

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 14 102
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

Chancen und Potenziale Grüner Zukunftsmärkte

von

Walter Kahlenborn, Carla Penderock, Elsa Semmling
adelphi, Berlin

Ralph Büchele, Andrea Wiedemann
Roland Berger Strategy Consultants GmbH, München

Christian Lutz, Kirsten S. Wiebe, Anne Nieters
GWS mbH, Osnabrück

adelphi consult, Caspar-Theyß-Str. 14a, 14193 Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

November 2014

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Chancen und Potenziale Grüner Zukunftsmärkte
Autor(en) (Name, Vorname)	Kahlenborn, Walter; Penderock, Carla; Semmling, Elsa; Büchele, Ralph; Wiedemann, Andrea; Lutz, Christian; Wiebe, Kirsten S.; Nieters, Anne
Durchführende Institution (Name, Anschrift)	adelphi consult Caspar-Theyß-Str.14a 14193 Berlin
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2014
Forschungskennzahl (FKZ)	3711 14 102
Seitenzahl des Berichts	300
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Zukunftsmärkte; Green Economy; green transformation; ökologische Modernisierung; environmental performance; alternative Antriebstechnologien; erneuerbare Energien; Speichertechnologien; Effizienztechniken; stoffliche Abfallverwertung; grüne Geschäftsmodelle

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Opportunities and Potentials of Green Markets
Author(s) (Family Name, First Name)	Kahlenborn, Walter; Penderock, Carla; Semmling, Elsa; Büchele, Ralph; Wiedemann, Andrea; Lutz, Christian; Wiebe, Kirsten S.; Nier- ters, Anne
Performing Organisation (Name, Address)	adelphi consult Caspar-Theyß-Str.14a 14193 Berlin
Funding Agency	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Report Date (Year)	2014
Project No. (FKZ)	3711 14 102
No. of Pages	300
Supplementary Notes	
Keywords	green economy; green transformation; ecological modernization; environmental performance; alternative drive technologies; renewa- ble energies; energy storage technologies; energy efficiency tech- nologies; recycling technologies; green business models

Kurzbeschreibung

adelphi, Roland Berger Strategy Consultants und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) widmen sich in der vorliegenden Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes verschiedenen Facetten der grünen Zukunftsmärkte in Deutschland. Die Studie hat den Anspruch, die Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte und ihre Bedeutung für die Wirtschaft und den Umweltschutz zu untersuchen sowie Vorschläge und Handlungsstrategien auf unternehmerischer und staatlicher Ebene zu entwickeln.

Auf Grundlage bestehender Studien wurde zunächst eine Arbeitsdefinition von grünen Zukunftsmärkten entwickelt und ein ganzheitliches Messsystem für den Grad des Wandels zu einer grünen Transformation vorgeschlagen. Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurden in der vorliegenden Studie sechs Submärkte identifiziert, für die in der analysierten Literatur ein besonders dynamisches Wachstum erwartet wird: alternative Antriebstechnologien, erneuerbare Energien, Speichertechnologien, Effizienztechniken im industriellen Sektor, Energieeffizienz von Gebäuden und stoffliche Abfallverwertung. Für diese Zukunftsmärkte und die dazugehörigen Technologien wurden zunächst eine ökonomische Analyse und eine Einschätzung der Wettbewerbsposition Deutschlands auf diesen Märkten durchgeführt, aus denen innovations- und unternehmenspolitische Schlussfolgerungen resultierten. Ebenfalls wurden Beispiele grüner Geschäftsmodelle präsentiert.

Basierend auf bestehenden Studien und separat geführten Technologieexperteninterviews sowie mithilfe von Szenarioanalysen wurden für diese Zukunftsmärkte und -technologie in einem zweiten Schritt die positiven und negativen Umweltwirkungen im In- und Ausland analysiert, um hieraus wiederum umweltpolitische Empfehlungen für die einzelnen Zukunftsmärkte abzuleiten.

In einem letzten Schritt wurden allgemeine umweltpolitische Probleme und Potenziale der grünen Zukunftsmärkte untersucht und verglichen, um dann umweltpolitische Ansatzpunkte zur Problemlösung präsentieren zu können. Es wurden Handlungsstrategien zur Förderung grüner Zukunftsmärkte dargelegt, die die negativen Umweltwirkungen bestimmter Zukunftstechnologien mindern und somit eine grüne Transformation voranbringen können.

Abstract

adelphi, Roland Berger Strategy Consultants and the Institute of Economic Structures Research (GWS) have conducted this study on behalf of the Federal Environment Agency to investigate diverse facets of the green key growth markets in Germany. The study intends to examine the development of green key growth markets and their importance for the economy and for environmental protection, as well as to develop proposals and action strategies at both company and national policy level.

Based on existing studies, a working definition of green key growth markets was initially developed and an overall system was proposed for measuring stages of green transformation. In cooperation with the commissioning bodies, the research consortium identified six submarkets where particular dynamic growth is expected, as was relayed in the analysed literature: Alternative drive technologies, renewable energy, energy storage technologies, efficiency technologies in the industrial sector, energy efficiency for buildings and waste recycling.

Initially, an economic analysis was conducted and an estimation of Germany's competitive position in these markets was made, the results of which included innovation policy recommendations and corporate policy conclusions. In addition, examples of green enterprise models were presented.

The second phase made use of existing studies, separately conducted interviews with technology experts, and also scenario analysis, to analyse the positive and negative environmental impacts of green key growth markets and technologies both nationally and internationally, as well as to deduce green policy recommendations for each individual green key growth market.

During the final phase, a comparative examination of general environmental problems and green key growth market potential was carried out in order to present environmental policy approaches towards problem solving. Furthermore, action strategies for promoting green key growth markets were presented that reduce the negative environmental impact of certain future technologies and thus encourage green transformation

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	13
Zusammenfassung	18
Summary	34
1 Einleitung	49
2 Teil 1: Ökonomische Analyse der Grünen Zukunftsmärkte und der Wettbewerbsposition Deutschlands.....	51
2.1 Markt- und Transformationsanalyse	51
2.1.1 Auswahl und Analyse einschlägiger Studien	51
2.1.2 Synopse der einschlägigen Studien	55
2.1.2.1 Abgrenzung/Definition der grünen Zukunftsmärkte	55
2.1.2.2 Dynamik und Trends	60
2.1.2.3 Messung der grünen Transformation	66
2.2 Deutschlands Position auf den grünen Zukunftsmärkten.....	77
2.2.1 Zielsetzung und Aufbau dieses Kapitels.....	77
2.2.2 Auswahl und Beschreibung der Submärkte.....	77
2.2.3 SWOT-Analyse der identifizierten Submärkte	82
2.2.3.1 SWOT-Analyse Alternative Antriebstechnologien	82
2.2.3.2 SWOT-Analyse Erneuerbare Energien	84
2.2.3.3 SWOT-Analyse Speichertechnologien	87
2.2.3.4 SWOT-Analyse Effizienztechniken im industriellen Sektor	88
2.2.3.5 SWOT-Analyse Energieeffizienz von Gebäuden	90
2.2.3.6 SWOT-Analyse Stoffliche Abfallverwertung	91
2.2.4 Portfolio-Analyse der identifizierten Submärkte	93
2.3 Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy	96
2.3.1 Einleitung: Gesellschaftliche Aspekte und Performance von Unternehmen.....	96
2.3.2 Geschäftsmodell – Definition und Komponenten.....	97
2.3.3 Auswahlkriterien für innovative, „grüne“ Geschäftsmodelle	98
2.3.4 Beispiele für innovative „grüne“ Geschäftsmodelle.....	100
2.3.4.1 Cofely Deutschland GmbH	100
2.3.4.2 flinc AG	101
2.3.4.3 GreenPocket GmbH	102
2.3.4.4 LaTherm Energie AG	102
2.3.4.5 Next Kraftwerke GmbH	103

2.3.4.6	Stadtwerke Karlsruhe	104
2.3.4.7	ubitricity Gesellschaft für verteilte Energiesysteme mbH	104
2.3.4.8	WestfalenWIND GmbH	105
2.3.4.9	Yunicos AG	105
2.3.4.10	ZIM Plant Technology GmbH	106
2.4	Schlussfolgerungen – politische Optionen für Unterstützung bei der Umstellung auf grüne Geschäftsmodelle	107
2.4.1	Innovationspolitische Schlussfolgerungen	108
2.4.1.1	Innovationen als Wegbereiter der Grünen Transformation	108
2.4.1.2	Ansatzpunkte für die Verbesserung der Innovationspolitik auf den grünen Zukunftsmärkten	109
2.4.2	Unternehmenspolitische Schlussfolgerungen	111
2.4.2.1	Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit leisten –Grüne Transformation als Chance für Unternehmen	112
2.4.2.2	Qualifizierung für die Grüne Transformation	112
2.4.2.3	Anreize für die Grüne Transformation	113
3	Teil 2: Umweltwirkungen ausgewählter grüner Technologien	114
3.1	Grüne Zukunftstechnologien und ihre Umweltwirkungen	114
3.2	Bewertungen der Umweltwirkungen ausgewählter grüner Zukunftstechnologien	122
3.2.1	Alternative Antriebstechnologien	123
3.2.2	Erneuerbare Energien	131
3.2.3	Speichertechnologien	139
3.2.4	Effizienztechniken im industriellen Sektor	147
3.2.5	Energieeffizienz von Gebäuden	152
3.2.6	Stoffliche Abfallverwertung	158
3.3	Szenarioanalysen der Umweltwirkungen ausgewählter Technologielinien	163
3.3.1	Alternative Antriebstechnologien	164
3.3.1.1	Literaturanalyse	165
3.3.1.2	Szenarien und Ergebnisse für alternative Antriebstechnologien	169
3.3.2	Stoffliche Abfallverwertung	179
3.3.2.1	Kurzbeschreibung GRAM	181
3.3.2.2	Szenarienrechnung	184
3.3.2.3	Fazit	191
3.4	Schlussfolgerungen – Empfehlungen für ausgewählte grüne Technologien	191
3.4.1	Alternative Antriebstechnologien	191
3.4.2	Erneuerbare Energien	192
3.4.3	Speichertechnologien	192

3.4.4	Effizienztechniken in der Industrie	192
3.4.5	Energieeffizienz in Gebäuden	193
3.4.6	Stoffliche Abfallverwertung.....	193
4	Teil 3: Die (teilweise) Green Economy – Eine kritische Reflexion	195
4.1	Einleitung	195
4.2	Vergleichende Betrachtung der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien	196
4.3	Umweltpolitische Probleme und Potenziale	206
4.4	Schlussfolgerungen für die Förderung <i>wirklich</i> grüner Zukunftsmärkte.....	207
4.4.1	Die strategische Dimension.....	207
4.4.2	Die Bedeutung von Foresight.....	213
4.4.3	Förderpolitische Implikationen.....	215
4.4.4	Schlussfolgerungen mit Blick auf das Leitbild einer Green Economy.....	217
4.4.5	Grenzen der Kommunikation zu Green Technologies	219
4.4.6	Das weitere umweltpolitische Instrumentarium.....	219
4.4.7	Rückwirkungen auf die grünen Zukunftsmärkte.....	223
4.5	Ausblick und offene Forschungsfragen	225
5	Quellenverzeichnis	228
	Anhang	241
	Anhang 1: Studien.....	241
	Anhang 2: Experteninterviews	275
	Anhang 3: Anschreiben und Gesprächsleitfaden für die Experteninterviews	299
	Anhang 4: Die Modelle	304

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Welthandelsanteile der größten Anbieter von potenziellen Umweltschutzgütern 1993 bis 2009 (in %)	62
Abbildung 2:	Vorschlag für ein ganzheitliches System zur Messung der grünen Transformation	70
Abbildung 3:	Wesentliche Inputgrößen für die Portfolio-Analyse	94
Abbildung 4:	Portfolio-Analyse ausgewählter Technologien in den Submärkten*	96
Abbildung 5:	Instrumentenuhr zur Steuerung von innovationspolitischen Maßnahmen	110
Abbildung 6:	Prinzip von Lebenswegen	114
Abbildung 7:	Wechselwirkung zwischen EE und Elektromobilität	125
Abbildung 8:	Der Strommix in Deutschland im Jahr 2012	133
Abbildung 9:	CO ₂ -Emissionen des deutschen Pkw-Bestands in verschiedenen Szenarien im Forschungsprojekt OPTUM	166
Abbildung 10:	Klimabilanz eines mittleren Otto-, Diesel- und BEV-Pkw im Jahr 2030	167
Abbildung 11:	Endenergiebedarf des Pkw-Bestands im Szenario EM-Ziel in PJ	171
Abbildung 12:	CO ₂ -Emissionen des Pkw-Bestands im Szenario EM-Ziel in Mt	172
Abbildung 13:	Bruttostromerzeugung nach Energieträgern im Szenario EM-Ziel in TWh	173
Abbildung 14:	Veränderung des Endenergieverbrauchs im Szenario EM-Ziel gegenüber dem Szenario Nische in PJ	173
Abbildung 15:	Veränderung der gesamten CO ₂ -Emissionen des Pkw-Verkehrs im Szenario EM-Ziel gegenüber dem Szenario Nische in Mt CO ₂	174
Abbildung 16:	Veränderung des Endenergieverbrauchs im Szenario EM ambitioniert gegenüber dem Szenario EM-Ziel in PJ	175
Abbildung 17:	Veränderung der gesamten CO ₂ -Emissionen des Pkw-Verkehrs im Szenario EM ambitioniert gegenüber dem Szenario EE-Ziel in Mt CO ₂	176
Abbildung 18:	Lärmemissionen bei Haltestellenabfahrt unter Vollastbedingungen	177
Abbildung 19:	Eisenerzgewinnungsländer für direkte Importe nach Deutschland	186
Abbildung 20:	Konsumbasierte Eisenerzgewinnungsländer für Deutschland	189
Abbildung 21:	Upstream Effekte: Änderung der territorialen Emissionen	190
Abbildung 22:	Downstream Effekte: Änderung der konsumbasierten Emissionen	190

Abbildung 23:	Marktattraktivität gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien in Deutschland	224
Abbildung 24:	Marktattraktivität gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien in den Abbaugebieten	224
Abbildung 25:	Wettbewerbsposition gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien in Deutschland	225
Abbildung 26:	Wettbewerbsposition gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien im Ausland	225
Abbildung 27:	Struktur des umweltökonomischen Modells PANTA RHEI	304
Abbildung 28:	Überblick über die Personenverkehrsmodellierung	305
Abbildung 29:	Detailmodellierung Pkw	306
Abbildung 30:	Verschmutzungsmatrix	312

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die identifizierten Studien.....	52
Tabelle 2:	Überblick über die vorgestellten Geschäftsmodelle	100
Tabelle 3:	Umweltgüter, Politische Zielwerte und Indikatoren – Teil I	117
Tabelle 4:	Umweltgüter, Politische Zielwerte und Indikatoren – Teil II	118
Tabelle 5:	Umweltgüter, Politische Zielwerte und Indikatoren – Teil III	120
Tabelle 6:	Jährlicher "full-fuel-cycle" Emissionen in t CO ₂ (2013)	126
Tabelle 7:	Bewertung der Auswirkungen von AA auf ausgewählte Umweltgüter	126
Tabelle 8:	Externe Kosten der Stromerzeugung in der EU (in EUR-cent pro kWh).....	131
Tabelle 9:	Bewertung der Auswirkungen der EE auf ausgewählte Umweltgüter	134
Tabelle 10:	Bewertung der Auswirkungen von Speichertechnologien auf ausgewählte Umweltgüter.....	142
Tabelle 11:	Bewertung der Auswirkungen von Effizienztechniken in der Industrie auf ausgewählte Umweltgüter	148
Tabelle 12:	Bewertung der Auswirkungen von Energieeffizienz von Gebäuden auf ausgewählte Umweltgüter	154
Tabelle 13:	Bewertung der Auswirkungen von stofflicher Abfallverwertung auf ausgewählte Umweltgüter.....	159
Tabelle 14:	Bewertung der Auswirkungen von AA auf ausgewählte Umweltgüter	164
Tabelle 15:	Zusammenfassung der Ergebnisse vier ausgewählter Studien zum Emissionsminderungspotenzial der Elektromobilität.....	168
Tabelle 16:	Rückgang der Schadstoffe durch Elektrofahrzeuge in t pro Jahr	176
Tabelle 17:	Bewertung der Auswirkungen von stofflicher Abfallverwertung auf ausgewählte Umweltgüter.....	180
Tabelle 18:	OECD IOT Inputkoeffizienten für Deutschland 2005 – Auszug für Metalle.....	184
Tabelle 19:	Eisenerzimporte Deutschlands nach Herkunftsländern in kt im Jahr 2005	188
Tabelle 20:	Globale Einsparung von Eisenerz aufgrund der stofflichen Abfallverwertung in Deutschland.....	189
Tabelle 21:	Überblick über die Umweltwirkungen ausgewählter grüner Zukunftstechnologien (Werte als Vergleich zu Referenzszenarien)	197
Tabelle 22:	Überblick über die Rückwirkungen auf Rohstoff-Abbauländer	202
Tabelle 23:	Übersicht über weltweit stark wachsende Technologien	248
Tabelle 24:	Deutschlands Emissionen (2010) in Mio. t CO ₂	307

Tabelle 25:	Materialkategorien in GRAM.....	308
Tabelle 26:	Endnachfragekategorien.....	310
Tabelle 27:	Wirtschaftszweige (WZ) der OECD Input-Output Tabellen.....	314

