein Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) - Programm zum Schutz natürlicher Ressourcen in einer ökologisch-sozialen Marktwirtschaft. Entwurf V 2.1 - Stand 7.4.2011. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- BMU 2006: Ökologische Industriepolitik. Zuletzt eingesehen am 30.05.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum\\_oekol\\_industriepolitik.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_oekol_industriepolitik.pdf)
- BMU 2007a: Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund\\_meseberg.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf)
- BMU 2007b: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biolog\\_vielfalt\\_strategie\\_nov07.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biolog_vielfalt_strategie_nov07.pdf)
- BMU 2008a: Strategie Ressourceneffizienz. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/inno\\_themenpapier.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/inno_themenpapier.pdf)
- BMU 2008b: Nationaler Energieeffizienzplan. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieeffizienzplan.pdf>
- BMU 2008c: Nationale Strategie für die nachhaltige Nutzung und den Schutz der Meere. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere\\_meeresstrategie\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_meeresstrategie_bf.pdf)
- BMU 2008d: Ökologische Industriepolitik. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum\\_oekol\\_industriepolitik.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_oekol_industriepolitik.pdf)
- BMU 2010: Erneuerbare Energien in Zahlen. Internet-Update ausgewählter Daten (Stand: 15.12.2010). Zuletzt eingesehen am 24.05.2011, unter: [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_in\\_deutschland\\_update\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_update_bf.pdf)
- BMU 2010b: Novelle des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/krwg\\_eckpunkte\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/krwg_eckpunkte_bf.pdf)
- BMU, BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) 2009: Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/BiomasseaktionsplanNational.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/BiomasseaktionsplanNational.pdf?__blob=publicationFile)
- BMU, BMG (Bundesministerium für Gesundheit) 1999: Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.apug.de/archiv/pdf/Aktionsprogramm\\_1999.pdf](http://www.apug.de/archiv/pdf/Aktionsprogramm_1999.pdf)

- BMWi 2008: Zielgruppenanalyse Japan: Exportinitiative Energieeffizienz - Energieeffizienz im Gebäudebereich und der Gebäudetechnik in Japan, Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
- BMWi und BMU (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2010: Energiekonzept – für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Zuletzt eingesehen am 31.01.2012, unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/energiekonzept-2010,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Brunnermeier, S. und A. Levinson 2004: Examining the evidence on environmental regulations and industry location. *The Journal of Environment & Development*, 13(6), 6-41
- Bühler, T.; Klemisch, H. und K. Ostenrath 2007: Ausbildung und Arbeit für Erneuerbare Energien. Statusbericht 2007. Bonn
- Bundesregierung 2002: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Zuletzt eingesehen am 26.03.2013, unter [http://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Bundesregierung 2002: Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter [http://www.erneuerbareenergien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/windenergie\\_strategie\\_br\\_020100.pdf](http://www.erneuerbareenergien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/windenergie_strategie_br_020100.pdf)
- Bundesregierung 2008a: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter <http://www.anpassung.net/SharedDocs/Downloads/DE/DAS-Kabinetttbericht,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DAS-Kabinetttbericht.pdf>
- Bundesregierung 2008b: Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie – Für ein nachhaltiges Deutschland. Berlin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung
- Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden (Hrsg.) 2011: Mineralische Bauabfälle, Monitoring 2008. Berlin: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. Zuletzt eingesehen am 06.08.2012, unter [http://www.baustoffindustrie.de/root/img/pool/downloads\\_2011/101011/kwb\\_08.pdf](http://www.baustoffindustrie.de/root/img/pool/downloads_2011/101011/kwb_08.pdf)
- California Environmental Protection Agency 2010: Facts about California´s Climate Plan. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.arb.ca.gov/cc/cleanenergy/clean\\_fs2.htm](http://www.arb.ca.gov/cc/cleanenergy/clean_fs2.htm)
- Canzler, W., A. Knie 2009: Grüne Wege aus der Autokrise, Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung
- Capozza, I. 2011: Greening Growth in Japan, OECD Environment Working Papers, No. 28, Paris: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5kggc0rpw55l-en>
- CGI 2012: The China GreenTech Report 2012 - Faced with Challenges, China Accelerates Greentech Growth. China Greentech Initiative
- Christensen, Clayton M. (1997), *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*, Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press, ISBN 978-0-87584-585-2.
- Cory, K, Swezey, B. 2007: Renewable Portfolio Standards in the States: Balancing Goals and Implementation Strategies. Golden: National Renewable Energy Laboratory