Abkürzungsverzeichnis

AA	Alternative Antriebe
ADB Asian Development Bank	Asian Development Bank
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BEV	Batterieelektrische Fahrzeuge
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BRICS	Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika
BSZF	Brennstoffzellenfahrzeug
Bq	Becquerel
CAGR	Compound annual growth rate
CCS	Carbon Dioxide Capture and Storage
CGTI	China Greentech Initiative
CO₂	Kohlendioxid
CO₂eq	CO ₂ -Äquivalent
CSR	Corporate Social Responsibility
dB	Dezibel
DDA	Dachverband Deutscher Avifaunisten
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EET	Erneuerbare-Energien-Technologien
EHPA	European Heat Pump Association
EHPA-Q	European Quality Label for Heat Pumps
EIO	Eco-Innovation Observatory
EM	Elektromobilität
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPO	European Patent Office

EU	Europäische Union
EUR	Euro
EV	Elektrofahrzeuge
EWB	Elektrolyse-Wasserstoff-Brennstoffzelle
Fe-Metall	Eisen-Metall
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (Fuel Cell Electric Vehicle)
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
F-Gase	Fluorkohlenwasserstoffe
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)
Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
FuE	Forschung und Entwicklung
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
HDPE	High-density Polyethylen
IEA	Informations- und Kommunikationstechnologie
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ILO	International Labour Organization
ICTSD	International Centre for Trade and Sustainable Development
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-emitting diode
METI	Ministry of Economy, Trade and Industrie (Japan)
MJ	MegaJoule
Mrd.	Milliarden
mSv	Mikro-Sievert
MUGV	Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
NE-Metall	Nichteisen-Metall
NH₃	Ammoniak
NIW	Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung
NKM	Nickel-Kobalt-Mangan
NM VOC	Non Methane Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)
NO_x	Stickoxide
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development

ORC	Organic Rankine Cycle
PET	Polyethylenterephthalat
PHEV	Plug-In-Hybrid Fahrzeuge
PJ	Petajoule
Ppm	parts per million, Millionstel Anteile
PS	Polystyrol
PV	Photovoltaik
RCA	Revealed Comparative Advantage
REEV	Elektrofahrzeuge mit Range-Extender Lösungen
RIMAS	Research Institute for Managing Sustainability
Rio +20	United Nations Conference on Sustainable Development, Konferenz der Vereinten Nationen über nachhaltige Entwicklung; Nachfolgekonferenz der UNCED in Rio de Janeiro
SO₂	Schwefeldioxid
StMWIVT	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
THG	Treibhausgase
TWh	Terawattstunde
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development, Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung; auch als „Erdgipfel“ oder „Riogipfel“ bezeichnet
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UN-DESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCAP	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
UNGC	United Nations Global Compact
USD	US-Dollar
US	United States of America
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WEA	Windenergieanlagen
WTT	Well-to-Tank Ansatz
WTW	Well-to-Wheel Ansatz
WWF	World Wide Fund for Nature
µg	Mikrogramm

Zusammenfassung

Zielsetzung und methodischer Ansatz der Studie

adelphi, Roland Berger Strategy Consultants und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) widmen sich in der vorliegenden Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes verschiedenen Facetten der grünen Zukunftsmärkte in Deutschland. Die Studie hat den Anspruch, die Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte und ihre Bedeutung für die Wirtschaft und den Umweltschutz zu untersuchen sowie Vorschläge und Handlungsstrategien auf unternehmerischer und staatlicher Ebene zu entwickeln.

Das gesamte Themenfeld der grünen Zukunftsmärkte ist noch relativ neu und daher auch konzeptionell schwer zu fassen. Gleichzeitig wird eine „grüne Transformation“ von Wirtschaft und Gesellschaft derzeit in vielen Kontexten unter dem Schlagwort „Green Economy“ intensiv diskutiert. Oftmals fehlen jedoch geeignete Analyserahmen, um sinnvolle Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die vorliegende Studie dient daher als wissenschaftlicher Beitrag zur Erforschung und möglichen Messung einer grünen Transformation.

Ihrem Charakter nach ist sie in wesentlichen Teilen eine „scoping study“. Das heißt: Sie liefert einen ersten Einblick in den Themenkomplex der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien.

Im Mittelpunkt der Studie standen drei Untersuchungsthemen:

1. Ökonomische Analyse der Grünen Zukunftsmärkte und der Wettbewerbsposition Deutschlands
2. Umweltwirkungen ausgewählter Teilmärkte und Zukunftstechnologien
3. Handlungsstrategien für die Förderung möglichst umweltentlastender grüner Zukunftsmärkte

Das Projekt basiert auf der Auswertung von bestehenden Studien und Experteninterviews. Die folgenden Absätze geben einen Einblick in das Vorgehen und die Kernergebnisse der Studie.

Ökonomische Analyse der Grünen Zukunftsmärkte und der Wettbewerbsposition Deutschlands

Teilbericht I fokussierte vor allem auf die ökonomischen Potenziale in einzelnen grünen Zukunftsmärkten sowie auf die Chancen, die sich daraus für einzelne Unternehmen ergeben, und auf die Erschließung dieser Möglichkeiten mittels grüner Geschäftsmodelle.

Zunächst erfolgte eine Markt- und Transformationsanalyse zur begrifflichen Abgrenzung und Definition der grünen Zukunftsmärkte und zur Identifizierung ihrer aktuellen Dynamik und Trends. Um ein umfassendes und detailliertes Bild grüner Zukunftsmärkte zu erhalten, wurde eine Bestandsaufnahme bisher publizierter Studien durchgeführt. Es wurden 37 neuere Studien identifiziert, die sich mit unterschiedlichen regionalen Foki den grünen Zukunftsmärkten widmen. Die Liste von 37 Studien wurde nochmals gefiltert und anhand der 22 ausgewählten Studien wurde schließlich eine Synopse erstellt. Die 22 Studien wurden nach einem einheitlichen und exakt definierten Schema ausgewertet. Dieses Raster wurde entsprechend folgenden Untersuchungsfeldern gestaltet: Definition und Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte, Dynamik und Trends auf diesen Märkten sowie Indikatoren für die Messung der Transformation in Richtung einer Green Economy.

Definition und Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte

Die Synopse ergab, dass bislang weder in der Fachliteratur noch im nationalen und internationalen Expertendiskurs eine einheitliche und verbindliche Definition der grünen Zukunftsmärkte existiert. Stattdessen wird eine Vielzahl unterschiedlicher Begriffe verwendet. Alle Bezeichnungen beschreiben einen Sektor der Wirtschaft, dessen Produkte und Dienstleistungen dem Umwelt- und Klimaschutz sowie dem schonenden Umgang mit Ressourcen dienen. In der vorliegenden Studie werden ausschließlich die Bezeichnungen Umweltwirtschaft und grüne Zukunftsmärkte verwendet. Der Umweltwirtschaft liegt dabei zunächst ein weit gefasstes Verständnis zugrunde: *„Die Umweltwirtschaft (als Kurzform von Umweltschutzwirtschaft) ist die im Folgenden verwendete Branchenbezeichnung für alle diejenigen Unternehmen, die Umweltschutzgüter und -dienstleistungen zur Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbelastungen anbieten.“* (vgl. NIW/Fraunhofer ISI 2011: 4).

Wie die Synopse zeigte, existiert in der Literatur eine Vielzahl von Definitionsansätzen der grünen Zukunftsmärkte, die sich entlang von vier Demarkationslinien unterscheiden lassen:

- ▶ Anwendungsperspektive versus Technologieperspektive
- ▶ Betrachtung einzelner Segmente versus gesamthaftes Abbild der Umweltwirtschaft
- ▶ Umweltschutzgüter versus umweltfreundliche Produktion und umweltfreundlicher Konsum
- ▶ Angebotsorientierte versus nachfrageorientierte Ansätze bei der Bestimmung der Marktgröße

Die Heterogenität der Definitionsansätze geht über rein terminologische Diskussionen weit hinaus; vielmehr hat die Vielfalt der Begriffe erhebliche Auswirkungen auf die Quantifizierung des Marktvolumens und auf die Einschätzung der Rolle von grünen Zukunftsmärkten im Rahmen der Transformation in Richtung einer Green Economy.

Die Arbeitsdefinition, die beschreibt, welches Verständnis der grünen Zukunftsmärkte der vorliegenden Studie zugrunde liegt, folgt dem Ansatz der Publikation „GreenTech made in Germany 3.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland des Bundesumweltministerium (2012a). Demnach erfolgt die Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte aus der Technologieperspektive. Den Ausgangspunkt für die Segmentierung der Umweltwirtschaft bilden Technologielinien. Darunter werden Produkte, Verfahren und Dienstleistungen verstanden. Diese werden bottom-up zu Marktsegmenten aggregiert, die wiederum zu sechs Leitmärkten zusammengefasst werden: Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Wasserwirtschaft. Diese Leitmärkte, die auch als grüne Zukunftsmärkte bezeichnet werden (vgl. BMU 2012d: 8), stellen ein gesamthaftes Abbild der Umweltwirtschaft dar. Die Technologielinien, die den sechs Leitmärkten zugrunde liegen, umfassen Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die sowohl dem additiven Umweltschutz dienen (das heißt, der Produktion/dem Konsum nachgelagerten Beseitigung umweltschädlicher Auswirkungen) als auch prozessintegrierte Technologien und umweltfreundliche Produkte.

Dynamik und Trends der grünen Zukunftsmärkte

Aus den in der Synopse betrachteten Studien lassen sich fünf Kernaussagen ableiten, in denen die Dynamik und Trends auf den grünen Zukunftsmärkten prägnant beschrieben werden:

- ▶ Der Blickwinkel auf grüne Zukunftsmärkte hat sich verändert – Themen wie Energieeffizienz, Klimaschutz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz rücken in den Fokus;
- ▶ Schwellenländer etablieren sich als neue Akteure auf den grünen Zukunftsmärkten;
- ▶ Es kristallisieren sich technologische Schwerpunkte bzw. Stärken in einzelnen Ländern und Regionen heraus;
- ▶ Das Wachstum der grünen Zukunftsmärkte hat die Prognosen übertroffen;
- ▶ Einige Technologien bzw. Submärkte wachsen in Zukunft besonders dynamisch.

Messgrößen für eine grüne Transformation

Aufbauend auf den Ergebnissen der Synopse versuchte die Studie, die grünen Zukunftsmärkte in den breiteren Kontext der Entwicklung zu einer „Green Economy“ einzuordnen.

Während alle in der Literaturstudie identifizierten Definitionsansätze den Begriff grüne Zukunftsmärkte als Wirtschaftssektor auffassen, hat der Begriff Green Economy eine grundsätzlich andere Bedeutung. Gemäß der Definition des BMU und des UBA (vgl. BMU 2012f: 58) ist die Green Economy *„ein Konzept, das dem Leitbild einer umweltverträglichen Wirtschaft folgt, Ökologie und Ökonomie positiv miteinander verbindet und dadurch die gesellschaftliche Wohlfahrt steigert. Die Green Economy fördert umweltverträgliches Wachstum, indem die ökologischen Grenzen anerkannt und ökonomische Knappheiten und Kosten antizipiert werden. Auf diese Weise sichert die Green Economy auch die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschlands. [...] Das Konzept der Green Economy ist eingebettet in das übergeordnete Leitbild der nachhaltigen Entwicklung und konkretisiert es zugleich. Dabei steht das Verhältnis zwischen Ökonomie und Ökologie im Mittelpunkt; es werden jedoch auch soziale Auswirkungen adressiert.“*

Die Entwicklung vom Status quo hin zu einer Green Economy wird als grüne Transformation bezeichnet. Wenn die Green Economy als Leitbild akzeptiert wird, an dem sich die wirtschaftliche Entwicklung orientieren soll, stellt sich sowohl auf der makro- als auch auf der mikroökonomischen Ebene die Frage, wie weit die grüne Transformation bereits fortgeschritten ist. Valide Antworten erfordern ein Messsystem, das auf einheitlichen Kriterien und Indikatoren basiert.

Die Auswertung der Studien und der Ansätze in den Unternehmen haben gezeigt, dass bislang kein Messsystem existiert, das für sich allein betrachtet in der Lage ist, durch einheitliche Kriterien und Indikatoren die grüne Transformation sowohl in einzelnen Wirtschaftszweigen als auch auf Ebene der Gesamtwirtschaft zu erfassen. Deshalb präsentiert die vorliegende Studie einen Vorschlag für ein System, das den Anforderungen nach einer gesamthaften Messung der grünen Transformationen gerecht zu werden versucht.

Es sind vor allem fünf Prozesse, die die Transformation in Richtung der Green Economy maßgeblich bestimmen: der technologische Wandel, der ökologische Wandel, der gesellschaftliche Wandel, der wirtschaftliche Wandel und der institutionelle Wandel. In der vorliegenden Studie werden diese fünf Treiber jeweils ausführlich mit einzelnen Messgrößen hinterlegt und zu einem ganzheitlichen Messsystem kombiniert. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht den erarbeiteten Vorschlag für ein ganzheitliches Messsystem für den Grad der grünen Transformation:

Es wurde festgestellt, dass die Herausforderung beim Design eines Messsystems für die Erfassung der grünen Transformation nicht allein in der Identifizierung und Bildung der einzelnen Indikatoren liegt, sondern vor allem in ihrer intelligenten Kombination. Eine wesentliche Schwierigkeit ist dabei die Operationalisierung. Ein wichtiger Aspekt ist auch das Controlling, denn die Bildung eines Messsystems wäre nur eine notwendige, aber noch keine hinreichende Maßnahme: Die Festlegung von Indikatoren allein reicht nicht aus; es bedarf verbindlicher Mechanismen, wie sie gemessen bzw. evaluiert werden.

Vorschlag für ein ganzheitliches Messsystem für den Grad der grünen Transformation

Messgrößen für den Wandel in folgenden Teilbereichen	
 Technologischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Aus- und Weiterbildung > Forschung und Entwicklung > Staatliche FuE-Fördermaßnahmen
 Ökologischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Energie- und Materialproduktivität > Durchdringungsgrad grüner Technologien > Umweltbezogene Lebensqualität
 Gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Reflexion in der Gesellschaft > Gesellschaftliche Akzeptanz
 Wirtschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Gesamtwirtschaftliche Bedeutung grüner Produkte und Dienstleistungen > Wettbewerbsfähigkeit auf den grünen Zukunftsmärkten
 Institutioneller Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Veränderungen aufseiten der Akteure > Entwicklung neuer Instrumente

Quelle: Eigene Darstellung

Wettbewerbsposition Deutschlands

Aufbauend auf der begrifflichen Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte wurde in der vorliegenden Studie die Positionierung Deutschlands auf den grünen Zukunftsmärkten im internationalen Vergleich herausgearbeitet.

Auswahl der Submärkte

Hierzu wurden zunächst Submärkte ausgewählt, die wiederum von einzelnen Schlüsseltechnologien geprägt sind. Gemein sind diesen Technologien, welche Produkte, Verfahren und Dienstleistungen umfassen können, ihr hohes Umweltentlastungspotenzial und ihre bestärkende Wirkung für einen Wandel zu einer Green Economy. Jeder der identifizierten Submärkte trägt entscheidend dazu bei, zwei zentrale Herausforderungen der Green Economy zu meistern: Klimaschutz und Ressourcenschonung.

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurden für die vorliegende Studie sechs Submärkte ausgewählt, für die in der analysierten Literatur ein besonders dynamisches Wachstum erwartet wird:

- ▶ Alternative Antriebstechnologien (Fokus: Elektroantriebe und Brennstoffzellenantrieb);
- ▶ Erneuerbare Energien (Fokus: Windenergie, Photovoltaik und Bioenergie);
- ▶ Speichertechnologien (Fokus: Elektrochemische Technologien inkl. Batterien, Akkumulatoren und Wasserstoffspeicher);
- ▶ Effizienztechniken im industriellen Sektor:
 - ▶ Effiziente Produktionsverfahren (Fokus: energie- und materialintensive Branchen),
 - ▶ Branchenübergreifende Querschnittstechnologien (Fokus: elektrische Antriebe, Druckluft, Pumpen, Wärme- und Kältebereitstellung);
- ▶ Energieeffizienz von Gebäuden (Fokus: Gebäudehülle, Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik sowie Gebäudeautomation);
- ▶ Stoffliche Abfallverwertung (Fokus: "Hightech-Recycling" und Technologien der Abfalltrennung).

Bei der Selektion war vor allem das zu vermutende Umweltentlastungspotenzial der in diesen Submärkten betrachteten Technologien maßgeblich.

SWOT-Analyse und Portfolio-Analyse

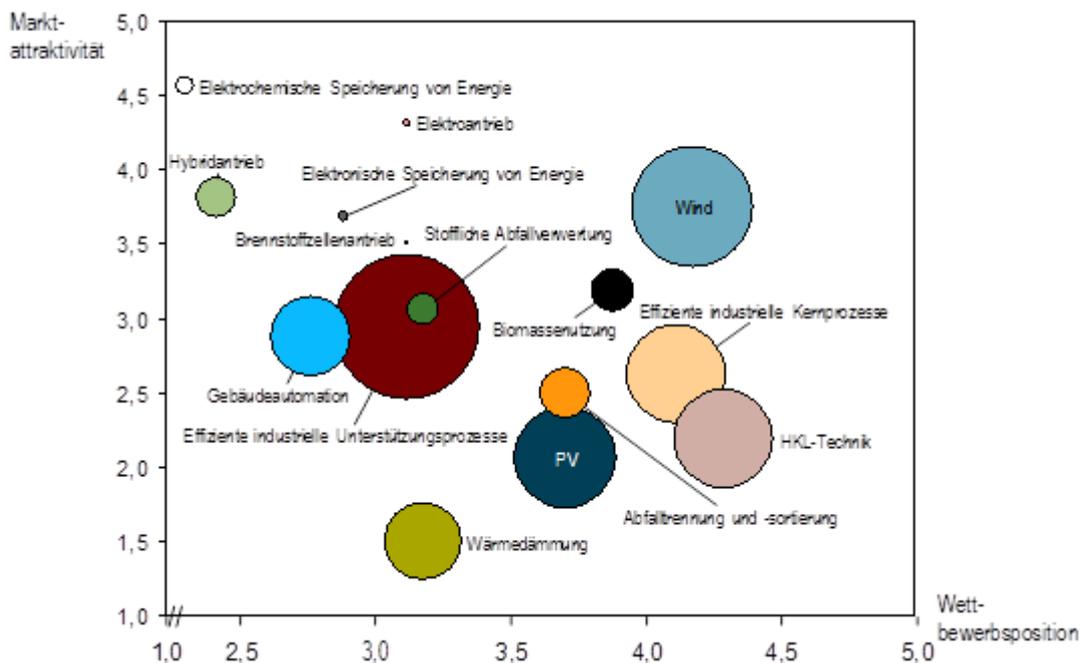
Für jeden Submarkt wurde in der vorliegenden Studie eine SWOT-Analyse erstellt, welche dessen Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken gegenüberstellt (**S**trengths, **W**eaknesses, **O**pportunities, **T**hreats). Der Schwerpunkt der SWOT-Analysen lag jeweils auf den ausgewählten Schlüsseltechnologien. Auf diese Weise entstand ein differenziertes und umfassendes Bild, wie deutsche Anbieter in diesen Technologien im internationalen Wettbewerb positioniert sind.

Die SWOT-Analyse bildete die Grundlage für die folgende Portfolio-Analyse. Der ersteren liegt eine Reihe von Prüfkriterien zugrunde: Marktanteil, Leistungsfähigkeit der Unternehmen, Innovation und Standortfaktoren (etwa rechtliche Rahmenbedingungen, Verfügbarkeit von Fachkräften, Fördermittel). Diese Prüfkriterien repräsentieren zugleich die Inputgrößen für das Kriterium Wettbewerbsposition Deutschlands im internationalen Vergleich in der Portfolio-Analyse. Die Bewertung der Marktattraktivität erfolgte anhand der Inputgrößen globales Marktwachstum, Margenniveau, Wettbewerbsintensität sowie die Anwendungs- und Einsatzbreite einer Technologie über verschiedene Branchen hinweg (Lead-Market-Funktion).

Die Portfolio-Analyse der ausgewählten Submärkte und ihrer Schlüsseltechnologien (siehe nachfolgende Abbildung) lässt sich im Hinblick auf die Stellung der deutschen Unternehmen im internationalen Wettbewerb auf folgende Kernaussagen verdichten:

- ▶ Die Speichertechnologien und die Alternativen Antriebstechnologien sind sogenannte Zukunftsmärkte. Die Herausforderung in diesen Submärkten besteht vor allem darin, die Technologien zeitnah vom Grundlagenstadium und der Entwicklungsphase bis zur Marktreife zu entwickeln. Speichertechnologien und Alternative Antriebstechnologien bieten immense Marktchancen. Deutschlands Wettbewerbsposition ist aussichtsreich, jedoch haben die USA und Japan bei den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in diesen Submärkten im Moment noch einen Vorsprung.
- ▶ Die Technologien des Submarktes Alternative Antriebstechnologien weisen beträchtliche Größenunterschiede auf. Unter den alternativen Antriebstechnologien besitzt der Hybridantrieb derzeit die größte Marktdurchdringung in Deutschland. Der Antrieb von Hybridelektrofahrzeugen kann als Übergangstechnologie bezeichnet werden, weil er einen Zwischenschritt auf dem Weg in eine CO₂-freie bzw. CO₂-arme Fahrzeug-Ära darstellt.
- ▶ Hinsichtlich der Marktattraktivität ergibt sich bei den Erneuerbaren Energien ein differenziertes Bild bei den Technologien Windenergie, Photovoltaik und Bioenergie: Bei der Photovoltaik ist die Wettbewerbsintensität extrem stark; der durch Überkapazitäten induzierte, aggressive Preiskampf bei Solarzellen und Solarmodulen schwächt das Margenniveau; Skalenvorteile werden zu einem kritischen Erfolgsfaktor für die Anbieter.
- ▶ Deutsche Anbieter sind auf dem Submarkt Effizienztechniken im industriellen Sektor exzellent positioniert: Deutschlands Wirtschaft ist traditionell stark geprägt durch das Verarbeitende Gewerbe. Ein hoher Patentanteil bei Effizienztechnologien ist die Folge intensiver Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.
- ▶ In Deutschland hat sich in den vergangenen Jahren ein neuer Leitmarkt für Energie- und Ressourceneffizienz im Immobiliensektor entwickelt; dieser umfasst alle Leistungen zur Effizienzsteigerung von Gebäuden durch energetische Sanierung und hocheffizienten Neubau.
- ▶ Bei der Bewertung der Wettbewerbsposition schneidet Deutschland am besten bei der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik sowie bei den unterstützenden Prozessen im industriellen Sektor ab. Das betrifft vor allem Investitionen in Subsysteme, die für die Effizienzsteigerung in der Produktion verantwortlich sind.
- ▶ Bei der Stofflichen Abfallverwertung verhalf die im internationalen Vergleich frühzeitig einsetzende Umweltgesetzgebung mit strengen Regulierungsvorschriften den deutschen Anbietern zu einem Technologievorsprung, aus dem eine starke Marktposition resultierte. Allerdings hat Deutschland in den letzten Jahren bei Patentanmeldungen an Boden verloren. Verstärkte Aktivitäten bei wichtigen Zukunftstechnologien wie Verfahren zur Rückgewinnung von strategischen Ressourcen wie Edelmetallen und Seltenen Erden sind bisher noch nicht zu erkennen.

Portfolio-Analyse ausgewählter Technologien in den Submärkten*



* Die Größe der Kreise spiegelt die Größe des globalen Marktes der jeweiligen Technologie wider

Quelle: Eigene Darstellung

Grüne Geschäftsmodelle

Abschließend werden in Teilbericht I Beispiele für grüne Geschäftsmodelle, die den Weg zu einer Green Economy befördern, dargestellt und systematisiert. Der Begriff „Geschäftsmodell“ basiert in der vorliegenden Studie auf der Definition des wertbasierten Geschäftsmodells: „Ein Geschäftsmodell beschreibt die Grundlogik, wie eine Organisation Werte schafft. Dabei bestimmt das Geschäftsmodell, (1) was eine Organisation anbietet, das von Wert für Kunden ist, (2) wie Werte in einem Organisationssystem geschaffen werden, (3) wie die geschaffenen Werte dem Kunden kommuniziert und übertragen werden, (4) wie die geschaffenen Werte in Form von Erträgen durch das Unternehmen ‚eingefangen‘ werden, (5) wie die Werte in der Organisation und an Anspruchsgruppen verteilt werden und (6) wie die Grundlogik der Schaffung von Wert weiterentwickelt wird, um die Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells in der Zukunft sicherzustellen.“ (vgl. Bieger et al. 2011: 32)

Für die Identifizierung von innovativen, „grünen“ Geschäftsmodellen, die die Transformation hin zu einer Green Economy beschleunigen können, ist ein gut handhabbares Analysemodell notwendig, das die wichtigsten Elemente der Geschäftstätigkeit eines Unternehmens abbildet. Deshalb wurden aus dieser Definition sechs Dimensionen eines Geschäftsmodells abgeleitet (nach Bieger et al. 2011: 32f.):

- ▶ Leistungskonzept (Produkt-/Marktkombination) – Welche Leistungen in Form von Produkten und/oder Dienstleistungen werden für welche Kundengruppen erbracht?
- ▶ Wertschöpfungskonzept – Wie wird durch eine Kombination von unternehmensexternen und unternehmensinternen Ressourcen für Kunden und andere Anspruchsgruppen Wert geschaffen?
- ▶ Kanäle – Wie erfolgt der Austausch zwischen dem Unternehmen und seinen Kunden und auf welchen Wegen erfolgt die Leistungserbringung?
- ▶ Ertragsmodell – Wie fließt der vom Unternehmen geschaffene Wert für den Kunden an das Unternehmen zurück?
- ▶ Wertverteilung – Wie werden die Erträge im Unternehmen bzw. an Kapitalgeber und andere Anspruchsgruppen verteilt?

- Entwicklungskonzept – Wie kann das Geschäftsmodell eines Unternehmens an sich verändernde Rahmenbedingungen angepasst werden?

Überblick über die vorgestellten Geschäftsmodelle

	Leistungs-konzept	Wert-schöpfungs-konzept	Kanäle	Ertrags-modell	Wert-vertei-lung	Entwick-lungs-konzept
Cofely Deutschland GmbH				✓		✓
flinc AG	✓		✓			
GreenPocket GmbH	✓		✓			
LaTherm Energie AG	✓					
Next Kraftwerke GmbH	✓	✓				
Stadtwerke Karlsruhe		✓				
ubitrlicity Gesellschaft für verteilte Energiesysteme mbH	✓	✓				✓
WestfalenWIND GmbH				✓	✓	
Yunicos AG	✓					
ZIM Plant Technology GmbH	✓					

Quelle: Eigene Darstellung

Die in der vorliegenden Studie vorgestellten Geschäftsmodelle wurden systematisch anhand von zwei festgelegten Merkmalen ausgewählt: dem wesentlichen Beitrag des Geschäftsmodells zu Umweltschutz und/oder Ressourcenschonung sowie dem Innovationscharakter des Geschäftsmodells, das mindestens eine der sechs oben aufgeführten Dimensionen betrifft.

Die obige Tabelle gibt einen Überblick, welche Unternehmen in diesem Kapitel vorgestellt werden und welche Dimensionen des Geschäftsmodells die Innovation betrifft.

Die vorliegende Studie enthält ausführliche Charakterisierungen der vorgestellten Unternehmen und ausgewählten grünen Geschäftsmodelle.

Schlussfolgerungen

Innovationspolitische Schlussfolgerungen

Innovationen sind ein wesentlicher Teilbereich des technologischen Wandels, der immense Auswirkungen auf die anderen Treiber der Green Economy hat. Wie die ausgewählten Beispiele zeigen, sind Innovationen in der Regel die Basis für neue „grüne“ Geschäftsmodelle, die die grüne Transformation auf Ebene der Unternehmen beschleunigen. Vor diesem Hintergrund haben Innovationen im Kontext der grünen Transformation einen herausragenden Stellenwert. Darüber hinaus ist die Schlüsselrolle von Innovationen für die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften und Unternehmen unstrittig. Dementsprechend große Relevanz haben die Instrumente der Innovationspolitik.

Die Ergebnisse der SWOT-Analyse liefern die Basis für einige Aussagen, die Ansatzpunkte für Verbesserungen der Innovationspolitik auf den grünen Zukunftsmärkten aufzeigen sollen:

- **Synergien und Systemkompetenz fördern**

Innovationen lassen sich häufig nur erreichen, wenn Unternehmen und Forschungseinrichtungen unterschiedlicher Wirtschaftszweige kooperieren. Dies kann durch Innovationscluster und eine auf branchenübergreifende Kooperation ausgerichtete Projektförderung unterstützt werden.

- **Die richtigen Märkte richtig fördern**

Die identifizierten Zukunftsmärkte müssen mit jeweils geeigneten Instrumenten gefördert werden. Dabei ist bei der Auswahl von Fördermaßnahmen eine Differenzierung nach dem Reifegrad des jeweiligen Submarktes bzw. seiner Teilmärkte erforderlich.

► **Kleine und mittlere Unternehmen gezielt fördern**

In einigen Submärkten ist eine Vielzahl von KMU engagiert, daher muss die Innovationspolitik auf die Bedürfnisse von KMU eingehen. Für KMU erweist sich die Zusammenarbeit in regionalen Innovationsclustern als hilfreiches Instrument.

► **Unternehmensgründungen fördern**

Neugründungen tragen maßgeblich zur Innovationsleistungsfähigkeit einer Volkswirtschaft bei. Dies macht die Förderung von Startups zu einem wesentlichen Bestandteil der Innovationspolitik. Ein besonders wichtiger Aspekt ist dabei die Unterstützung bei der Überwindung von Finanzierungshemmnissen, beispielsweise durch Businessplan-Wettbewerbe.

Unternehmenspolitische Schlussfolgerungen

Der Wandel zu einer Green Economy, die grüne Transformation, lässt sich nicht nur durch politische Beschlüsse „top down“ umsetzen, sondern benötigt Schubkräfte und Impulse, die „bottom up“ generiert werden. Der privatwirtschaftliche Sektor spielt dabei eine wesentliche Rolle. Aus diesem Grund entwickelt die vorliegende Studie folgende unternehmenspolitische Schlussfolgerungen, die helfen sollen, eine grüne Transformation zu beschleunigen:

► **Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit leisten**

Im Kontext Green Economy muss ein zentrales Anliegen der Kommunikation mit Unternehmen sein, die Chancen der Grünen Transformation deutlich zu machen. Es geht nicht um die Gegenüberstellung „Gewinn oder Nachhaltigkeit“, sondern um die Vermittlung der Formel „Gewinn durch Nachhaltigkeit“. Als hilfreiches Instrument erweist sich dabei der Ansatz der nachhaltigen Unternehmensführung.

► **Qualifizierung für die grüne Transformation**

Die Kompetenzen der Mitarbeiter spielen eine wesentliche Rolle bei der grünen Transformation auf Ebene der Unternehmen. Voraussetzung für die Befähigung der Mitarbeiter ist ein System der Aus- und Weiterbildung, das Kompetenzen und Qualifikationen für die Herausforderungen des Wandels zu einer Green Economy vermittelt. Hier sind zum einen der Staat bzw. die Bundesländer und Kommunen gefordert. Zum anderen sollten Unternehmen und ihre Verbände für die Anforderungen sensibilisiert werden, die die Green Economy an die Qualifizierung von Mitarbeitern stellt.

► **Anreize für die grüne Transformation**

Die Diffusion von Innovationen hängt maßgeblich von der Nachfrage auf dem Markt ab. Bei Produkten und Dienstleistungen der Umweltwirtschaft ist die ordnungspolitische Gestaltung der Rahmenbedingungen eine wichtige Determinante der Nachfrage. Die politischen Institutionen sind gefordert, über Gebote und Verbote („Command and Control“) sowie marktorientierte Instrumente (Subventionen, Steuern, Gebühren) Rahmenbedingungen zu schaffen, die einen grünen Strukturwandel begünstigen.

Umweltwirkungen ausgewählter Teilmärkte und Zukunftstechnologien

In einem zweiten Arbeitsschritt untersucht die vorliegende Studie die Umweltwirkungen der ausgewählten Submärkte und der mit ihnen verknüpften Zukunftstechnologien. Die Kernfrage lautet hier: **Welche Umweltwirkungen sind für verschiedene Teilmärkte und Umwelttechnologien zu erwarten und in welchen Bereichen können Konflikte und Synergien entstehen?**

Bewertungen der Umweltwirkungen

Ausgangspunkt für die Bewertung der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien war eine **Literaturauswertung**. Es wurden für jeden Teilmarkt Studien recherchiert, die einzelne oder mehrere Technologien untersuchen und Erkenntnisse zu ihren Umweltwirkungen liefern. Die Erkenntnisse aus der Literaturauswertung wurden zunächst in den Bericht eingearbeitet und darüber hinaus zur besseren Übersichtlichkeit in einer **Hypothesenmatrix** zusammengefasst. Ergänzt wurde die Literaturstudie durch insgesamt 24 **Technologieexperteninterviews**, deren Ziel es war, eine Bewertung der Effekte der einzelnen untersuchten Technologien auf jedes Umweltgut vorzunehmen. Die Grundlage bildete die Hypothesenmatrix und es wurde den Experten die Möglichkeit gegeben, die Erkenntnisse aus der Literatur zu bestätigen bzw. zu falsifizieren.

Umweltgüter, die in der vorliegenden Studie für eine nähere Betrachtung ausgewählt wurden, sind allgemein gehalten: Klima, Energie, Luft, Wasser, Boden, Artenvielfalt und Landschaft, Gesundheit, Rohstoffe (abiotisch), natürliche Ressourcen (biotisch). Die Bewertungen der Wirkungen grüner Zukunftstechnologien auf diese Umweltgüter erfolgte zweidimensional: Zum einen wurde die Richtung bestimmt, positiv oder negativ, und zum anderen die Stärke (leicht/stark) des Effektes. Die Bewertung erfolgte hierbei relativ zu einer Referenztechnologie, d.h. der aktuell eingesetzten Technologie, welche für jeden Teilmarkt von den Experten festgelegt wurde. Zu den befragten Institutionen gehörten unter anderem Fraunhofer ISI, ISE, IBP, MVV Energie AG, Daimler AG, UFZ, ISFH, Öko-Institut, ZSW, BWE, Wuppertal Institut und das FZ Jülich.

Auf Basis der Experteninterviews wurde für jeden Submarkt eine zusammenfassende Bewertungsmatrix erstellt. Herauszustellen ist, dass in dieser Gesamtbewertung auch negative Umweltwirkungen berücksichtigt werden, die, da sie zumeist am Anfang der Produktionskette und dazu fast ausschließlich in den häufig wenig entwickelten Abbauländern entstehen, bisher wenig dokumentiert sind.

Szenarioanalyse

Anschließend an die Gesamtbewertungen der Umweltwirkungen auf Basis der Literaturstudie und der Experteninterviews und in Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden für die Submärkte Alternative Antriebstechnologien und stoffliche Abfallverwertung zusätzlich Szenarioanalysen durchgeführt.