- COWI 2011: Economic Analysis of Resource Efficiency Policies – Final Report. Kongens Lyngby: DG Environment
- CSS 2011: U.S. Renewable Energy – factsheet, Michigan: Center for Sustainable Systems.  
[http://css.snre.umich.edu/css\\_doc/CSS03-12.pdf](http://css.snre.umich.edu/css_doc/CSS03-12.pdf)
- Danish Energy Agency 2011: Danish Energy Outlook 2012, Kopenhagen: Danish Energy Agency
- Defra 2012: Waste and recycling, Department for Environment, Food and Rural Affairs. Zuletzt eingesehen am 05.08.2012, unter <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/>
- Dena 2010: dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“. Berlin.  
[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Gebaeude/Dokumente/dena-Sanierungsstudie\\_Teil\\_1\\_MFH.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Gebaeude/Dokumente/dena-Sanierungsstudie_Teil_1_MFH.pdf)
- DERA (Deutsche Rohstoffagentur) (Hrsg.) 2011: Deutschland Rohstoffsituation 2010. DERA Rohstoffinformationen, Hannover: Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und Roland Berger Strategy Consultants 2007: Wirtschaftsfaktor Umweltschutz – Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation, Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, UIB 01/07, Dessau-Roßlau: UBA
- Diekmann, J., Kemfert, C., Neuhoff, K., Traber, T. Schill, W.-P. 2012: Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien: Quotenmodell statt EEG? Nein, danke! Wochenbericht des DIW Berlin 45/2012
- DMCEB 2012: DK Energy Agreement, Pressemitteilung des Danish Ministry of Climate, Energy and Building, eingesehen am 08. August 2012, unter [http://www.kemin.dk/Documents/Presse/2012/Energiaftale/FAKTA\\_Prozent20UK%201.pdf](http://www.kemin.dk/Documents/Presse/2012/Energiaftale/FAKTA_Prozent20UK%201.pdf)
- DOE 2011: SunShot: Making Solar Energy Cost Competitive Throughout the United States, U.S. Department of Energy. Zuletzt eingesehen am 12. 07.2012, unter <http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/52018.pdf>
- Doing Business 2012: Doing Business in a more transparent world, zuletzt eingesehen am 19.11.2011, unter <http://www.doingbusiness.org/reports/global-reports/doing-business-2012>
- Doll, C.; Eichhammer, W.; Fleiter, T.; Ragwitz, M.; Schade, W.; Schleich, J.; Schломann, B.; Sensfuß, F.; Walz, R.; Wietschel, M., Hansen, P.; Kleemann, M.; Markewitz, P.; Martinsen, D.; Harthan, R.; Matthes, F.; Jacob, M, und H. Ziesing 2008: Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes, Wirtschaftliche Bewertung von Maßnahmen des integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP), UBA-Reihe Climate Change 08-14, Dessau-Roßlau: UBA
- Doll, C. 2007: Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik. Fallstudie im Rahmen des Forschungsprojektes Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern im Auftrag des Umweltbundesamtes. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter <http://isi.fraunhofer.de/isi-de/n/projekte/zukunftsmaerkte.php>
- Dosi, G. 1982: Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Research Policy (1982), 11(3), 147-162
- Dosi, G., L. Soete 1988: Technical change and international trade, in: Dosi, G. et al. (eds.): Technical Change and Economic Theory, Pinter, London

- Dosi, G; Pavitt, K. und L. Soete 1990: The Economics of Technical Change and International Trade, New York.
- Dupressoir, S. 2009: Climate Change Mitigation and EU Employment. In: CEDEFOP (Centre Européen pour le Développement de la Formation Professionnelle) 2009, Future Skill Needs for the Green Economy, Luxembourg, 18-23
- Eichhammer, W.; Kohlhaas, M.; Neuhoff, K.; Rodde, C.; Rosenberg, A. und B. Schломann 2011: Untersuchung des Energiesparpotentials für das Nachfolgemodell ab dem Jahr 2013ff zu den Steuerbegünstigungen für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes sowie der Land- und Forstwirtschaft bei der Energie- und Stromsteuer. Forschungsvorhaben des BMF. Berlin: BMF
- Elefant, C., Holt, E. 2011: The commerce clause and implications for state renewable portfolio standard – State RPS Policy Report 2011. Montpellier: Clean Energy States Alliance
- empirica, LUWOGÉ consult 2010: Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen im Berliner Mietwohnbestand, Berlin, Ludwigshafen.  
[http://www.ibb.de/portaldata/1/resources/content/download/ibb\\_service/publikationen/IIB-Studie-Endbericht\\_2008174\\_mit\\_IBB\\_Logo.pdf](http://www.ibb.de/portaldata/1/resources/content/download/ibb_service/publikationen/IIB-Studie-Endbericht_2008174_mit_IBB_Logo.pdf)
- Energiekonzept 2010: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Bundesregierung (BMWi und BMU), Berlin 28.9.2010
- Erdmann, G. 1993: Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie. Tübingen: Mohr
- EuroMed Transport Project 2005: Towards an Integrated Euro-Mediterranean Transport System – Blue Paper, Tunis. Zuletzt eingesehen am 29.10.2012, unter <http://www.euromedtransport.org/En/image.php?id=121>
- Europäische Kommission 2005: Thematische Strategie zur Abfallvermeidung und –recycling. Brüssel: Europäische Kommission
- Europäische Kommission 2010: Europa 2020 – Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. Brüssel: Europäische Kommission
- Europäische Kommission 2011: Weißbuch Verkehr - Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Brüssel. Zuletzt eingesehen am 14.09.2012, unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:DE:PDF>
- European Commission 2009: Employment in Europe 2009, Brussels: EC.
- European Trade Union Confederation (ETUC), ISTAS (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud), SDA (Social Development Agency, Syndex, WI (Wuppertal Institute) 2007: Climate Change and Employment: Impact on Employment of Climate Change and CO<sub>2</sub> Emission Reduction Measures in the EU-25 by 2030. Synthesis, Brussels
- European Union 2007: A lead market initiative for Europe, Communication of the EU Commission (COM 2007-860), Brussels.
- EUWID 2012: Dow-Jones-Großhandelsankaufspreise für Almetalle und Metallpreise an der London Metall Exchange. In: EUWID Recycling und Entsorgung, 30.2012 (vom 24.7.2012), 15-16
- Fagerberg, J. 1995: Technology and Competitiveness. Oxford Review of Economic Policy, Vol. 12, No.3, 39-51
- Fagerberg, J. 1988: International Competitiveness. The Economic Journal, 98 (June): 355-374