Alternative Antriebstechnologien

Für den Bereich Elektromobilität wurden verschiedene Szenarien betrachtet, die die Schlussfolgerung zulassen, dass Elektromobilität bis 2030 einen begrenzten Beitrag zur THG-Minderung leisten kann, wenn der zusätzlich benötigte Strom aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird. Auch andere Umweltentlastungseffekte werden erst nach 2020 deutlich. Klimaschutzwirkungen sind kurzfristig kaum und längerfristig nur in begrenztem Umfang zu erwarten. Kurzfristig sind die Durchdringungsraten des Pkw-Marktes mit EV zu gering. Längerfristig stellt sich die Frage, ob die Integration der Elektromobilität in ein Energiekonzept gelingt, das auf EE beruht, und so der zusätzlich benötigte Strom durch EE bereitgestellt wird.

Herauszustellen ist, dass diverse Unsicherheitsfaktoren in der Szenarioanalyse festgestellt wurden. So ist unsicher, ob verstärkte Forschung im Bereich Elektromobilität zu sinkender Forschung bei konventionellen Antrieben und somit zu Effizienzverlusten führt. Außerdem lässt sich nicht vorhersehen, inwiefern es Änderungen im Fahrverhalten durch Elektromobilität geben wird. Aufgrund dieser Unsicherheiten stellt sich die Frage, inwiefern eine richtungssichere Aussage zu den Klimaschutzeffekten der Elektromobilität möglich ist.

Stoffliche Abfallverwertung

Der Teilmarkt „stoffliche Abfallverwertung“ ist ein Handlungsfeld mit großem Potenzial hinsichtlich der Senkung des Rohstoffverbrauchs und damit diverser Umweltbelastungen. Beispielfähig wurde in der vorliegenden Studie eine Szenarioanalyse für Stahlerzeugung durchgeführt. Mithilfe von GRAM, dem Global Resource Accounting Model, wurde das fiktive Szenario „keine Abfallverwertung“ mit der tatsächlichen Entwicklung (Wiederverwertung von Stahlschrott) hinsichtlich der Einsparung von Primärrohstoffen und weltweiten Emissionen verglichen. GRAM ist ein multi-regionales Input-Output (MRIO) Modell, welches 53 Länder und zwei Regionen (OPEC und den Rest der Welt) sowie 48 Wirtschaftszweige (analog zu der Klassifizierung in den OECD Input-Output Tabellen) pro Land bzw. Region abdeckt. GRAM ermöglicht die statische Berechnung von konsumbasierten Emissionen bzw. Materialrucksäcken.

Die Szenarioanalyse legt nahe, dass der Schrotteinsatz bei der Gewinnung von Stahl die Eisenerzimporte um rund 20 Prozent reduziert, was für den globalen Handel einen Rückgang von 1,2 Prozent bedeutet. Gleichzeitig kann die strombasierte Verarbeitungsweise bei der Abfallverwertung von Stahlprodukten knapp 30 Prozent Energie im Vergleich zu konventioneller Primärstahlerzeugung einsparen. Hervorzuheben ist, dass die Betrachtung globaler Effekte in diesem Zusammenhang aufgrund internationaler Produktionsketten nicht nur möglich, sondern auch nötig ist. Im Allgemeinen führt die stoffliche Abfallverwertung von Stahlprodukten zu einem geringen, aber erkennbaren Effekt bei der Einsparung von Eisenerzextraktion und insgesamt zu einer Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen.

Empfehlungen für ausgewählte grüne Technologien

Unmittelbar mit Blick auf die einzelnen grünen Zukunftstechnologien lassen sich aus den Untersuchungen im zweiten Abschnitt verschiedene umweltpolitische Schlussfolgerungen ableiten:

Alternative Antriebstechnologien

Batterie-elektrische Fahrzeuge (BEV) sind zurzeit weder aus ökologischer noch ökonomischer Sicht sinnvoll, da die Herstellung kosten- und energieintensiver ist als bei konventionellen Fahrzeugen. Eine energetische Amortisation erfolgt selbst bei Antrieb durch EE-Strom erst nach 12.000 km Fahrleistung. Da BEV nur auf Kurzstrecken eingesetzt werden, ist die energetische Amortisationszeit nicht zu unterschätzen. Eine weitere Förderung der Elektromobilität in Form der Elektroautos ist zum jetzigen Zeitpunkt also wenig sinnvoll.

Aktuell führt die verhaltene Nachfrage nach Elektroautos zu einer Renaissance der Brennstoffzellenfahrzeuge (BSZF). Zwar führt die Nutzung fossil erzeugten Stroms zur Herstellung des Wasserstoffs auch zu einer schlechteren CO₂-Bilanz im Vergleich zu Strom aus EE. Die Förderung von BSZF erscheint aber trotzdem sinnvoll. Wasserstoff kann langfristig gespeichert und einfach transportiert werden. Zudem bestehen Einspeisemöglichkeiten in das bestehende Erdgasnetz. Auch die Reichweitenproblematik, die bei Elektroautos besteht, wird bei BSZF deutlich abgeschwächt. Die Fahrzeuge können längere Strecken zurücklegen und schneller wieder aufgetankt werden als Elektroautos. Ein fehlendes

Tankstellennetz und höhere Produktionskosten führen dazu, dass BSZF bisher ein Nischendasein führen. Seitens der Politik wären Fördermaßnahmen für die Erforschung und letztlich Zuschüsse für den Kauf denkbar.

Das Umweltentlastungspotenzial von Elektrofahrzeugen hängt in erster Linie von der Stromerzeugung ab. Daher ist es unbedingt notwendig, den zusätzlich benötigten Strom aus THG-emissionsfreien EE herzustellen und diesem Schritt auch Priorität einzuräumen.

Ein besonderer Blick ist noch erforderlich auf die zusätzlich bei dem Abbau der Rohstoffe für die Herstellung der Batterien/Akkus auftretenden Umweltverschmutzungen und gesundheitsgefährdenden Effekte in den Rohstoff-Abbaugebieten. Gleiches gilt bei Brennstoffzellenfahrzeugen für die negativen Effekte, die durch die Nutzung von Platingruppenmetallen bei der Herstellung der Zellen entstehen. Da nur wenige Informationen bzgl. etwaiger Umweltwirkungen in der Vorleistungskette zur Verfügung stehen, sollte unbedingt Forschung in diesem Bereich gefördert werden.

Erneuerbare Energien

Primär sollten die Technologien Windkraft und PV gefördert werden, da diese das größte Umweltentlastungspotenzial bieten, auch wenn etwa indirekte negative Effekte auf Boden/ Wasser, Landschaft und Gesundheit in den Abbaugebieten der Rohstoffe zu konstatieren sind, die für die Herstellung der Komponenten gebraucht werden.

Das Umweltentlastungspotenzial von Biomasse ist im Vergleich zu PV und Windenergie eher gering. Wenn nicht sorgsam alle möglichen Umweltwirkungen beachtet werden, überwiegen sogar die negativen Umweltwirkungen. Im Bereich der Biomasse sollte versucht werden, die Nutzung von Biomasse der zweiten Generation (mit Ausnahme der Energiepflanzen) zu fördern. Zur zweiten Generation zählen Holz, Stroh, Industrialt- und Abfallholz, sowie Reststoffe. Die Nutzung von Biomasse der ersten Generation (Pflanzenöl, Ethanol, Biogas) führt zu stärkeren Zielkonflikten mit dem Umweltschutz.

Die Förderung von PV- und Windkraft-Anlagen, wie sie in Deutschland betrieben wird, ist sinnvoll. Es sollte kontrolliert werden, wann die vollständige Marktreife erreicht und eine Förderung nicht mehr nötig ist.

Zu beachten ist auch, dass für eine vollständige Nutzung der EE der Netzausbau forciert werden muss.

Speichertechnologien

Zukünftig wird Speichern voraussichtlich eine tragende Rolle für die Energiewende zukommen. Für private Haushalte wird es immer interessanter werden, ihren alternativ erzeugten Strom selbst zu nutzen. Speicher werden hier, aber auch andernorts zum Lastenausgleich benötigt, das heißt beispielsweise, dass der in der (sonnigen) Mittagszeit erzeugte, jedoch nicht verbrauchte Strom (dezentral) abgespeichert und abends verwendet werden kann. Damit sich solche Speichersysteme weiter verbreiten, sollten private Haushalte bei einer solchen Anschaffung finanziell unterstützt werden.

Verschiedene Experten sehen großes Zukunftspotenzial (ökonomisch und ökologisch) im Lithium-Luft-Speicher. Die Technologie ist allerdings noch nicht weit entwickelt, sodass eine gezielte Förderung hilfreich wäre.

Effizienztechniken in der Industrie

Unter den energiepolitischen Zielen sind es insbesondere diejenigen im Bereich der Energieeffizienz, bei denen die Gefahr am größten ist, dass sie nicht erreicht werden. In der Industrie sind in der Vergangenheit zwar erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um den spezifischen Energieverbrauch zu senken, aber in allen untersuchten Technologiebereichen (Effizienztechniken im Bereich der Eisen- und Nicht-Eisen-Metallerzeugung, Querschnittstechnologien zur Kältetechnik und zur Wärmeerzeugung) existieren noch erhebliche Einsparpotenziale. Bedeutende negative Umweltwirkungen werden sich bei der Ausschöpfung dieser Potenziale nicht ergeben, umgekehrt können aber zumeist deutliche Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen und beim Energieverbrauch realisiert werden.

Derzeit scheitert die Einlösung dieser Potenziale weniger daran, dass die technischen Lösungen nicht ausgereift wären, sondern an der Unkenntnis und der Skepsis der Unternehmen. Die Umweltpolitik kann hier vorwiegend eingreifen, indem sie versucht, die Glaubwürdigkeit der Effizienztechnologien zu erhöhen, ihren Bekanntheitsgrad zu steigern und Best-Practice zu verbreitern. Allerdings ist auch festzuhalten, dass es letztlich die Energiekosten sind, die als Hauptantriebsfaktor für den Einsatz von Effizienztechnologien wirken. Die politisch kaum durchsetzbare Erhöhung der Ener-

giekosten bis zu einem Punkt, dass die externalisierten Kosten des Energieverbrauchs in den Energiepreisen eingeschlossen sind, bzw. die ebenfalls aktuell kaum durchsetzbare Abschaffung der verschiedenen Formen der Subventionierung wären die wichtigsten Triebfedern, um deutliche Fortschritte zu machen.

Energieeffizienz in Gebäuden

Für den Gebäudesektor gilt ebenso wie für andere Zukunftstechnologien, dass die Herstellung der Produkte auch nachteilige Auswirkungen für die Umwelt mit sich bringt. Sowohl der Abbau der benötigten Rohstoffe und Ressourcen wie auch der Einsatz von Chemikalien im Produktionsprozess müssen strengen Umweltstandards und Kontrollen unterworfen werden. Da die Rohstoffgewinnung und teils auch mit potenziellen Umweltrisiken verbundene Phasen des Herstellungsprozesses im Ausland stattfinden, bedarf es hier auch umweltpolitischer Anstrengungen, die grenzübergreifend ausgerichtet sind.

Des Weiteren besteht ein signifikantes Umweltentlastungspotenzial in der Wahl der zu fördernden Dämmstoffe. Verschiedene Dämmstoffe weisen bei ihrer Produktion erhebliche Unterschiede im kumulierten Energieaufwand und im CO₂-Ausstoß auf. Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzfelder der verschiedenen Dämmstoffe ist ein Einsatz weniger energie- und CO₂-intensiv produzierter Stoffe zwar nicht in allen Fällen möglich, aber für die Außendämmung steht durchaus eine Auswahl an Dämmstoffen mit sehr unterschiedlicher Umweltbilanz zur Verfügung. Folglich wäre zu prüfen, ob die unterschiedlichen Umweltwirkungen aus der Produktion bei der Auswahl der förderfähigen Dämmstoffe berücksichtigt werden können, sodass künftig nur die Verwendung des umweltfreundlichsten Materials finanziell unterstützt wird.

Auch bei der Wärmetechnik gibt es durchaus umweltpolitischen Handlungsspielraum. Für Wärmepumpen ist eine Fördervoraussetzung das Erreichen eines bestimmten Levels an Effizienz. Für Luftwärmepumpen gilt beispielsweise als Anforderung an die Energieeffizienz, dass sie eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 aufzeigen müssen, um vom BAFA im Rahmen des Marktanzreizprogramms gefördert zu werden. Der für die Berechnung der Jahresarbeitszahl benötigte COP-Wert ist mit einem Prüfbericht eines unabhängigen Prüfinstituts nachzuweisen. Für die Frage der Treibhausgasemissionen ist jedoch neben der Jahresarbeitszahl vor allem die Herkunft des Stroms entscheidend. In Kombination mit Strom aus Erneuerbaren Energien sind die Treibhausgasemissionen von Wärmepumpen viel geringer als beim Einsatz von Strom aus konventionellen Quellen. Damit ergibt sich die Frage, ob die Förderung der Wärmepumpen nicht mit dem Einsatz von Strom aus Erneuerbaren Energiequellen verknüpft sein sollte.

Zu prüfen wäre auch, ob die derzeitige Staffelung der Fördervoraussetzungen zwischen unterschiedlichen Wärmepumpentypen den unterschiedlichen Effizienzgrad zu verschiedenen Jahreszeiten ausreichend widerspiegelt.

Stoffliche Abfallverwertung

Die stoffliche Abfallverwertung ist aus Umweltsicht sehr positiv zu beurteilen. Durch das Recycling von Metallen und Kunststoffen wird nicht unerheblich Energie eingespart. Gleichzeitig fallen die Emissionen weg, die mit der Primärerzeugung der jeweiligen Materialien verbunden sind, während die Emissionen der jeweiligen Verwertungstechnologien deutlich niedriger sind. Die Verringerung der Umweltbelastung kommt nicht zuletzt dem Ausland (den Rohstoff-Abbauländern) zugute. Bei der Betrachtung der spezifischen Umweltwirkungen wäre eine stärkere Ausdifferenzierung je nach Technologieart allerdings sinnvoll. Die Datengrundlage dazu ist jedoch nicht ausreichend. Hier ist also weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Die Recyclingtechnologien sind in Deutschland schon sehr weit fortgeschritten und sie finden eine recht weite Verbreitung, nicht zuletzt aufgrund schon langjähriger intensiver staatlicher Regelungen. Bei NE-Metallen liegt die Rückgewinnungsquote bei etwa 50%. Hier ist ggf. weiterer Forschungsbedarf notwendig, um die Quote zu steigern. Auch in anderen Bereichen sollte der Innovationsvorsprung gehalten werden, da der Markt aufgrund der künftig zu erwartenden Rohstoffknappheiten sicher nicht zuletzt international erhebliche Potenziale aufweist. Aus Umweltsicht kann über den Export von Technologien zur stofflichen Abfallverwertung ein wichtiger Beitrag zur Lösung von Umweltproblemen gerade auch in anderen Ländern geleistet werden. Dieser Bereich sollte also entsprechend umweltpolitisch begleitet werden.

Handlungsstrategien für die Förderung grüner Zukunftsmärkte

Ziel von Teil 3 der vorliegenden Studie ist es, aus einer übergeordneten Perspektive die umweltpolitischen Schlussfolgerungen der vorangegangenen Berichtsabschnitte zu diskutieren und zu betrachten, welche positiven sowie negativen Effekte mit der Expansion der grünen Zukunftstechnologien einhergehen und wo steuernd eingegriffen werden sollte. Es werden Handlungsempfehlungen auf strategischer Ebene für die Umweltpolitik abgeleitet. Hierzu werden Vorschläge zur **Verbesserung des umweltpolitischen Instrumentariums** erarbeitet. Gleichzeitig werden **umweltschutzbezogene Zielkonflikte aufgedeckt**.

Vergleichende Betrachtung der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien

Zunächst wurden die Resultate zur Bewertung der Umweltwirkung ausgewählter grüner Zukunftstechnologien verglichen und zusammengefasst. Für die Umweltwirkungen im Inland ergeben sich unter anderem folgende Kernaussagen:

- ▶ Bis auf vier Ausnahmen entfalten alle 22 untersuchten grünen Zukunftstechnologien in mindestens einem Bereich deutlich positive Auswirkungen.
- ▶ Keine der betrachteten Umwelttechnologien zeigt sehr deutliche Verschlechterungen gegenüber der Referenztechnologie.
- ▶ In 32 Fällen verschlechtert sich aber in einem Umweltbereich die Situation.
- ▶ Beste Ergebnisse bei Technologielinien: Stoffliche Abfallverwertung von Nicht-Eisen-Metallen, verschiedene Batterietypen sowie Photovoltaik
- ▶ Schlechteste Ergebnisse bei Technologielinien: Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, die Biomasse-Technologien sowie Technologien zur Dämmung der Gebäudehülle
- ▶ Beste Ergebnisse Zukunftsmärkte: Speichertechnologien und stoffliche Abfallverwertung
- ▶ Schlechteste Ergebnisse Zukunftsmärkte: Energieeffizienz in der Industrie sowie in Gebäuden
- ▶ Die Bereiche Klima und Energie profitieren am meisten von den grünen Zukunftstechnologien.
- ▶ Deutliche Fortschritte durch Zukunftstechnologien auch für die Bereiche Schadstoffe, Lärm und Luft.
- ▶ Für Gewässer, Grundwasser und Boden zeigen sich sogar negative Werte.

Für die Rückwirkungen auf die Rohstoff-Abbauländer kann zusammengefasst werden:

- ▶ Die Auswirkungen in den Abbauländern sind niedrig. Es erfolgte in keinem einzigen Fall die Einstufung „deutliche Auswirkung“.
- ▶ Überwiegend führen die Umwelttechnologien zu negativen Rückwirkungen auf die Abbaugebiete. Von den betrachteten 22 Umwelttechnologien gilt dies immerhin für 13 Technologiezweige.
- ▶ Nur ein Bereich grüner Zukunftstechnologien, die stoffliche Abfallverwertung, weist positive Rückwirkungen im Ausland auf. Dies gilt in diesem Bereich für alle betrachteten Umwelttechnologien.
- ▶ Am schlechtesten schneiden Speichertechnologien sowie alle Erneuerbaren-Energien-Technologien ab.
- ▶ Mit Blick auf die betroffenen Umweltgüter heben sich vor allem Luft, Artenvielfalt und Landschaft sowie Gesundheit (Lärm und Schadstoffe) ab: Hier sind die negativen Umweltwirkungen am stärksten.

Umweltpolitische Probleme und Potenziale

Über die konkreten Beobachtungen hinaus ließen sich eine Reihe aus umweltpolitischer Sicht positiver wie negativer Schlüsse ziehen, auf denen der umweltpolitische Umgang mit der Expansion grüner Zukunftsmärkte aufbauen muss.

Positiv ist festzustellen, dass die meisten Umwelttechnologien nicht nur einfache positive Umweltwirkungen haben, sondern oftmals multiple positive Wirkungen entfalten. Hinzu kommt, dass sich die positiven Umweltwirkungen von Zukunftstechnologien oftmals überlagern und es somit durch Synergieeffekte zu deutlichen Verbesserungen der Umweltsituation kommen kann. Dieser Effekt lässt sich insbesondere für die Umweltbereiche Klima und Energie feststellen. Die umweltförderlichen Wirkungen vieler Zukunftstechnologien über ein breites Feld hinweg untermauern grundsätzlich auch das positive Bild dieser Technologien. Vielfach leisten sie das, was von ihnen erwartet wird: einen substantiellen Beitrag auf dem Weg hin zu einer Green Economy. Aus methodischer Sicht ist außerdem positiv hervorzuheben, dass grobe Abschätzungen der Umweltwirkungen einzelner Technologielinien mit begrenztem Aufwand grundsätzlich möglich sind.

Gleichzeitig ergeben sich auch diverse **Probleme**. So ist festzuhalten, dass einige Zukunftstechnologien insgesamt negative durchschnittliche Umweltwirkungen mitsichbringen. Zählt man die negativen Auswirkungen in den Abbauländern hinzu, vergrößert sich die Zahl der Technologien, die nur bedingt den Erwartungen an eine Green Technology entsprechen. Genau genommen weisen sogar recht viele Green Technologies auch kleine „braune“ Flecken auf. Dies sollte bei ihrer Darstellung, ihrer grundsätzlichen Bewertung und dem (politischen) Umgang berücksichtigt werden. Während die untersuchten Umwelttechnologien sich meist positiv auf Klima und Energie auswirken, haben viele gleichzeitig auch negative Effekte für Gewässer und Boden.

Umweltpolitische Schlussfolgerungen

Obwohl die an dieser Stelle identifizierten Ergebnisse der Bewertung der Umweltwirkungen grüner Technologien divers sind, ergeben sich ähnliche umweltpolitische Implikationen und erforderliche Lösungsansätze. Die vorrangigen umweltpolitischen Ansatzpunkte, die die vorliegende Studie identifiziert, werden im Folgenden kurz dargestellt:

Die strategische Dimension

Die Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien werden bislang kaum diskutiert und, falls doch, recht einseitig reflektiert. Zumeist wird eher unbesehen davon ausgegangen, dass sich diese Technologien positiv auf die Umwelt wirken. Zurzeit fehlt es der deutschen Umweltpolitik an Daten, Know-how und nötigen Instrumenten, um die Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien kritisch zu reflektieren. Noch schlechter sieht es aus, wenn es darum geht, die Schlussfolgerungen der kritischen Reflektion um- und durchzusetzen. Denn das bestehende umweltpolitische Instrumentarium ist darauf noch nicht ausgelegt.

Bevor einzelne umweltpolitische Maßnahmen ergriffen werden, ist es wichtig, die notwendigen Grundvoraussetzungen zu schaffen. Vorrangiger Handlungsbedarf besteht also gerade auch auf strategischer Ebene. Das bedeutet zunächst, dass die deutsche Umweltpolitik stärker als bisher auch eine kritische Rolle gegenüber grünen Zukunftstechnologien einnehmen muss. Sie muss hier stärker differenzieren und den Willen haben, die Entwicklung zu beeinflussen. Letztlich ist umweltpolitisch zu gewährleisten, dass auf breiter Front ein dauerhaftes Steuerungspotenzial besteht und dieses nicht durch einseitige Festlegungen auf bestimmte Technologielinien beschnitten wird.

Zu einem umfassenden Steuerungsansatz gehören die im Folgenden dargestellten Elemente.

Monitoring und Foresight mit Blick auf die Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien

Die vorliegende Studie zeigt, dass besonders im Bereich Foresight (einschließlich Monitoring) verstärkte Anstrengungen notwendig sind. Grüne Zukunftstechnologien können dazu führen, dass sich negative Umweltwirkungen medial oder räumlich verlagern und gegebenenfalls überlagern. Dadurch kann aus der Summe kleiner Umweltprobleme eine substantielle Herausforderung erwachsen. Zudem ist es sinnvoll, jeweils bereits vorab zu prüfen, welche langfristigen Implikationen bestimmte Entscheidungen haben. Es ist daher wichtig, die verschiedenen umweltpolitischen Maßnahmen, die zur Steuerung nötig sind, richtig zu setzen. Dazu bedarf es verbesserter Informationen, die zumindest partiell einen Blick in die Zukunft zulassen.

Dass grobe Abschätzungen möglich sind und der Aufwand dafür begrenzt ist, verdeutlicht die vorliegende Studie. In vielen Fällen sind die zu erwartenden Folgen bereits jetzt mit hinreichender Genauigkeit erkennbar. Schon derzeit gibt es diverse Bemühungen in der deutschen Umweltpolitik, die Fähigkeiten zu Foresight zu stärken, doch genügen die Anstrengungen noch nicht und sind kaum systematisch.

Ein systematisches und verstetigtes Foresight bei den grünen Zukunftstechnologien, etwa verknüpft mit den inzwischen regelmäßig stattfindenden Erhebungen der Märkte (Umwelttechnologie-Atlas), würde es künftig u. a. erlauben, durch grüne Zukunftstechnologien verursachte Umweltprobleme frühzeitig zu erkennen und das umweltpolitische Instrumentarium schon jetzt auf künftige Herausforderungen hin auszulagern.

Förderpolitische Implikationen

Die bisherige Förderpraxis im Bereich grüner Zukunftstechnologien berücksichtigt kaum Charakter und Ausmaß der Umweltwirkungen, die durch die einzelnen Technologien entstehen. Für die Zukunft sollte es klares umweltpolitisches Ziel sein, die mit den grünen Zukunftstechnologien verknüpften Umweltwirkungen stärker in die diversen Förderpoliti-

ken einfließen zu lassen. Auf der Basis einer genauen Würdigung der verschiedenen Förderprogramme sollten dazu Diskussionen mit den relevanten öffentlichen Fördermittelgebern geführt werden. Sowohl der Beitrag der einzelnen grünen Technologien zur Lösung der verschiedenen Umweltprobleme als auch die ggf. dadurch verursachten negativen Umwelteffekte sollten in die Gestaltung der Förderprogramme einfließen. Dies gilt für die Ausrichtung und Grundkonzeption, die konkrete Fördermittelvergabe, das laufende Monitoring und die Evaluation des jeweiligen Programms.

In Zukunft sollte gewährleistet sein, dass die Umwelteffekte, die die Förderprogramme bewirken, soweit wie möglich erfasst und evaluiert werden. Nur so ist es möglich, in der Folgezeit steuernd in die Konzeption der Förderprogramme einzugreifen und diese entsprechend den umweltpolitischen Zielen zu optimieren.

Zu bedenken ist schließlich, ob eine Sammlung von Best Practices von Förderprogrammen erstellt werden sollte. Auf diese Weise ließe sich ein Lernprozess der öffentlichen Fördermittelgeber initiieren.

Schlussfolgerungen mit Blick auf das Leitbild einer Green Economy

Grundsätzlich bestärken die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Studie das Leitbild „Green Economy“. Grüne Zukunftstechnologien sind durchaus geeignet, einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der aktuellen und künftigen umweltpolitischen Herausforderungen zu leisten. Dies ist wichtig für die Glaubwürdigkeit des Leitbildes innerhalb Deutschlands, aber auch für die internationale Diskussion.

Gleichzeitig weisen die Studienergebnisse darauf hin, dass nicht alle Umweltprobleme in gleicher Weise von den umwelttechnologischen Fortschritten adressiert werden. Es ist wichtig, auch jene umweltpolitischen Bereiche wieder verstärkt in den Fokus zu nehmen, die sich rein marktwirtschaftlichen und technologischen Lösungen verschließen. Wichtig wird sein, den Gedanken des Umweltschutzes allgemein, der in der Diskussion um eine Green Economy mitunter etwas zurücktritt, wieder zu stärken.

Damit das Leitbild einer Green Economy auch international weiter an Bedeutung gewinnt, wird es drauf ankommen, die in der Studie skizzierten negativen Wirkungen grüner Zukunftstechnologien, insbesondere in den Rohstoffabbaugebieten, offenzulegen und somit die Glaubwürdigkeit des Leitbildes zu stärken. Gemeinsam mit den betroffenen Ländern müssen umwelt- und entwicklungspolitische Lösungen gesucht werden.

Bedeutsam für das Leitbild ist auch, dass die vorliegende Studie die Grenzen der Wirkfähigkeit grüner Zukunftstechnologien aufzeigt. Die Green Economy endet dort, wo sie nur als Umsetzung von „green growth“ verstanden wird. Um die bevorstehenden umweltpolitischen Herausforderungen zu bewältigen, muss das Leitbild vielmehr auch Elemente beinhalten, die eine absolute Reduktion von Rohstoff- und Energieverbräuchen sowie absolute Minderungen bei Schadstoffeinträgen garantieren.

Grenzen der Kommunikation zu Green Technologies

Das Bild der grünen Zukunftstechnologien sollte angesichts der Erkenntnisse der Studie überdacht und gegebenenfalls künftig anders kommuniziert werden. Fast alle betrachteten grünen Zukunftstechnologien weisen – zwar keine bedeutenden, aber eben vorhandene – negative Umweltwirkungen in einem oder mehreren Bereichen auf. „Grün“ im Sinne von wirklich umweltverträglich sind nur die wenigsten Technologien. Präzise genommen wird man bei den meisten grünen Zukunftstechnologien nur vergleichend von „grüner“ sprechen können. Dies ist natürlich weniger attraktiv, um für eine breite öffentliche Unterstützung zu werben. Doch es spiegelt die Sachlage deutlich besser wider. Eine deutlichere Bewertung der Umweltwirkungen der verschiedenen grünen Zukunftstechnologien und eine transparentere Kommunikation können sicher dazu beitragen, Diskussionen über die negativen Umweltwirkungen einzelner Zukunftstechnologien zu objektivieren, sie schon im Vorfeld in sachgerechte Bahnen zu lenken und insgesamt in der Gesellschaft eine tragfähige Grundlage für den Ausbau grüner Zukunftstechnologien zu schaffen.

Das weitere umweltpolitische Instrumentarium

Jenseits der bisher behandelten Ansätze, sollten weitere Instrumente genutzt werden, um das Potenzial grüner Zukunftstechnologien, Umweltprobleme zu lösen, noch besser auszuschöpfen.

Einerseits müssen Probleme, die aus dem Einsatz grüner Zukunftstechnologien in Rohstoffabbauländern erwachsen, künftig noch stärker als bisher im Fokus stehen. Erforderlich ist eine genaue Analyse, welche Abbauländer im Einzelnen betroffen sind und wie die zu erwartenden Effekte konkret ausfallen werden. Daneben gilt es, ein Instrumentarium zu entwickeln, das diese Umweltprobleme reduzieren kann. Hierbei kann auf die Bemühungen im Bereich der Ressourcengovernance zurückgegriffen werden. Ein breites Spektrum von Maßnahmen, Programmen und Initiativen zielt primär auf die Verbesserung von Umwelt- und Sozialstandards bei der Gewinnung von Rohstoffen, beispielsweise Corporate Social Responsibility Standards, Zertifizierungssysteme oder nachhaltiges Lieferketten-Management. Gemeinsam mit den Abbauländern und unter Einbeziehung der Europäischen Union sollten die sich abzeichnenden Probleme identifiziert, Lösungsansätze entwickelt und die sich ergebenden Maßnahmen umgesetzt werden.

Wie die vorliegende Studie weiterhin verdeutlicht, kann die stoffliche Abfallverwertung einen wichtigen Beitrag leisten, um Umweltprobleme, die im In- oder Ausland auftreten, zu lösen. Ein möglicher Ansatz wäre daher die Weiterentwicklung von Recyclingsystemen und der entsprechenden Umweltgesetzgebung.

Eine weitere Möglichkeit, die negativen Umweltwirkungen von Zukunftstechnologien zu verringern, ist die Stärkung der bisherigen Bemühungen zu environmental technology verification. Im Rahmen des 2004 von der Europäischen Union initiierten Environmental Technology Action Plans (ETAP) soll ein europäisches Netzwerk entstehen, das sich mit der Prüfung, Standardisierung und Garantie der Leistungsfähigkeit dieser Technologien (Environmental Technology Verification - ETV) befasst.

Die Studienergebnisse weisen schließlich darauf hin, dass Schritte, die dazu dienen, Umweltinnovationen und grüne Zukunftsmärkte zu fördern, durch Maßnahmen begleitet werden müssen, die eine nachhaltige Nutzung anstreben, beispielsweise Bewusstseins-schaffung durch Aufklärung und Schulungen. Gleichwohl wird man auch künftig auf umweltpolitische Steuerung durch den Einsatz von Steuern setzen müssen.

Ausblick

Die vorliegende Studie hat das Ziel, einen ersten Einblick in den Themenkomplex der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien zu liefern. Sie erlaubt eine Anzahl von Schlussfolgerungen für die weitere Gestaltung der Umweltpolitik. Zugleich zeigt sich jedoch, dass an vielen Stellen weiterer Forschungsbedarf besteht. Einzelne wichtige Aspekte seien hier abschließend kurz benannt:

- ▶ Eine systematischere Erfassung der umweltpolitischen Bilanz des Klimaschutzes;
- ▶ Stärkere Erforschung der mit den Zukunftstechnologien auftretenden Umweltprobleme im Ausland;
- ▶ Untersuchung der in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigten Zukunftsmärkte bezüglich ihrer Umwelteffekte;
- ▶ Einschätzungen zu den Umweltwirkungen einzelner Umweltdienstleistungen;
- ▶ Prüfung des potenziellen Beitrags der Umwelttechnologien zur umweltpolitischen Zielerreichung;
- ▶ Bessere Steuerung der Fördermittelvergabe und Identifizierung von Best Practice-Beispielen.

Summary

Aim and methodical approach of the study

adelpi, Roland Berger Strategy Consultants and the Institute of Economic Structures Research (GWS) have conducted this study, commissioned by the Federal Environment Agency, to investigate diverse facets of the green key growth markets in Germany. The study intends to examine the development of green key growth markets and their importance for the economy and for environmental protection, as well as to develop proposals and action strategies at both company and national policy level.

On the whole, green key growth markets present a relatively new topic area and thus are conceptually awkward to define. At the same time, a ‚green transformation‘ of economy and society is being intensely discussed under the term ‚green economy‘. However, an appropriate analysis framework to propose sensible action strategies is often lacking. This study therefore serves as a scientific contribution towards investigating green transformation and evaluating the progress towards it.

The basic character of the study is that of a ‚scoping study‘. That means, it delivers an initial overview of the set of issues regarding the environmental impact of green future technologies.

The study centres on three topics of investigation:

1. Economic analysis of green key growth markets and Germany’s competitive position
2. Environmental impact of selected submarkets and future technologies
3. Action strategies for the promotion of environmentally friendly green key growth markets.

The project is based on the evaluation of existing studies and expert interviews. The following sections give some insight into the process and into core results of the study.

Economic analysis of green key growth markets and Germany’s competitive position

Interim report I focused primarily on the economic potential of individual green key growth markets, on the opportunities they provide individual companies and how to exploit these opportunities by means of green business models.

Initially, a market transformation analysis was carried out to assess the concept and definition of green key growth markets and to identify their current dynamic and trends. In order to gain a comprehensive and detailed picture of green key growth markets, an inventory of studies published so far was carried out in which 37 newer studies dealing with the differing regional foci of green key growth markets were identified. The list of 37 studies was again filtered and a synopsis of the 22 selected studies was carried out. These 22 studies were assessed according to a uniform and precisely defined schema, rastered according to the following topics: Definition and demarcation of green key growth markets, dynamics and trends in these markets as well as indicators for measuring the transformation towards a green economy.

Definition of green key growth markets

The results of the synopsis showed that, up until now, there is no uniform and binding definition of green key growth markets to be found in either specialist literature or in national and international expert discourse. Instead, a multitude of differing terms appear, all of which describe one sector of the economy whose products and services aid environmental and climate protection, as well as a sustainable approach to using resources. This study will only make use of the terms environmental economy and green key growth markets. Environmental economy primarily focuses on a broadly understood definition: „Environmental economy (short for environmental protection economy) is the sector denotation used to describe all enterprises who offer environmental assets and services that prevent, reduce and eliminate environmental impacts.“ (see NIW/Fraunhofer ISI 2011: 4).