- FÖS (Hrsg.) 2012: Ressourcenschonung durch die Besteuerung von Primärbaustoffen. FÖS-Diskussionspapier vom März 2012. Berlin: Green Budget Germany (GBG)/Forum Ökologisch-soziale Marktwirtschaft e.V.
- Freeman, C. 1992: *The Economics of Hope: Essays on Technical Change, Economic Growth and the Environment*. London.
- Freeman, C. und L. Soete 2009: Developing science and technology indicators: What can we learn from the past? *Research Policy*, 38(4), 583-589
- Frietsch, R. und U. Schmoch 2010. Transnational patents and international markets. *Scientometrics* 82, 185-200.
- Giljum, S., M. Dittrich, S. Bringezu, C. Polzin, S. Lutter 2010: Resource use and resource productivity in Asia Trends over the past 25 years, Wien, Wuppertal: SERI Working Paper Series
- Graichen, V.; Schumacher, K.; Matthes, F.; Mohr, L.; Duscha, V.; Schleich, J. und J. Diekmann 2008: Impact of the EU Emissions Trading Scheme in the industrial competitiveness in Germany. In: *Climate Change No. 10/08* des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: UBA
- Grau, T.; Huo, M. und K. Neuhoff 2011: Survey of Photovoltaic Industry and Policy in Germany and China. *DIW Discussion Papers Nr. 1132*. Berlin: DIW
- Groba, F. 2011: Determinants of Trade with Solar Energy Technology Components. Evidence on the Porter Hypothesis. *DIW Berlin Discussion Papers 1163*. Berlin: DIW
- Groba, F. und C. Kemfert 2011: Erneuerbare Energien- Deutschland baut Technologie-Exporte aus. *DIW Wochenbericht*, Jg. 2011, Nr. 45, 23-29
- Grossmann, G. M. und E. Helpman 1991: Trade, knowledge spillovers, and growth. *European Economic Review* 35, 517-526
- GTAI (German Trade and Invest) 2011: Solarenergie – VR China. Zuletzt eingesehen am 27. März 2013, unter <http://www.gtai.de/wwwroot/archiv-online-news/www.gtai.de/DE/Content/Online-news/2011/14/medien/s2-china-branche-solar-2011,templateId%3Draw,property%3DpublicationFile.pdf/s2-china-branche-solar-20115f88.pdf?show=true>
- GTAI (Germany Trade and Invest) 2009: Schwellenländer investieren mehr als 36 Mrd. USD in erneuerbare Energien (22.09.2009). Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.gtai.de/ext/Export-Einzelsicht/DE/Content/\\_SharedDocs/Links-EinzeldokumenteDatenbanken/fachdokument,templateId=renderPrint/MKT200909218013.pdf](http://www.gtai.de/ext/Export-Einzelsicht/DE/Content/_SharedDocs/Links-EinzeldokumenteDatenbanken/fachdokument,templateId=renderPrint/MKT200909218013.pdf)
- GTZ 2007: *Policy Instruments for Resource Efficiency - Towards Sustainable Consumption and Production*, Eschborn: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
- GWEC 2012: *Global Wind Report – Annual Market Update 2011*. Zuletzt eingesehen am 27.03.2013, unter [http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual\\_report\\_2011\\_lowres.pdf](http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf)
- Hagelücken, C. 2010: Lagerstätten auf Rädern. Intelligente Recyclingkonzepte könnten wesentlich zur Versorgungssicherheit bei Technologiemetallen beitragen. *ReSource* 3/2010, 30-33

- Haq, G.; Bailey, P. D.; Chadwick, M. J.; Forrester, J.; Kuylenstierna, J.; Leach, G.; Villagrasa, D.; Fergusson, M.; Skinner, I. und S, Obethur 2001: Determining the costs to industry of environmental regulation. In: *European Environment*, 11, 125-139.
- Heinzl, J. 2010: Forschungsförderung an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Bayerisches Staatsinstituts für Hochschulforschung und Hochschulplanung (Hrsg.): *Beiträge zur Hochschulforschung* 32 (3), 92-101
- Helmrich, R. und G. Zika (Hrsg.) 2010: Beruf und Qualifikation in der Zukunft – BIBB-IAB-Modellrechnungen zu den Entwicklungen in den Berufsfeldern und Qualifikationen bis 2025, Bonn.
- Helmrich, R.; Zika, G.; Kalinowski, M. und M.I. Wolter 2010: BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufshauptfeldprojektionen. Methodische Anmerkungen zu einem Kooperationsprojekt, zuletzt eingesehen am 14.12.2011, unter [http://www.bibb.de/dokumente/pdf/Projektion\\_Methoden\\_201004x.pdf](http://www.bibb.de/dokumente/pdf/Projektion_Methoden_201004x.pdf) (14.12.2010).
- Hempling S., Elefant, C., Cory, K., Porter, K. 2010: 2010: Renewable Energy Prices in State-Level Feed-in Tariffs: Federal Law Constraints and Possible Solutions, Golden: National Renewable Energy Laboratory
- Hippel, E. von 1988: *Sources of innovation*, New York
- HM Government 2009: The UK Low Carbon Transition Plan - National strategy for climate and energy. Zuletzt eingesehen am 02.08.2012, unter <http://centralcontent.fco.gov.uk/central-content/campaigns/act-on-copenhagen/resources/en/pdf/DECC-Low-Carbon-Transition-Plan>
- Holmström, B. R. und J. Tirole 1987: The Theory of the Firm. In: R. Schmalensee, R. Willig: *Handbook of Industrial Organization*, Vol. 1, Amsterdam, 61-133.
- Hosang, W., Bischof, W. 2008: *Abwassertechnik*. 11., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart; Leipzig; Teubner.
- IEA 2008: *Energy Policies of IEA Countries – Japan 2008*. Review by the International Energy Agency. Paris: OECD
- IEA 2011: *World Energy Outlook 2011*, London: International Energy Agency
- IFEU 2010: Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“, Zuletzt eingesehen am 15.4.2013, unter [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/Nutzung\\_industrieller\\_Abwaerme.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/Nutzung_industrieller_Abwaerme.pdf), Heidelberg, Karlsruhe.
- IFEU 2012: Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. UBA-Texte 01/2012, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Zuletzt eingesehen am 06.08.2012, unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4237.html>
- IMD 2006: *IMD World Competitiveness Yearbook 2006*. Institute for Management Development, Lausanne
- IW Köln 2012: *Energetische Modernisierung des Gebäudebestandes: Herausforderungen für private Eigentümer*. Untersuchung im Auftrag von Haus & Grund Deutschland. Köln
- IWU 2008: *Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen im Bestand vor dem Hintergrund der novellierten EnEV*, Darmstadt.