As the synopsis showed, literature provides numerous definitions of green key growth markets, all of which can be differentiated by four aspects:

- ▶ Implementation perspective versus technology perspective
- ▶ Assessment of individual segments versus entire portrayal of the environmental economy
- ▶ Environmental protection assets versus environmentally-friendly production and consumption
- ▶ Supply versus demand-oriented approaches when defining the size of the market

The heterogeneity of the definition reaches well beyond pure terminological discussion: More importantly, the diversity of terms has a great impact on the quantification of market volume and the estimation of green key growth markets' role in terms of green economy transformation.

The working definition used in this study to describe green key growth markets follows that of the publication ,GreenTech made in Germany 3.0. Environmental Technology Atlas for Germany, published by the Federal Environmental Ministry (2012a), which defines green key growth markets from a technological perspective. Technology is taken as the starting point for the segmentation of the environmental economy, in this case products, procedures and services. These are aggregated bottom-up to market segments, which in turn are aggregated to six lead markets: Environmentally-friendly energy production, energy efficiency, resource and material efficiency, closed loop recycling management, sustainable water management and sustainable mobility. These lead markets, for which the term green key growth markets also applies (also see. BMU 2012d: 8), present a general impression of an environmental economy. The technologies that form the basis of the six key markets include products, procedures and services, all of which not only support additive environmental protection (in other words, production/consumption of downstreamed assimilation of environmental impacts) but also process-integrated technologies and environmentally-friendly products.

Dynamics and trends of green key growth markets

Five core statements can be extracted from the studies assessed in the synopsis that provide a succinct description of dynamics and trends in green key growth markets:

- ▶ The view of green key growth markets has changed – there is more focus on topics such as energy efficiency, climate protection, as well as resource and material efficiency.
- ▶ Developing countries are establishing themselves as new players in green key growth markets.
- ▶ Technological focus and strengths are crystallising in individual countries and regions.
- ▶ Future green market growth is surpassing forecasted levels.
- ▶ Some technologies and sub-markets will grow particularly dynamic in future.

Measurement parameters for green transformation

Based on the results of the synopsis the study discusses the role of the green key growth markets within the context of the development towards a green economy.

While all definitions identified within the literature study describe the term green key growth markets in terms of an economic sector, the term green economy has a fundamentally different meaning. According to the definition of the BMUB and UBA (also see. BMU 2012f: 58), Green Economy is „a concept that follows the principle of an environmentally sound economy. Green Economy promotes environmentally sound growth, in that ecological limits are acknowledged and economic shortages and costs are anticipated. In this sense, green economy secures Germany's competitive potential ... The concept of Green Economy is embedded in the hierarchical model of sustainable development and also solidifies it, thereby placing the relationship between economy and ecology in centre stage, whilst also addressing social impacts.“

A developmental shift in the status quo towards becoming a green economy is defined as a green transformation. If the green economy is accepted as a model on which economic development should be based, then the question as to how far green transformation has already come must be raised both on a macro as well as a micro-economic level. Valid answers demand a measuring system based on uniform criteria and indicators.

Evaluation of literature and of companies' approaches has shown that, so far there has been no measuring system able to document green transformation at the level of individual economic sectors as well as at the level of the overall economy

using uniform criteria and indicators. Therefore, this study presents proposals for a system that attempts to fulfil the demands of an overall measurement of green transformation.

There are, in particular, five processes that significantly define a move towards green economy: Technological change, ecological change, societal change, economic change and institutional change. In the present study, these five drivers are each recorded in detail, listing individual indicators, and they are combined to form an overall measuring system. The following diagram illustrates a proposal for an overall system for measuring grades of green transformation:

During the design of a measuring system the authors of the study made the experience that the challenge was not only to identify and develop individual indicators but, in particular, how to intelligently combine these indicators. A significant difficulty here is operationalisation. An important aspect is also monitoring, as creating a measuring system is a necessary, but not sufficient, measure. Establishing indicators alone is not enough: There need to be binding mechanisms as to how these indicators are measured, evaluated and set in place.

Proposal for a general system for measuring stages of green transformation

Gauging dimensions for change in the following subareas	
 Technological change	<ul style="list-style-type: none"> > Further education and training > Research and Development > State R&D funding measures
 Ecological change	<ul style="list-style-type: none"> > Energy and material productivity > Penetration level of green technology > Environment-related standard of living
 Societal change	<ul style="list-style-type: none"> > Reflection > Acceptance
 Economic change	<ul style="list-style-type: none"> > Macroeconomic importance of green products and services > Competitive stance on green key growth markets
 Institutional change	<ul style="list-style-type: none"> > Changes in terms of the players > Development of new tools

Source: own diagram

Germany's competitive position

Based on the terminological demarcation of green key growth markets, this study assessed Germany's position (in terms of green key growth markets) when compared with other countries.

Selection of submarkets

Initially, submarkets that each featured individual key technologies were selected. All together, these technologies (that can include products, procedures and services), have an increased potential for reducing environmental burden and have a fortifying impact upon change when moving towards a green economy. Each of the submarkets identified contributes to master two central challenges of a green economy: Climate action and resource conservation.

In cooperation with the commissioning bodies, six submarkets were selected for this study for which, according to the analysed literature, particularly dynamic growth is expected:

- ▶ Alternative drive technologies (focus: electric drives and fuel cell drives)
- ▶ Renewable energies (focus: wind energy, photovoltaics and bioenergy)
- ▶ Storage technology (focus: electrochemical technology including batteries, accumulators and hydrogen storage systems)

- ▶ Efficiency technology in the industrial sector:
 - ▶ Efficient production processes (focus: energy and material-intensive branches)
 - ▶ Industry-wide cross-sectional technology (focus: electric drives, compressed air, pumps, hot and cold water supply)
- ▶ Energy efficiency for buildings (focus: building shells, heating, climate and ventilation technology as well as building automation)
- ▶ Waste recycling (focus: high-tech recycling and waste separation technology)

An important factor in the selection was the estimated environmental protection potential of these submarkets' assessed technologies.

SWOT analysis and portfolio analysis

A SWOT analysis was created for each submarket appearing in this study, comparing their strengths and weaknesses as well as opportunities and risks. The SWOT analysis focused on the selected key technologies. This resulted in a contrasting and comprehensive picture of German providers' positions on the competitive international stage in terms of these technologies.

The SWOT analysis forms the basis for the following portfolio analysis. The first one presents a series of evaluation criteria: Market share, company performance, innovation and location (such as legal frameworks, availability of expert workers, funding). At the same time, the evaluation criteria represent input variables for the portfolio analysis of Germany's international competitive position. Market attractiveness was evaluated on the basis of the input variables of global market growth, profit margin level, intensity of competition as well as breadth of application and implementation of any one technology across various branches (lead market function).

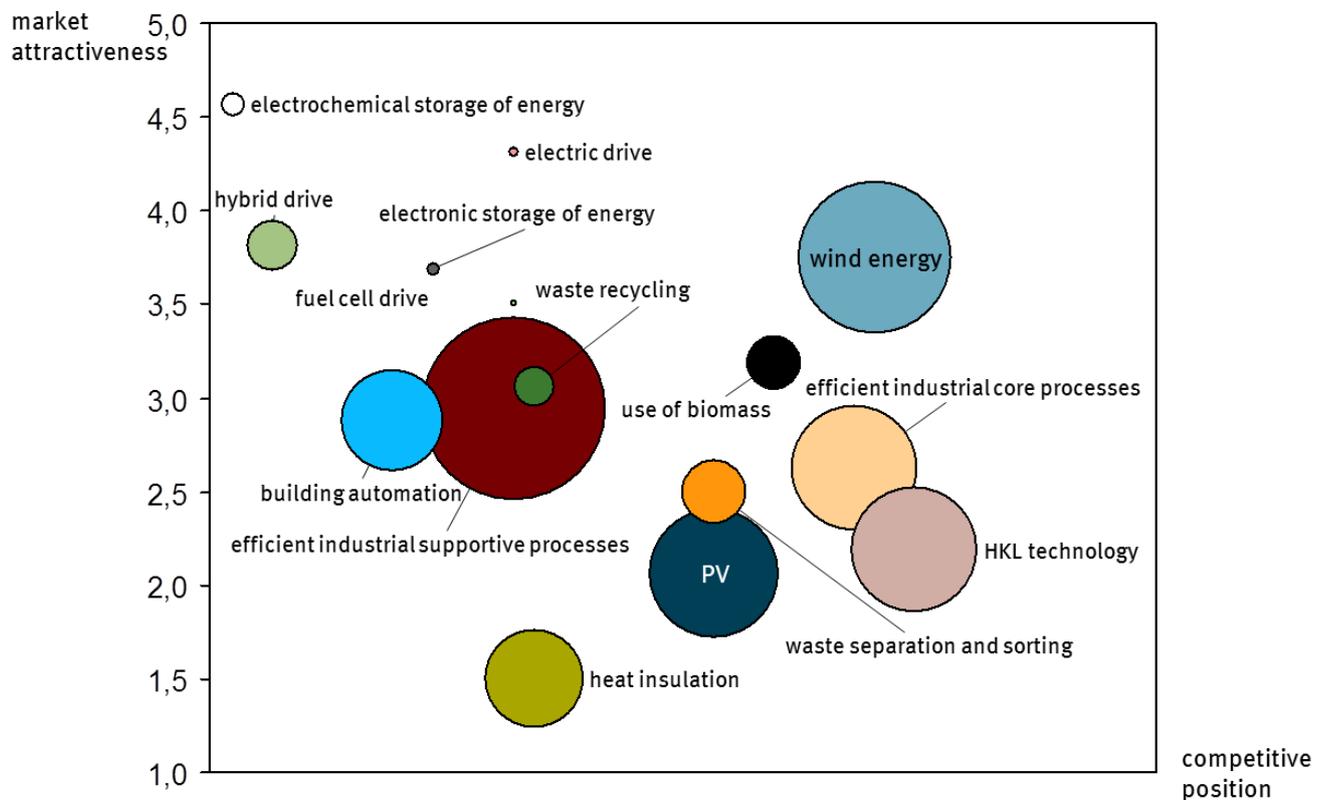
The portfolio analysis for selected submarkets and their key technologies (see following diagram) can, in view of German companies' positions on the competitive international stage, be broken down into the following key statements:

- ▶ Energy storage technologies and alternative drive technologies represent so-called green key growth markets. The challenge in these submarkets is mainly that the technologies should be developed at an early stage and after the development phase promptly reach market readiness. Energy storage technology and alternative drive technologies offer immense market opportunities. Germany's competitive position is promising, however USA and Japan are currently still ahead in terms of research and development activities in these submarkets.
- ▶ The submarket 'alternative drive technology' displays considerable differences in scale. Of all the alternative technologies, hybrid technologies currently have the greatest market penetration in Germany. The drive used in hybrid electric vehicles can be described as a transitional technology, as it presents an interim stage on the way towards an era of CO₂-free or low-CO₂ vehicles.
- ▶ In terms of market attractiveness, there is a contrasting image of wind energy, photovoltaic and bioenergy technologies: In photovoltaics, competition is extremely high; the aggressive price war in solar cell and solar modules, induced by over-capacity, weakens the margin level. Economies of scope become a critical success factor for the provider.
- ▶ German providers are excellently positioned on the submarket 'efficiency technology in the industrial sector': Traditionally, manufacturing has a strong standing within Germany's economy. A high patent advantage in efficiency technology is the result of intense research and development activities.
- ▶ In Germany in the last years, a new key market for energy and resource efficiency has emerged in the property sector and includes all services that increase building efficiency through energy refurbishment and high-efficiency, new construction.
- ▶ When competitive positions are evaluated, Germany scores highest in heating, climate and ventilation technology, as well as supportive processes in the industrial sector. This, in particular, applies to investments made in subsystems, responsible for efficiency increases in production.

Evaluation of waste recycling was aided by early-implemented environmental legislation featuring strict regulatory guidelines. This resulted in a strong market position for German providers in terms of technological advancement. However,

Germany lost footing in previous years in terms of patent registrations. Increased activities in key future technologies, such as recovery of strategic resources like precious metals and rare earths, are still to be ascertained.

Portfolio analysis for selected submarkets and their key technologies*



* The size of the circles reflects the scale of the global market in terms of each technology
Source: own diagram

Green business models

Finally, chapter 2 presents and organises examples of green business models that foster a move towards a green economy. In this study, the term 'business model' is based on the definition of the value-based business model: „A business model describes the basic logic of how an organisation creates value. Through this, the business model defines (1) what an organisation offers that is of value to its customers, (2) how values are created within an organisational system, (3) how the created values are communicated and transmitted to the customers, (4) how the created values are 'transformed' into revenue by the company, (5) how the values are distributed within the organisation and to stakeholders and (6) how the basic logic of value creation can be developed further in order to secure the sustainability of the business model for the future.“ (see also Bieger et al. 2011: 32)

A good, manageable analysis model that illustrates the most important elements of a company's business activity is required in order to identify innovative, 'green' business models that can accelerate transformation towards a green economy. Therefore, the following six dimensions of a business model derive from this definition (from Bieger et al. 2011: 32f.):

- ▶ Service concept (product / market combination) – which services in the form of products and/or services are provided for which groups of customers?
- ▶ Value-creation concept – how, through the combination of company external and internal resources, is value created for customers and other stakeholders?
- ▶ Channels – how does exchange take place between a company and its clients and how can they provide services?
- ▶ Profit model – how does company-created value for the client flow back into the company?
- ▶ Value distribution – how are profits distributed within the company or to investors and other stakeholders?

- Development concept – how can a company’s business model be adapted to suit an altered, general framework?

Overview of presented business models

	Perfor- for- mance con- cept	Value creation concept	Chan- nels	Profit model	Value distribu- tion	Develop- ment concept
Cofely Deutschland GmbH				✓		✓
flic AG	✓		✓			
GreenPocket GmbH	✓		✓			
LaTherm Energie AG	✓					
Next Kraftwerke GmbH	✓	✓				
Stadtwerke Karlsruhe		✓				
ubitricity Gesellschaft für ver- teilte Energiesysteme mbH	✓	✓				✓
WestfalenWIND GmbH				✓	✓	
Yunicos AG	✓					
ZIM Plant Technology GmbH	✓					

Source: own diagram

The business models presented in this study were systematically selected according to two established features: The significant contribution the business model makes towards environmental protection and/or resource conservation, as well as the innovative character of the model. Here, one of the six above-mentioned dimensions applies.

The table above gives an overview of which companies are to be presented in this chapter and to which dimensions of the business model innovation applies.

This study contains comprehensive characterisations of the companies presented as well as selected green business models.

Conclusions

Conclusions for innovation policy

Innovations are a significant subsection of the technological transformation that has an immense impact on all other drivers of Green Economy. As the selected examples show, innovations do, as a rule, form the basis for new ‚green‘ business models that accelerate green transformation at company level. Against this backdrop, innovations in the context of green transformation have exceptional importance. Above and beyond this, the key role of innovations for national economies’ and companies’ competitive capacity is indisputable. To that effect, innovation policy instruments are highly relevant.

The results of the SWOT analysis provide the basis for a number of statements that demonstrate starting points for improvements in innovation policy on green key growth markets:

- **Promoting synergy and system competence**
Innovations can often only be attained if companies and research institutions cooperate within different economic sectors. This can be supported by an innovation cluster and project funding for industry-wide cooperation.
- **Fund the right markets the right way**
The green key growth markets identified must be funded using the appropriate tools. Thus for the selection of funding measures it is necessary to distinguish each submarket’s or the sub-submarket’s level of maturity.

▶ **Targeted funding of small and medium-sized enterprises (SMEs)**

Certain submarkets engage a multitude of SMEs, therefore innovation policy has to be aware of SMEs' needs. SMEs' participation in regional innovation clusters has proven to be a helpful tool.

▶ **Promote business start-ups**

Start-ups contribute a great deal to a national economy's innovation performance. This makes the support of start-ups a significant factor in the fabric of innovation policy. A particularly important aspect is the support offered when trying to overcome financial obstacles, for example through business plan competitions.

Company policy conclusions

Green economy transformation is not only possible through top down' political decision, but also needs thrust and incentives generated from the 'bottom up'. The private economy plays a significant part in this process. For this reason, this study develops the following corporate policy conclusions that should help accelerate green transformation:

▶ **Awareness raising**

Highlighting the opportunities provided by green transformation must be a central concern during communication with companies on the topic of green economy. It is not about a comparison of 'profit or sustainability', but about facilitating the formula 'profit through sustainability'. The approach of sustainable company management has proven to be a helpful tool in this respect.

▶ **Qualification for a green transformation**

Employee competence plays a significant role in green transformation at company level. A prerequisite for employee skill-building is a system of training that disseminates competence and qualifications appropriate to the challenges faced during green economy transformation. Here, on the one hand states or federal states and local authorities need to act. On the other hand companies and their associations should be sensitised to the skills and qualifications that a green economy demands of employees.

▶ **Incentives for green transformation**

Diffusing innovation is mainly dependant on market demand. For environmental economy products and services it is the design of conditions for policy regulation that is a key deciding factor for market demand. Political institutions are required to create a conditional framework for commands and prohibitions ('command and control') as well as market-oriented tools (subventions, taxes, fees) that encourage a green structural change.

Environmental impact of selected submarkets and future technologies

In a second step, this study examined the environmental impact of selected submarkets and their associated future technologies. The core question here is: **Which environmental impacts are to be expected for different submarkets and environmental technologies, and in which areas might conflicts and synergies arise?**

Evaluation of environmental impact

The starting point for the evaluation of the environmental impact of emerging green technologies was a **literature analysis**. For each submarket, research on studies that examined individual or several technologies and delivered findings on their environmental impact was conducted. The findings stemming from the literature analysis were initially included in the report and summarised to provide an improved overview as part of a **matrix hypothesis**. The literature analysis was complemented by a total of 24 **interviews conducted with technology experts**, the aim of which was to undertake an evaluation of the individually assessed technologies' impact upon each environmental asset. The matrix hypothesis formed the basis and experts were given the chance to confirm or falsify the findings extracted from the literature.

Environmental assets that have been selected for closer focus in this study have been kept general: Climate, energy, air, water, ground, biodiversity and landscape, health, raw materials (abiotic), natural resources (biotic). The evaluation of the impact green future technologies have upon these environmental assets came about two-dimensionally: On the one hand, the direction was defined as either positive or negative, and on the other the strength (light/strong) of the effect. The evaluation was relative to the referential technology, i.e. the technology currently implemented in each submarket as

established by experts. The sample institutions included, amongst other, Fraunhofer ISI, ISE, IBP, MVV Energie Group, Daimler Group, UFZ, ISFH, Öko-Institut, ZSW, BWE, Wuppertal Institute and FZ Jülich.

Based on expert interviews, a summarised matrix evaluation was conducted for each submarket. It should be noted that this overall evaluation also took negative environmental impacts into consideration, which so far are not sufficiently documented, as these occur oftentimes at the beginning of the production line and then almost exclusively in the often poorly developed countries at the point of resource extraction.

Scenario analysis

In addition to the overall evaluations of environmental impact based on the literature analysis and expert interviews and in concurrence with the commissioning bodies, szenario analysis of alternative drive technologies and waste recycling were also conducted for the submarkets.

Alternative drive technologies

Various scenarios were assessed in the area of electromobility, drawing the conclusion that, until 2030, electromobility will only make a limited contribution to greenhouse gas reduction if the additionally required electricity is gained from renewable energy sources. Other environmental impacts will only be clear after 2020. Impacts in terms of climate protection are, in the short term, hardly to be expected and in the long term only within a limited range. Short term, the penetration rate of EV into the passenger car market is too low. Long-term, the question arises as to whether the integration of electromobility into an energy concept that is based on renewable energy will be successful, and if the required electricity will be come from renewable energies.

It should be noted that during the scenario analysis diverse uncertainty factors came to light. It is uncertain whether reinforced research in the area of electromobility would equate with lessening research into conventional drives, thus leading to a slower progress towards energy efficiency for conventional drives. Aside from that, it cannot be predicted as to what kind of behavioural changes electromobility would bring to driving. Due to these uncertainties, the question arises as to whether a safe directional statement about the environmental impact of electromobility is possible.

Waste recycling

The 'waste recycling' market is a field of action that holds great potential in terms of reducing raw material consumption and thus also in terms of the reduction of diverse types of environmental pollution. Of note is a scenario analysis for steel production that was performed for this study. With the help of GRAM, short for global resource accounting model, a fictional 'no waste recycling' scenario was compared with actual developments (recycling of scrap steel) in regard to saving primary raw materials and global emissions. GRAM is a multi-regional, input-output (Ethan) model which covers 53 countries, two regions (OPEC and the rest of the world) as well as 48 economic sectors (analogous to the OECD input-output tables' classification) per country / region. GRAM enables the static calculation of consumption-based emissions or material consumption.

The scenario analysis suggests that the use of scrap gained from steel production reduces iron ore imports by 20 per cent, meaning a decline of 1.2 per cent for global trade. At the same time, the stream-based processing method employed during the recycling of steel products can create energy savings of almost 30 per cent when compared to conventional primary steel production. It should be emphasised that, in this context, the consideration of global impact (based on international production chains) is not only possible, but also necessary. In general, waste recycling of steel products leads to a slight but noticeable effect in terms of savings in iron ore extraction and an overall reduction of energy-related CO₂ emissions.

Recommendations for selected green technologies

When reviewing separate green future technologies, the studies conducted during the second phase immediately uncovered a variety of environmental policy conclusions:

Alternative drive technologies

Battery electric vehicles (BEV) are neither sensible from an ecological nor an economic point of view, as manufacturing is more cost and energy intensive as with conventional vehicles. Energy return only occurs after having driven 12,000 km, even when using drives powered by renewable energy (RE) electricity. As BEVs can only be used on shorter routes, energy return time is not to be underestimated. Therefore additional support of electric mobility in the form of electric cars makes little sense at this point of time.

Currently, the restrained demand for electric cars is turning out to be a renaissance for fuel cell vehicles (FCV). However the use of fossil-fuel generated electricity leads to the production of hydrogen containing a worse CO₂ balance than that

of RE electricity. Supporting FCV still seems to be a sensible option, as hydrogen can be stored long term and easily transported, and there are feed-in possibilities to the current natural gas network. Also, FCVs have a considerably lower problem of range compared with electric cars. These vehicles can travel long distances and be refuelled faster than electric cars. The absence of a network of fuelling stations, as well as higher production costs, means FCVs currently only enjoys a niche existence. On the political side, support measures including research grants and grants to aid purchase would be plausible.

The potential for environmental relief provided by electric vehicles depends primarily on the generation of the electricity. Therefore, it is absolutely necessary to gain the additional electricity required from GHG, emission-free RE and to assign priority to this step.

Environmental pollution stemming from the mining of raw materials for the production of batteries/accumulators and the harmful impact upon health in the raw material mining areas require additional attention. The same negative impact applies to fuel cell vehicles, resulting from the use of platinum group metals in the production of the cells. Since very little information regarding any environmental impact in the first stages of the entire supply chain is available, it is acutely urgent to promote research in this area.

Renewable energy

Primarily, wind power and PV technology should be supported because they offer the greatest potential for environmental relief, even if indirect, negative impacts upon soil / water, landscape and health can be noted in the areas where raw materials are mined for use in the manufacture of components.

The potential for environmental relief offered by biomass is, when compared to PV and wind energy, rather limited. If all possible environmental impacts are not dealt with carefully, then the negative impacts actually weigh out the positive ones. In the area of biomass, attempts should be made to promote the use of a second generation of biomass (excluding energy crops). Second generation biomass includes wood, straw, scrap wood, and waste materials. The use of first generation biomass (plant-based oil, ethanol, biogas) leads to strong conflicts of aims in terms of environmental degradation.

Promotion of PV and wind power systems like the ones in operation in Germany makes sense. However, it should be monitored as to when the full market maturity is reached and when funding is no longer required. It should also be noted that in order to be able to make full use of RE, a grid expansion has to be implemented.

Energy storage technologies

In the future, energy storage will most likely play a decisive role in energy transition. It will become more and more viable for private households to use their own, alternatively produced electricity. Storage systems will therefore be needed for load balance, but also elsewhere – that, for example, means that electricity that has been produced during a (sunny) midday period but not used can be stored (decentralised) and used in the evening. Private households should therefore receive financial support to ensure that such storage systems are more widely implemented.

Various experts see great future potential (economic and ecological) in lithium air batteries. This technology is still in need of further development, so targeted funding would be helpful.

Energy efficiency in buildings

That the manufacture of products brings about an adverse impact to the environment applies as much to the building sector as it does to other future technologies. Both a reduction in the raw materials and resources required as well as the use of chemicals within the production process must be subject to strict environmental standards and controls. As raw material extraction and other phases of the manufacturing process partly associated with potential environmental risks happen abroad, cross-border environmental policy efforts would also be required.

There is also significant potential for environmental relief through the choice of insulation material. Different types of insulation material exhibit significant variations in terms of cumulative energy consumption and CO₂ emissions during their production. Due to the various fields of application of different insulation material, it is not in all cases possible to use less energy and CO₂-intensive produced substances. However, there is a range of materials available for exterior insulation, each featuring a very different environmental record. It would therefore have to be examined as to whether it

is possible to take the different environmental impacts caused by production into consideration when choosing which type of insulation is eligible for support, so that in the future only the use of environmentally-friendly material will receive financial backing.

In terms of environmental policy, there is certainly room for manoeuvre in the area of heating technology. A prerequisite for funding eligibility is that the heat pumps attain a certain level of efficiency. An energy efficiency condition for air heat pumps, for example, is that they must display a COP value of at least 3.5 in order to be supported in BAFA's market incentive scheme. An inspection report carried out by an independent test institute is required for calculating the necessary COP value for the annual working figures.

Aside from these figures, the electricity source is crucial when addressing the issue of greenhouse gas emissions. When combined with electricity from renewable energy sources, greenhouse gas emissions from heat pumps turn out to be much lower than if electricity is attained from conventional sources. Thus, it begs the question as to why the use of electricity from renewable energy sources isn't linked to the promotion of heat pumps.

Furthermore, it would be important to ascertain whether the current contrasts in funding conditions between various types of heat pumps sufficiently reflects the varying degrees of efficiency during different seasons.

Waste recycling

Waste recycling is, from an environmental point of view, extremely positive. Considerable savings on energy are made through recycling metals and plastics. Emissions resulting from primary production of the material in question are cancelled out, and emissions produced by the accordant recycling technologies are, in relation, considerably low. Pollution reduction is not at least positive for countries abroad (i.e. the countries where mining occurs). When regarding the specific environmental impacts, a stronger differentiation of technologies used would make sense. The data basis is, however, insufficient and thus presents an area where further research is needed.

Recycling technology has made considerable progress in Germany and is fairly widely distributed, not least due to intensive state regulations already in place since a number of years. The recovery rate of non-ferrous metals lies at around 50%. Here, further research may be necessary in order to increase the quota. In other areas, the innovation gap should be maintained because the market most certainly has significant potential abroad, especially as shortages in raw materials are expected in the future. From an environmental point of view, exporting technologies for waste recycling presents a key contribution to solving environmental problems in other countries. Environmental policy should therefore support this area.

Action strategies for funding green key growth markets

The aim of chapter 4 of this study is mainly to discuss the environmental policy conclusions of previous chapters and to examine the positive and negative impacts green future technologies present. Also, chapter 4 highlights where guidance would be advised and which recommendations for environmental policy at a strategic level should be given. Recommendations for improving the current set of environmental policy tools are developed and conflicts in addressing different environmental targets are identified.

Comparative analysis of the environmental impact of green future technologies

First, the results were compared in order to assess and summarize the environmental impact of selected green future technologies. The following core statements describe some of the environmental impacts inland:

- ▶ Aside from four exceptions, all 22 studied green future technologies presented significantly positive impacts in at least one area.
- ▶ Compared to the reference technology, none of the green technologies assessed showed any clear deterioration.
- ▶ In 32 cases the situation did however deteriorate in one environmental area.
- ▶ Best technology results: recycling of non-ferrous metals, different types of batteries and photovoltaics
- ▶ Worst technology results: Plug-in hybrid vehicles, biomass technologies as well as technologies for insulation of buildings

- ▶ Best results for key growth markets: Energy storage technologies and waste recycling
- ▶ Worst results for key growth markets: Energy efficiency for industry and buildings
- ▶ The areas climate and energy benefit the most from green future technologies
- ▶ Future technologies meant significant progress for the areas of air, noise and pollutants
- ▶ Water, groundwater and soil actually displayed negative values

Impacts upon countries, where resource extraction for the green future technologies takes place, can be summarised as follows:

- ▶ The impact upon these countries is low. Not one case was classified as having "significant impact".
- ▶ Predominantly, green technologies lead to negative repercussions upon these countries. Of the 22 environmental technologies assessed, this applies to at least 13 technological branches.
- ▶ Only one area of green future technologies, waste recycling, displays positive repercussions abroad. This applies to all environmental technologies observed in this technology field.
- ▶ Energy storage technologies were the poorest performers, as well as all renewable energy technologies.
- ▶ Taking afflicted environmental assets into consideration, it is air, biodiversity, landscape and health (noise and pollutants) that stand out as experiencing the most intense negative environmental impact.

Environmental policy: Problems and potential

Above and beyond the concrete observations, a series of positive as well as negative conclusions can, from an environmental policy perspective, be made upon which environmental policy with regard to expanding green key growth markets can be built.

A **positive** aspect is clearly that most environmental technologies not only instigate singular positive impacts on the environment, but also often result in multiple positive impacts. In addition, the positive impacts of future technologies often overlap, thus creating a synergy effect that can lead to significant improvements in the environmental situation. These effects can, in particular, be seen in the areas of climate and energy.

Beneficial environmental impacts of a broad range of future technologies fundamentally reinforce the positive image these technologies already have. In many cases they perform as would be expected, namely making a substantial contribution to a move towards green economy. From a methodical point of view, it should also be positively emphasised that rough estimates of the impacts that individual technologies have on the environment are basically possible and at a limited cost.

At the same time, diverse **problems** arise. Thus it should be noted, that on the whole some future technologies do, on average, have negative impacts on the environment. If the negative impacts on countries where resource extraction for the green future technologies takes place are also counted, then the number of technologies that fulfil only a limited amount of the expectations of green technology rises. To be precise, some small, ominous blots start to appear in the fabric of a large number of green technologies. These should be dealt with in the communication regarding these technologies, their basic evaluation and the consequent (political) activities. While the environmental technologies studied mostly displayed positive impacts on climate and energy, many also have negative impacts upon water and soil.

Environmental policy conclusions

Although the results identified in the evaluation of green technologies' environmental impact are, at this point, diverse, similar implications and required solutions arise. Initial priorities, identified in this study, are here presented briefly:

The strategic dimension

The environmental impact of emerging green technologies has rarely been discussed until now, and if, then reflected upon in a rather one-sided manner. Most of the time, it is assumed that these technologies, without a doubt, have a positive impact upon the environment. Currently, German environmental policy is lacking data, know-how and the necessary tools to critically reflect upon their environmental impact. What seems worse is the process of transmitting and

enforcing the resulting conclusions – this is due to the fact that the current environmental tools are, as yet, not designed to deal with this.

Before adopting individual environmental policy measures, it is important to create the necessary preconditions. There needs to be priority given to action on a strategic level. That initially means that German environmental policy must adopt a more vigorous, critical stance towards green future technologies than it has in the past. There must be more resolute differentiations made and policy has to show the will to influence development. Ultimately, it must ensure that permanent guidance is possible and that this is not curtailed by unilateral provisions for certain technologies.

The following elements presented here are part of such a comprehensive approach.

Monitoring and foresight in view of green future technologies' environmental impact

This study shows that greater efforts are required, particularly in terms of foresight (including monitoring). Green future technologies can lead to a medial or spatial shift of negative environmental impacts and these impacts might even overlap. From this, smaller environmental problems can on the whole grow to present a substantial challenge. It would also be useful to check in advance as to the long-term implications of certain decisions. It is therefore important to correctly apply the various environmental policy measures required for guidance. This needs improved information that, at least partially allows some insight into the future.

This study also makes clear that rough estimates are possible and at limited cost. In many cases, the expected results are already apparent and sufficiently accurate. Even at this moment, German environmental policy is making diverse efforts to strengthen foresight skills, however these efforts are not yet sufficient and they are rarely systematic.

Systematic and consolidated foresight in terms of green future technologies, possibly connected with the market surveys now regularly taking place (clean technology atlas), would, in the future, allow for early recognition of environmental problems caused by green future technologies. It would also make it possible to already begin adapting the environmental tools to suit these future challenges.

Funding policy implications

Until now funding in the area of green future technologies paid little heed to the character and extent of the environmental performance of each technology. In the future, it should be a clear objective of environmental policy to incorporate the associated impacts of green future technologies more strongly within diverse funding policies. Discussions, based on a precise assessment of the funding schemes, should be led with the relevant public funding bodies. The contribution that each green technology makes to solving various environmental problems as well as negative impacts it might have upon the environment should be incorporated into funding scheme designs. This applies to the orientation and basic concept, concrete funding support, continuous monitoring and evaluation of each scheme.

In the future, it should be ensured that environmental impacts that come about as a result of the funding scheme should be recorded in as much detail as is possible and evaluated. It will only thus be possible to subsequently intervene in the scheme's conception and accordingly optimise the environmental policy targets. Finally, it should also be considered whether a collection of best practices of funding schemes might be created, initiating a potential learning process in terms of public funding.

Conclusions drawn in terms of the green economy model

Basically, this study's investigation results reinforce the 'green economy' model. Green future technologies are quite capable of making an important contribution to dealing with current and future environmental policy challenges. This is important not only concerning the model's credibility within Germany, but also in terms of international discourse.

At the same time, the study results indicate that not all environmental problems are being addressed with the same success by advances in environmental technology. It is important that even those environmental areas that simply close in on market economy and technological solutions receive more intense scrutiny. It will be important to reinforce thinking about environmental protection in general, something that is somewhat left by the wayside in current discussions on green economies.

As to whether the green economy model gains further international momentum depends on being open about the negative impacts of green future technologies. This is especially true in the area of raw material mining, as touched upon in this study, and would therefore intensify the model's credibility. Together with affected countries, environmental and development policy solutions have to be found.

Another important factor is that this study presents the limited efficiency of green future technologies. green economy ends at a point where it is only understood as an application of 'green growth'. In order to tackle environmental policy challenges, the model must also comprise more elements that guarantee an absolute reduction in raw material and energy use, as well as a reduction in pollutant input.

Limits of communication regarding green technologies

The image of green future technologies should be reassessed, particularly in the light of this study's findings and, if necessary, communicated differently in the future. Almost all green future technologies assessed showed negative environmental impact in one or more areas, and although not major, this was still apparent. Only a few technologies are "green" in the sense of them being truly environmentally sound. More precisely, it is only possible to define most green future technologies as being comparatively "green". This is, of course, not particularly attractive for promoting broad public support, however it presents a better reflection of the situation. A clearer assessment of the environmental impacts of various green future technologies along with more transparent communication can certainly help to objectify discussions about the negative environmental impacts of future technologies. It can also put them on the right track and generally provide society with a viable basis for the development of green future technologies.

Additional environmental policy tools

Beyond the previously discussed approaches, further tools should be used to better exploit green future technologies' potential to solve environmental problems.