- IWU 2011: Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU: Neufassung August 2011.  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Flaechen\\_Gebaeudetypologie\\_Aug\\_2011.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Flaechen_Gebaeudetypologie_Aug_2011.pdf)
- IWU, Bremer Energie Institut 2010: Datenbasis Gebäudebestand- Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt.  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Endbericht_Datenbasis.pdf)
- IWU, Bremer Energie Institut 2011: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizientes Sanieren“ 2010 und „Ökologisch / Energieeffizient Bauen“ 2006 – 2010. Untersuchung im Auftrag der KfW Bankengruppe. Darmstadt, Bremen
- IZT 2011: Kritische Rohstoffe für Deutschland. Anhang zum Abschlussbericht des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin, im Auftrag der KfW-Bankengruppe
- Jaffe, A.; Newell, R. und R. Stavins 2005: A tale of two market failures: Technology and environmental policy, *Ecological Economics* (2005), Volume 54, Issue 2-3, 164-174
- Jänicke, M. 2000: Ecological Modernization: Innovation and Diffusion of Policy and Technology. Zuletzt eingesehen am 26.05.2011, unter [http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/publikationen/2000/jaenicke\\_martin\\_20002/rep\\_2000-08.PDF](http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/publikationen/2000/jaenicke_martin_20002/rep_2000-08.PDF)
- Jänicke, M. 2012: Megatrend Umweltinnovation – Zur ökologischen Modernisierung von Wirtschaft und Staat, München: oekom Verlag
- Japanese Cabinet 2009: The New Growth Strategy- Toward a Radiant Japan. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter <http://www.rio.br.emb-japan.go.jp/NewGrowth.pdf>
- Jochem, E.; C. Jaeger; A. Battaglini; H. Bradke; C. Cremer; W. Eichhammer; H. Förster; A. Haas; E. Henning; F. Idrissova; B. Kasper; J. Köhler; D. Köwener; J. Krause; W. Lass; J. Lilliestam; W. Mannsbarth; M. Müller; F. Meißner; B. Pflüger; P. Radgen; M. Ragwitz; M. Rauschen; F. Reitze; L. Riffeser; K. Saure; W. Schade; F. Sensfuß; F. Toro; R. Walz und M. Wietschel 2008: Investitionen in ein klimafreundliches Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- Jochem, E.; M. Schön; G. Angerer; M. Ball; H. Bradtke; B. Celik; W. Eichhammer; W. Mannsbarth; F. Marscheider-Weidemann; C. Nathani, R. Walz und M. Wietschel 2004: Werkstoffeffizienz. Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Stuttgart: IRB Verlag
- Johnstone, N., Hašič, I. und Popp, D. 2010: Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts, *Environmental and Resource Economics* 45, No.1, 133-155
- Junfeng, Li und Ma Lingjuan 2009: Chinese Renewables Status Report. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.ren21.net/Portals/97/documents/Publications/Background\\_Paper\\_Chinese\\_Renewables\\_Status\\_Report\\_2009.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/Publications/Background_Paper_Chinese_Renewables_Status_Report_2009.pdf)

- Jupesta J. und A. Suwa 2011: Sustainable Energy Policy in Japan, post Fukushima, Energy Forum Fall 2011, International Association of Energy Economics (IAEE). Zuletzt eingesehen am 27.03.2013, unter <http://www.iaee.org/en/publications/fullnewsletter.aspx?id=20>
- Kahn Ribeiro, S., S. Kobayashi, M. Beuthe, J. Gasca, D. Greene, D. S. Lee, Y. Muromachi, P. J. Newton, S. Plotkin, D. Sperling, R. Wit, P. J. Zhou 2007: Transport and its infrastructure. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Kalamova, M. und N. Johnstone 2011: Environmental Policy Stringency and Foreign Direct Investment, OECD Environment Working Papers, No. 33. Zuletzt eingesehen am 16.11.2011, unter <http://dx.doi.org/10.1787/5kg8ghvf85d5-en>
- Kemp, R. und J. Rotmans 2005: The Management of the Co-Evolution of Technical, Environmental and Social Systems. In: Weber, M. und J. Hemmelskamp (eds.), Towards Environmental Innovation Systems, Berlin, Heidelberg, New York (Springer) 2005, 33-55
- Kemp, R. und J. van den Bergh 2006: Economics and Transitions: Lessons from Economic Sub-disciplines, UNU-MERIT Working Paper Series 038, United Nations University, Maastricht Economic and Social Research and Training Centre on Innovation and Technology, Maastricht 2006
- Klemmer, P.; Lehr, U. und K. Löbke 1999: Umweltinnovationen und Anreiz, Reihe Innovative Wirkungen umweltpolitischer Instrumente Bd. 2, Berlin 1999
- Klodt, H. 2011: Zum Konzept der Leitmärkte – Eine Einführung aus industrieökonomischer Sicht. Kiel: Institut für Weltwirtschaft. Zuletzt eingesehen am 28.03.2013, unter <http://www.ifw-kiel.de/wirtschaftspolitik/politikberatung/politikwerkstätten/leitmarkte-abstract>
- Krail M.; W. Schade; D. Fiorello; F. Fermi; A. Martino; P. Christidis B.; Schade; J. Purwanto; N. Helfrich; A. Scholz und M. Kraft 2007: Outlook for Global Transport and Energy Demand. Deliverable 3 des Forschungsprojektes TRIAS (Sustainability Impact Assessment of Strategies Integrating Transport, Technology and Energy Scenarios) im Auftrag der Europäischen Kommission, Karlsruhe
- Krugman, P. 1979: A model of innovation, technology transfer, and the world distribution of income. Journal of Political Economy, Nr. 87, 253–266
- Kuwan, H.; Martinez, S. und M. Gensicke 2009: Future Skill Needs in Renewable Energies in Germany: the ADeBar Project. In: CEDEFOP 2009, 44-50
- Lachenmaier, S. und Wössmann, L. 2006: Does innovation cause exports? Evidence from exogenous innovation impulses and obstacles using German micro data. Oxford Economic Papers, Jg. 2006, Nr. 58, 317-350
- Laffont, J.-J. und J. Tirole 1994: Environmental Policy, Compliance and Innovation. In: European Economic Review 38, 555-562.
- Lanoie, P.; Patry, M. und R. Lajeunesse 2008: Environmental regulation and productivity: Testing the Porter hypothesis. In: Journal of Productivity Analysis, 30, 121-128
- Legler, H., O. Krawczyk und M. Leidmann 2006: Bilanz der forschungs- und wissensintensiven Wirtschaftszweige Deutschlands: Außenhandel, Spezialisierung, Beschäftigung und

- Qualifikationserfordernisse. Studien zum Deutschen Innovationssystem Nr. 03-2006, Berlin: BMBF
- Lehr, U., Lutz, C. Edler, D. u. a. 2011: Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Osnabrück, Berlin, Karlsruhe, Stuttgart
- Leszczensky, M.; Frietsch, R.; Gehrke, B. und Helmrich, R. 2009: Bildung und Qualifikation als Grundlage der technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. HIS: Forum Hochschule 6/2009
- Levinson, A. und M.S. Taylor 2008: Unmasking the pollution haven effect. In: International Economic Review, 49(1), 223-254
- Linder, S. B. 1961: An Essay on Trade and Transformation, Uppsala 1961
- Lundvall, B.-A. (1985), Product innovation and user-producer interaction. Industrial development research series No. 31, Aalborg University Press, Aalborg
- Madsen, J. B. 2008: Innovations and manufacturing export performance in the OECD countries. Oxford Economic Papers, Jg. 2008, Nr. 60, 143-167
- Margolis, J.D. und J.P. Walsh 2003: Misery loves companies: Rethinking social initiatives by business. In: Administrative Science Quarterly, 48, 268-305
- Matthes, F.C.; P. Markewitz; J. Diekmann; W. Eichhammer; C. Doll; N. Helfrich; L. Müller; W. Schade und B. Schlomann 2008: Politiksznarien für den Klimaschutz IV - Szenarien bis 2030. Band 1/2008 der Reihe *Climate Change*, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- Maxwell, D., Owen, P., McAndrew, L., Muehmel, K., Neubauer, A. 2011: Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission. DG Environment, 26 April 2011
- McKinsey 2011 Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs. New York: McKinsey Global Institute
- McLoughlin, E. 2011: Making the Case for Resource Efficiency in Ireland and Options for Taking it Forward – Policy Paper, Sustainable Development Center. Zuletzt eingesehen am 01.09.2012, unter [http://www.comharsdc.ie/\\_files/ResourceEfficiency.pdf](http://www.comharsdc.ie/_files/ResourceEfficiency.pdf). Michelsen, C.; Müller-Michelsen, S., 2010: Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex, in : IWH, Wirtschaft im Wandel 9/2010, 447-455
- METI (Ministry of Economics, Trade and Industry Japan 2010a: Next-Generation Vehicle Plan 2010. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter <http://www.meti.go.jp/english/press/data/pdf/N-G-V2.pdf>
- METI (Ministry of Economics, Trade and Industry Japan) 2010b: The Strategic Energy Plan of Japan. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.meti.go.jp/english/press/data/pdf/20100618\\_08a.pdf](http://www.meti.go.jp/english/press/data/pdf/20100618_08a.pdf)
- Meyer-Krahmer, F. 2004: Vorreiter-Märkte und Innovation, in: Steinmeier, F.W. und Machnig, M. (eds.): Made in Deutschland 21, Hamburg, 95-110
- Mohaupt 2011: Franziska Mohaupt, Wilfried Konrad, Michael Kress, Beschäftigungswirkungen sowie Ausbildungs- und Qualifizierungsbedarf im Bereich der energetischen Gebäudesanierung. Kurzfassung mit Handlungsempfehlungen. In: UBA, BMU (Hrsg.), Umwelt, Innovation, Beschäftigung 01/11, Dessau-Roßlau, Berlin

- Muller, N.; Mendelsohn, R. und W. Nordhaus 2011: Environmental Accounting for Pollution in the United States Economy. In: American Economic Review 101, 1649-1675.
- NABU e.V. 2011: Anforderungen an einen Sanierungsfahrplan – Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050. Berlin
- NDRC (National Development and Reform Commission People´s Republic of China) 2007: Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy in China. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.martinot.info/China\\_RE\\_Plan\\_to\\_2020\\_Sep-2007.pdf](http://www.martinot.info/China_RE_Plan_to_2020_Sep-2007.pdf)
- NEEAP 2007: Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) der Bundesrepublik Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), November 2007
- NEEAP 2011: 2. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) der Bundesrepublik Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Juli 2011
- Nil, J. 2005: Technological competition, time and time windows – the case of iron and steel production technologies. In: Sartorius, C. und S. Zundel (Hrsg.): Time Strategies, Innovation and Environmental Policy. Cheltenham (UK), Northampton (MA): Edward Elgar, 255–286
- Nitsch et al. 2012: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global („Leitstudie 2011“). DLR Stuttgart, Fraunhofer IWES Kassel und IFNE Teltow, Schlussbericht, im Auftrag des BMU, März 2012
- North, D.C. und J.J. Wallis 1994: Integrating Institutional Change and Technical Change in Economic History: A Transactions Cost Approach. In: Journal of Institutional and Theoretical Economics 150/4, 609-624.
- OECD 2004: Environment and Employment: An Assessment, Paris: OECD Publishing
- OECD 2008a: Biofuel Support Policies – An Economic Assessment, Paris: OECD Publishing
- OECD 2008b: An OECD framework for effective and efficient environmental policies. Paris: OECD Publishing
- OECD 2010: Linkages between Environmental Policy and Competitiveness, OECD Environment Working Papers, No. 13. Zuletzt eingesehen am 19.11.2011, unter <http://dx.doi.org/10.1787/218446820583>
- OECD 2011: Tools for Delivering on Green Growth. Zuletzt eingesehen am 19.11.2011, unter <http://www.oecd.org/dataoecd/37/34/48224539.pdf>
- OECD 2011a: Climate Change Mitigation Policies and Employment. ENV/EPOC/WPCID(2011)9. Paris.
- OECD 2012: Economic Surveys KOREA, Paris: OECD Publishing
- Orlitzky, M.; Schmidt, F.L. und S.L. Rynes 2003: Corporate social and financial performance: A meta-analysis. Organization Studies, 24, 403–441
- Palmer, K.L.; Oates, W.E. und P.R. Portney 1995: Tightening Environmental Standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm? In: Journal of Economic Perspectives, Vol. 9, Nr. 4, 119-132.
- Pehndt, M. et al. 2011: Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative. Endbericht des Projektes „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen,

ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative. IFEU, Fraunhofer ISI, Prognos, GWS et al., Heidelberg, Karlsruhe, Berlin, Osnabrück, Freiburg

- Pehndt, M. und Höpfner, U. 2007: Elektromobilität und erneuerbare Energien. Arbeitspapier Nr. 5 im Rahmen des Projektes “Energiebalance – Optimale Systemlösungen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz”. Heidelberg, Wuppertal, November 2007
- Peuckert, J. 2011: Assessment of the social capabilities for catching-up through sustainability innovations, *International Journal Technology and Globalisation*, Nr. 5 (3&4), 190-211
- PEW Charitable Trusts 2010: Global Clean Power- A \$2.3 Trillion Opportunity. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.pewtrusts.org/uploadedFiles/wwwpewtrustsorg/Reports/Global\\_warming/G20-Report-LowRes.pdf](http://www.pewtrusts.org/uploadedFiles/wwwpewtrustsorg/Reports/Global_warming/G20-Report-LowRes.pdf)
- Popp, D. 2006: International innovation and diffusion of air pollution control technologies: The effects of NOx and SO2 regulation in the US, Japan, and Germany. In: *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(1), 46–71
- Porter, M. E. 1990: *The Competitive Advantage of Nations*, New York
- Porter, M. E. und van der Linde, C. 1995: Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, Nr. 9 (4), 97-118
- REN21 2012: *Renewables 2012 – Global Status Report*. Paris: Renewable Energy Policy Network
- Rennings, K. 2000: Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics* 32, 319-332
- Rennings, K.; Rammer, C. und U. Obernhofer 2008: *Instrumente zur Förderung von Umweltinnovationen*. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: UBA
- Rickerson, W., F. Bennhold, J. Bradbury 2008: *Feed-in Tariffs and Renewable Energy in the USA – a Policy Update*, Washington D.C.: Heinrich-Böll-Foundation, World Future Council
- Roland Berger (Hrsg.) 2010: *Electro-mobility- Challenges and opportunities for Europe*. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.anticipationofchange.eu/index.php?id=501&type=0&juSecure=1&locationData=501%3AAtx\\_dam%3A4826&juHash=f13a5341d2aca3eae5b85fc6b906baf0422e8f7b](http://www.anticipationofchange.eu/index.php?id=501&type=0&juSecure=1&locationData=501%3AAtx_dam%3A4826&juHash=f13a5341d2aca3eae5b85fc6b906baf0422e8f7b)
- Saaler, S. 2011: *Der Rücktritt der Regierung Kan und die Zukunft der Atomkraft in Japan*. Berlin: Friedrich-Ebert Stiftung
- Sanyal, P. 2004: The role of innovation and opportunity in bilateral OECD trade performance. *Review of World Economics* Vol. 140, Nr.4, 634-664
- Santarius, T. 2012: *Der Rebound-Effekt: Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz*. Impulse zur WachstumsWende, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
- Sartorius, C., Zundel, S. (Ed.) 2005: *Time Strategies, Innovation and Environmental Policy*. Cheltenham (UK): Edward Elgar
- Schade W. 2012: Results of the techno-economic analysis of the R&D and transport policy packages for the time horizons 2020 and 2050. Deliverable D4.1 of GHG-TransPoRD (Reducing green-house-gas emissions of transport beyond 2020: linking R&D, transport policies and reduction targets). Project co-funded by European Commission 7th RTD

- Programme. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe, Germany (vorläufige Ergebnisse, Bericht erscheint in Kürze)
- Schade W. et al. 2011: Bottom-up quantifications of selected measures to reduce GHG emissions of transport for the time horizons 2020 and 2050. Deliverable D3.1 of GHG-TransPoRD (Reducing green-house-gas emissions of transport beyond 2020: linking R&D, transport policies and reduction targets). Project co-funded by European Commission 7th RTD Programme. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe, Germany (vorläufige Ergebnisse, Bericht erscheint in Kürze)
- Schade, W.; A. Lüllmann; R. Beckmann und J. Köhler 2009: Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr. Band 8/2009 der Reihe *Climate Change*, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Zuletzt eingesehen am 08.08.2012, unter [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3763](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3763)
- Schill, W.-P. 2010: Elektromobilität in Deutschland: Chancen, Barrieren und Auswirkungen auf das Elektrizitätssystem, in: Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung 2/2010
- Schill, W.-P. 2011: Electric Vehicles in Imperfect Electricity Markets: The Case of Germany. *Energy Policy* (2011), 10 , 6178-6189
- Schill, W.-P., Diekmann, J. und Kemfert, C. 2009: Energie- und Klimaschutzpolitik: USA holen langsam auf. *Wochenbericht des DIW Berlin*, 46 / 2009, 796-805
- Schmidt, N. 2010: Auswirkungen des Strukturwandels der Wirtschaft auf den Bildungsstand der Bevölkerung. In: *Wirtschaft und Statistik* 6/2010
- Seligsohn, D.; Heilmayr, R.; Tan, X. und L. Weischer 2009: China, the United States, and the Climate Change Challenge. Washington D.C.: World Resources Institute.
- Shell (Hrsg.) 2011: Shell Hauswärme-Studie – Nachhaltige Wärmeerzeugung für Wohngebäude. Fakten, Trends, Perspektiven. Hamburg
- Simon, H. 2007: Hidden Champions des 21. Jahrhunderts: Die Erfolgsstrategien unbekannter Weltmarktführer. Frankfurt am Main: Campus Verlag
- Smith, A.; Stirling, A. und F. Berkhout 2004: Governing Sustainable Industrial Transformation Under Different Transition Contexts. In: Jacob, Klaus, Manfred Binder, Anna Wiczorek (eds.), *Governance for Industrial Transformation*, Berlin 2004, 113-132
- Southern California Association of Governments 2012: Regional Transportation Improvement Program (RTIP). Zuletzt eingesehen am 29.10.2012, unter <http://www.scag.ca.gov/rtip/>
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2007b: Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Umweltbelastungen durch deutsche Exporte und Importe. Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) (Hrsg.) 2010: Rohstoffeffizienz: Wirtschaft entlasten, Umwelt schonen. Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnung 2010. Wiesbaden
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2007: Umweltökonomische Aspekte der Globalisierung. Ergebnisse der umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2007. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 13.11.2007. Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2009: Bevölkerung Deutschlands bis 2060. Ergebnisse der 12. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2010a: Umwelnutzung und Wirtschaft - Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2010. Wiesbaden: StaBuA

- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2010b: Fachserie 4 Reihe 4.3. Produzierendes Gewerbe: Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Erschienen 1. Juni 2010. Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2010c: Fachserie 18 Reihe 1.4. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Erschienen am 28.05.2010 (Stand: Mai 2010). Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2010d: Fachserie 18 Reihe 2. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung - Jahr 2007. Erschienen am 28.05.2010 . Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2011: Fachserie 18 Reihe 1.4. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Erschienen am 16.09.2011, Tabellen 3.2.13 und 3.2.14 korrigiert am 05.10.2011. Wiesbaden: StaBuA
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2012a: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- StaBuA (Statistisches Bundesamt) 2012b: Umwelt. Erläuterungen zur Abfallbilanz. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- Stäglin, R., Edler, D., Schintke, J. unter Mitarbeit von Renate Filip-Köhn 1992: Der Einfluß der gesamtwirtschaftlichen Nachfrageaggregate auf die Produktions- und Beschäftigungsstruktur - eine quantitative Input-Output-Analyse. Schwerpunktuntersuchung im Rahmen der Strukturberichterstattung, Beiträge zur Strukturforschung, Heft 127/I (Textband) und 127/II (Materialband), Berlin
- Technology Strategy Board 2009: Resource Efficiency – Strategy 2009-2013. Zuletzt eingesehen am 27.03.2013, unter [http://www.innovateuk.org/\\_assets/pdf/Corporate-Publications/ResourceEfficiencyStrategyT09\\_080.pdf](http://www.innovateuk.org/_assets/pdf/Corporate-Publications/ResourceEfficiencyStrategyT09_080.pdf).
- The Climate Group (Hrsg.) 2011: Delivering Low Carbon Growth- A Guide to China's 12th Five Year Plan. Zuletzt eingesehen am 23.01.2012, unter [http://www.theclimategroup.org/\\_assets/files/FINAL\\_14Mar11\\_-TCG\\_DELIVERING-LOW-CARBON-GROWTH-V3.pdf](http://www.theclimategroup.org/_assets/files/FINAL_14Mar11_-TCG_DELIVERING-LOW-CARBON-GROWTH-V3.pdf)
- UBA (Umweltbundesamt) 2011: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2010 (Endstand: 14.12.2011). Zuletzt eingesehen am 08.08.2012, unter [http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/archiv/2012/2011\\_12\\_14\\_EM\\_Entwicklung\\_in\\_D\\_Trendtabelle\\_THG\\_v1.2.0.zip](http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/archiv/2012/2011_12_14_EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG_v1.2.0.zip)
- UBA 2005: Strategie für die Zukunft der Siedlungsabfallentsorgung. Zuletzt eingesehen am 30.03.2011, unter [http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/strategie\\_siedlungsabfallents.pdf](http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/strategie_siedlungsabfallents.pdf)
- UBA 2009b: Strategie für einen nachhaltigen Güterverkehr. Zuletzt eingesehen am 04.04.2011, unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3857.pdf>
- UNEP 2010: Overview of the Republic of Korea's National Strategy of Green Growth, Nairobi: United Nations Environment Programme
- UNEP 2011a: Green Economy Report 2011, Nairobi: United Nations Environment Programme
- UNEP 2011b: Recycling rates of metals. A status report. Nairobi: United Nations Environment Programme

- UNEP 2012: Towards a Green Economy – Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Nairobi: United Nation Environment Programme
- UNESCAP 2009: Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment, Bangkok: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
- Unruh, G. 2000: Understanding carbon lock-in, Energy Policy (2000), vol. 28(12), 817-830
- USDT 2012: 1603 Program: Payments for Specified Energy Property in Lieu of Tax Credits, Pressemitteilung des US Department of the Treasury. Zuletzt eingesehen am 15.08.2012, unter <http://www.treasury.gov/initiatives/recovery/Pages/1603.aspx>
- Vernon, R. 1966: International Investment and International Trade in the Product Cycle. Quarterly Review of Economics, Vol. 88, 190-207
- Vivid economics 2011: The Green Investment Bank: Policy and Finance Context – Final Report, London: Department for Business Innovation and Skills
- Wakelin, K. 1998: The role of innovation in bilateral OECD trade performance. Applied Economics, Jg. 1998, Nr. 30, 1335-1346
- Walz, R. 2007: The role of regulation for sustainable infrastructure innovations: the case of wind energy. International Journal of Public Policy, Vol. 2, No. 1/2, 57-88
- Walz, R. und F. Marscheider-Weidemann 2011: Technology-specific absorptive capacities for green technologies in newly industrializing countries. International Journal of Technology and Globalisation, Jg. 2011, Vol. 5, No. 3-4, 212-229
- Walz, R., J. Schleich und M. Ragwitz. 2011: Regulation, Innovation and Wind Power Technologies – An empirical analysis for OECD countries. Paper presented at the DIME Final Conference, 6-8 April 2011, Maastricht
- Walz, R.; Delgado, J. und J., Peuckert 2010: Are newly industrializing countries ready to integrate sustainability technologies into their catching up process? THE ISI-CUP Project. Paper presented at International Society for Ecological Economics (ISEE) 11th Biennial Conference: Advancing Sustainability in a Time of Crisis, 22 – 25 August 2010, Oldenburg
- Walz, R.; Ostertag, K.; Doll, C.; Eichhammer, W.; Frietsch, R.; Helfrich, N.; Marscheider-Weidemann, F. und Sartorius, C., Fichter, K., Beucker, S.; Schug, H., Eickenbusch, H., Zweck, A., Grimm, V. und W. Luther 2008: Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: UBA
- WBCSD 2004: Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability. Genf: World Business Council for Sustainable Development
- WEF (World Economic Forum) 2008: World Economic Forum, The Global Competitiveness Report, New York
- Weizsäcker, E.U.v., K. Hargroves, M. Smith 2010: Faktor Fünf: Die Formel für nachhaltiges Wachstum, München:Droemer Verlag
- Wellington Regional Council 2012: Regional Land Transport Programme 2012-2015, Wellington. Zuletzt eingesehen am 29.10.2012, unter <http://www.gw.govt.nz/assets/Transport/Regional-transport/RLTP-2012-15.pdf>

World Bank 2012: West Africa Regional Transport and Transit Facilitation Project. Zuletzt eingesehen am 29.10.2012, unter <http://www.worldbank.org/projects/P079749/west-africa-regional-transport-transit-facilitation-project?lang=en>

WWF 2009: Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Untersuchung von Prognos und Öko-Institut im Auftrag des WWF, Berlin, Basel

Zimmer, W.; F. Hacker; S. Müller; A. Lischke; A. Justen; M. Mehlin; M. Heinrichs; A. Kihm; W. Schade; J. Hartwig und L. Sievers 2011: Renewbility II: Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Ergebnisdokumentation für ein Stakeholder-Szenario zum Klimaschutz im Verkehr. Berlin, November 2011

Zundel, S. 2004: Time Strategies for an Innovation Oriented Environmental Policy. In: Jacob, K., M. Binder und A. Wieczorek (Hrsg.): Governance for Industrial Transformation. Berlin: Umweltforschungszentrum, 133-145