On the one hand, problems arising from the application of such technologies in countries where raw are extracted must, in the future, come under more intense scrutiny than ever before. An accurate analysis is required as to which particular countries are implicated and how predicted impacts will actually take place. Aside from this, tools that can reduce these problems should be developed. Efforts already made in the area of resource governance might be accessed for this purpose. A broad spectrum of measures, schemes and initiatives primarily aim towards an improvement of environmental and social standards in raw material extraction, including for example Corporate Social Responsibility Standards, certification systems or sustainable supply chain management. Together with the mining countries and with the involvement of the European Union, the looming problems must be identified, solutions developed and the resulting measures implemented.

As this study also shows, waste recycling can make an important contribution to solving environmental problems occurring both inland and abroad. One possible approach could be further development of recycling systems and accordant environmental legislation.

Another way to reduce the negative environmental impacts of green future technologies is by strengthening efforts in environmental technology verification. Within the framework of the Environmental Technology Action Plan (ETAP) initiated by the EU in 2004, a European network that is responsible for the testing, standardisation and a guarantee of performance for these technologies should be created (Environmental Technology Verification - ETV).

Finally the study results indicate that steps made to promote eco-innovation and green key growth markets must be accompanied by measures that strive towards sustainable use. This, for example, includes raising awareness through education and training. At the same time, we need to continue environmental governance through the implementation of taxes.

Outlook

This study aims to deliver initial insight into the topic of the environmental impacts of green future technologies. It allows a number of conclusions for future environmental policy design. At the same time, it shows that further research is necessary. To sum up, here is a brief outline of important individual aspects:

- ▶ Systematic investigation of the environmental (policy) balance of climate action;
- ▶ Intensified research into international environmental problems associated with future technologies;
- ▶ Investigation of green key growth markets not presented in this study in terms of their environmental impact;
- ▶ Estimations of the environmental impact of environmental services;
- ▶ Evaluation of the potential contribution that environmental technologies can make to achieving the environmental policy targets;
- ▶ Improved control of funding allocation and identification of best practice examples.

1 Einleitung

Als Teil der internationalen Staatengemeinschaft steht Deutschland vor weitreichenden umweltpolitischen Herausforderungen. Der demographische Zuwachs einerseits und die rasche Industrialisierung der Schwellen- und Entwicklungsländer und die damit einhergehende globale Erhöhung der Lebensstandards und der Kaufkraft der Mittelschichten andererseits verstärken die Nachfrage nach Konsumgütern und damit auch die Nachfrage nach Ressourcen. Der Vorrat an fossilen Energieträgern und Rohstoffen, die zur Verfügung stehenden Flächen wie auch das nutzbare Wasservolumen sind aber begrenzt und die Umwelt kann auch nur endlich Schadstoffe aufnehmen.

Als hochentwickelte Industrienation weist Deutschland auch einen sehr hohen Verbrauch an Ressourcen und Energie auf. Dank eines intensiven Ausbaus grüner Zukunftstechnologien hat Deutschland es aber geschafft, die langjährigen deutlichen Zuwachstrends in den Verbräuchen - bis auf den Bereich der Siedlungs- und Verkehrsflächen - zu beenden. Bei der Energie- und Rohstoffproduktivität sind erhebliche Fortschritte erzielt worden. Die Belastung der Luft durch Schadstoffe hat sich seit 1990 kontinuierlich verringert. Auch die Ziele im Klimaschutz, die im Kyoto-Protokoll festgehalten wurden, sind fast erreicht. Zwar liegt noch ein weiter Weg vor mit Blick auf eine „green transformation“ der deutschen Wirtschaft, aber die Entwicklung weist in vielen Bereichen in die richtige Richtung.

Deutsche Unternehmen haben sich zu Vorreitern in den grünen Zukunftsmärkten entwickelt. Die Umweltwirtschaft in Deutschland floriert und die in den zugehörigen Branchen erzielten Umsätze steigen kontinuierlich. Durch den globalen Anstieg der Nachfrage nach grünen Technologien und Dienstleistungen wird die deutsche Umweltwirtschaft weiter wachsen, denn sie besitzt auf vielen Märkten eine starke Position im internationalen Wettbewerb. Der Beitrag, den der Handel mit Umweltschutzgütern zur insgesamt starken Welthandelsposition Deutschlands leistet, wird immer wichtiger.

Hohe gesetzliche Standards, frühe staatliche Forschungsförderung, umfangreiche Aufklärungs- und Informationskampagnen sowie zahlreiche weitere Unterstützungsmaßnahmen haben in der Entwicklung der grünen Märkte in Deutschland wiederholt Innovationsimpulse gegeben und damit zur Entwicklung einer weit gefächerten, aktiven F+E-Landschaft zu grünen Zukunftstechnologien beigetragen.

Für Deutschland hat die Umweltwirtschaft inzwischen eine hohe Bedeutung erreicht. Zum einen steigt ihr Anteil an der wirtschaftlichen Gesamtproduktion immer weiter an. Zum anderen nimmt die Zahl der hier vorhandenen Arbeitsplätze immer weiter zu. So stellen die verschiedenen Sektoren der Umweltwirtschaft Wachstums- und Jobmotoren für die deutsche Wirtschaft dar.

Das Potential einer innovativen Umweltwirtschaft nicht nur für den Umweltschutz, sondern auch für das wirtschaftliche Wachstum und die Beschäftigungssicherung erkannte die Bundesregierung (und hier insbesondere das Bundesumweltministerium) bereits vor etlichen Jahren und suchte den Export gezielt zu fördern, etwa mit einem ersten Ratgeber „Fördermaßnahmen zur Erschließung von Auslandsmärkten: Ein Kursbuch für die deutsche Umweltindustrie“. An diese Veröffentlichung knüpfte 2004 das „Export Umweltechnik – Kursbuch für deutsche Umweltunternehmen“ an. Schon im Jahr 2001 wurde das Onlineportal „Cleaner Production Germany“ eingerichtet, das sowohl ausländische Handelspartner über deutsche Vorreiter-Technologien informieren wie deutschen Herstellern den Export erleichtern soll.

Weitere Meilensteine waren verschiedene Publikationen des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesumweltministeriums; unter anderen der „GreenTech Atlas“ und „GreenTech Atlas 2.0“, die UBA-Studie „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ aus dem Jahr 2007, die Studie „Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten“ aus dem Jahr 2008, wie auch die Vorhaben „Umweltwirtschaftsindex: Umfrage zur Lage und Entwicklung der Umweltwirtschaft“ und „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Analyse der wirtschaftlichen Bedeutung des Umweltschutzes durch Aktualisierung und Auswertung wichtiger Kenngrößen“ sowie der GreenTech Atlas 3.0.

adelphi, Roland Berger Strategy Consultants und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) widmen sich in der vorliegenden Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes verschiedenen Facetten der grünen Zukunftsmärkte in Deutschland.

Die Studie hat zum einen den Anspruch, die Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte und ihre Bedeutung für die Wirtschaft zu untersuchen sowie Vorschläge und Handlungsstrategien auf unternehmerischer und staatlicher Ebene zu entwickeln. Das gesamte Themenfeld der grünen Zukunftsmärkte ist noch relativ neu und daher auch konzeptionell

schwer zu fassen. Die bisherigen Arbeiten werden mit Blick auf die große Dynamik in den grünen Zukunftsmärkten aktualisiert und ergänzt. Zudem werden die laufenden Studien zum Status und zur Entwicklung der Umweltwirtschaft um eine vorausschauende Analyse zu grünen Zukunftsmärkten und zur Transformation der klassischen Märkte und zur Entwicklung von „grünen Geschäftsmodellen“ ergänzt (Teilbericht I).

Die Studie hat zum anderen den Anspruch einen Einblick in die erzielbaren Umweltentlastungseffekte, aber auch die negativen Umweltwirkungen von Umwelttechnologien zu geben. Sie eröffnet damit eine neue umweltpolitische Perspektive auf die grünen Zukunftsmärkte. Bislang werden grüne Zukunftsmärkte - von Ausnahmen abgesehen – per se als förderwürdig angesehen und die Förderwürdigkeit bemisst sich am ehesten nach ihrem wirtschaftlichen Potential. Die hier behandelte Fragestellung weitet den Blick erstmals darauf, welche intendierten und unintendierten Umweltwirkungen möglicherweise durch den Ausbau der grünen Zukunftsmärkte erreicht werden und was aus umweltpolitischer Sicht daraus folgt - einschließlich der eventuellen Änderung bisheriger Förderpraxis. Nachdem es in der Vergangenheit in der Hauptsache darum ging, die Entwicklung und den Ausbau der grünen Zukunftsmärkte staatlicherseits zu unterstützen, stellt das Vorhaben einen Paradigmenwechsel dar: Auch grüne Zukunftsmärkte müssen sich an umweltpolitischen Zielsetzungen messen lassen und sich einer systematischen, kritischen Analyse ihrer Auswirkungen stellen. Gleichzeitig muss sich die Umweltpolitik auch verstärkt darauf einrichten, dass mit den negativen Umweltwirkungen von grünen Zukunftsmärkten auch neue Anforderungen auf sie zukommen.

Im Rahmen der Studie werden diverse grüne Zukunftsmärkte auf ihre Umweltwirkungen hin untersucht. Für einige ausgewählte Technologien findet eine Detailbetrachtung im Rahmen einer Modellierung ihrer künftigen Entwicklung statt. Aufgrund der geringen Vorarbeiten in diesem Bereich, kann die Studie an dieser Stelle nur einen „Scoping-Charakter“ haben. Das heißt: Sie liefert einen ersten Einblick in den Themenkomplex der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien (Teilbericht 2).

Auf der Basis der Ergebnisse von Teilbericht 2 und Teilbericht 1 werden in einem letzten Schritt der Studie Handlungsempfehlungen formuliert,

- die sich mit bestehenden negativen Umweltwirkungen von grünen Zukunftstechnologien auseinandersetzen und diese minimieren und
- die die positiven Umweltwirkungen fördern.

Unter dem Titel „Die (teilweise) Green Economy – Eine kritische Reflexion“ werden dabei verschiedene Bereiche des aktuellen umweltpolitischen Instrumentariums zur Förderung grüner Zukunftsmärkte angesprochen und Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert (Teilbericht 3).

Abschließend sei an dieser Stelle allen Experten, die im Rahmen der Workshops, Interviews und Hintergrundgespräche beteiligt waren, noch einmal gedankt. Ihre kritischen Kommentare haben zur Schärfung der Untersuchungsergebnisse einen wichtigen Beitrag geleistet.

2 Teil 1: Ökonomische Analyse der Grünen Zukunftsmärkte und der Wettbewerbsposition Deutschlands

Angesichts des globalen Klimawandels und der zunehmenden Umweltverschmutzung in aufstrebenden Schwellenländern wie China, Brasilien und Indien sowie des gesteigerten Umweltbewusstseins in westlichen Industrieländern nimmt die wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung von Umwelttechnologien und Umweltinnovationen stetig zu. Dies zeigt sich auch in den wachsenden Marktvolumina der Umwelttechnikbranche. Die deutsche Umwelttechnik hat hier in fast allen Bereichen einen hohen Anteil und ist gut positioniert. Die Umwelttechnikbranche ist somit zum einen ein wichtiger Faktor für die Generierung von Arbeitsplätzen und zum anderen zu einem bedeutenden Innovationstreiber der deutschen Wirtschaft geworden.

Damit diese weltweit dominante Position der deutschen Umwelttechnikbranche auch weiterhin gesichert wird und Deutschland vom künftigen Marktwachstum in bestmöglicher Weise profitieren kann, ist ein umfassendes Verständnis der aktuellen Situation der Umwelttechnikbranche mit ihren Unternehmen, Geschäftsmodellen und Märkten erforderlich.

Die Dynamik der grünen Zukunftsmärkte ist sehr hoch. Dies erfordert eine regelmäßige Aktualisierung und Analyse. Im AP I sollen Marktvolumina und Marktpotentiale grüner Zukunftsmärkte untersucht werden. Zudem soll der Blick auf die Unternehmen gerichtet werden. Dabei soll vor allem untersucht werden, wie sich Deutschland im internationalen Wettbewerbsvergleich auf relevanten grünen Märkten positioniert, in welchem Umfang sich die grüne Transformation bereits in klassischen Wirtschaftszweigen entwickelt hat und welche neuen Geschäftsmodelle dabei entstanden sind.

Die Ausarbeitung in Teilbericht I erfolgt in drei Schritten:

- ▶ Schritt 1: Grüne Zukunftsmärkte: Markt- und Transformationsanalyse (2.12.1)
- ▶ Schritt 2: SWOT-Analyse: Position Deutschlands auf den grünen Zukunftsmärkten (2.2)
- ▶ Schritt 3: Best-practice: Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy (2.3)

Im Ergebnis liefern die drei Schritte ein umfassendes Bild zur Wachstums- und Innovationsdynamik grüner Zukunftsmärkte und eine Charakterisierung der Positionierung der deutschen Unternehmen auf dem Weg in eine Green Economy. In Abschnitt 2.4 werden aus den Untersuchungsergebnissen der vorherigen Abschnitte innovationspolitische Schlussfolgerungen abgeleitet. Diese ergänzen das Set an umweltpolitischen Schlussfolgerungen der Gesamtstudie, so wie sie in Teilbericht 3 formuliert werden.

2.1 Markt- und Transformationsanalyse

2.1.1 Auswahl und Analyse einschlägiger Studien

Die Megatrends demografische Entwicklung, zunehmende Industrialisierung der Schwellenländer, Ressourcenknappheit und Klimawandel werden in den nächsten Jahrzehnten weltweit die gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen prägen. Diese Megatrends sind die entscheidenden Treiber für das Wachstum der Umweltwirtschaft. Zu dieser Branche werden – in einem weit gefassten Verständnis dieses Begriffs – alle Unternehmen gezählt, die Güter und Dienstleistungen zur Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbelastungen anbieten (vgl. S. 55). Die grünen Zukunftsmärkte dieser Branche zeichnen sich durch eine hohe Dynamik und Innovationsgeschwindigkeit aus. Dies erfordert in regelmäßigen Abständen aktuelle Analysen, um die technologischen und ökonomischen Trends in der Umweltwirtschaft zu erfassen.

Die vorliegende Studie hat den Anspruch, die Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte und ihre Bedeutung für die Wirtschaft und den Umweltschutz zu untersuchen sowie Vorschläge und Handlungsstrategien auf unternehmerischer und staatlicher Ebene zu entwickeln. Um ein umfassendes und detailliertes Bild von grünen Zukunftsmärkten zu erhalten, wurde eine Bestandsaufnahme von bisher publizierten Studien durchgeführt (Synopse).

Dazu wurden zunächst insgesamt 37 Studien identifiziert (vgl. Tabelle I). Bei der Auswahl der Studien wurde ein weit gespannter begrifflicher Ansatz gewählt, damit alle technologischen Bereiche der grünen Zukunftsmärkte erfasst werden. Um eine ganzheitliche und vollständige Darstellung zu gewährleisten, wurden sowohl Studien mit internationalem als auch mit regionalem Fokus einbezogen. Auch bei den Autoren, Herausgebern und Auftraggebern der Publikationen

wurde ein breites Spektrum berücksichtigt. Die Studien stammen aus unterschiedlichen Quellen, zum Beispiel von internationalen Organisationen, Regierungen, Behörden, Interessensverbänden und Unternehmen. Um Aktualität sicherzustellen, wurden – von einer Ausnahme abgesehen¹ – ausschließlich Studien berücksichtigt, die seit 2010 erschienen sind.

Diese Liste von 37 Studien wurde nochmals gefiltert: Aus den in Tabelle 1 aufgeführten Publikationen wurden diejenigen ausgewählt, aus denen die Synopse erstellt werden sollte. Die Inhalte dieser Studien sind im Anhang I prägnant zusammengefasst. Die Selektion dieser 22 Studien ist im Wesentlichen nach zwei Kriterien erfolgt:

4. Informationsgehalt zu Marktabgrenzung, Dynamik und Trends sowie zur Messung der grünen Transformation;
5. Ausgewogene regionale Verteilung des Studienfokus; insbesondere wurde darauf geachtet, alle großen und relevanten Wirtschaftsregionen abzudecken (EU, USA, Schwellenländer). Es wird außerdem auf regionale Länderstudien zurückgegriffen, die sehr detaillierte Analysen vorweisen und unterschiedliche ökonomische Rahmenbedingungen berücksichtigen.

Im Anhang I befindet sich eine kurze Zusammenfassung der für die Synopse ausgewählten Studien.

Tabelle 1: Übersicht über die identifizierten Studien

Titel der Studie	Publizierende(s) Organisation/ Unternehmen	Erscheinungsjahr	Auswahl für vertiefende Analyse im Rahmen der Synopse
Studien mit globalem Fokus			
Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication	UNEP	2011	X
Who is winning the energy race?	PEW	2011	X
Cleantech Energy Investing	SBI	2010	
2010 Global Trends in Venture Capital: Outlook for the Future	Deloitte	2010	
The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective	UN-DESA/UNEP/UNCTAD	2010	X
Sizing the climate economy	HSBC	2010	X
EBI Report 3000 The Global Environmental Market ²	Environmental Business International	2011	
Towards Green Growth: Monitoring Progress	OECD	2011	X
Green economy - Developing	UNEP	2010	

¹ Die Studie „ECORYS 2009: Study on the Competitiveness of the EU eco-industry“ wurde hier berücksichtigt, weil sie relevante Inhalte zur Abgrenzung und Messung der Märkte der Umweltwirtschaft liefert. Diese Definitionen sind nach wie vor aktuell, sodass die Studie trotz des Erscheinungsjahres 2009 im Rahmen der Synopse betrachtet wurde. Vgl. Anhang I, S.215.

² Studie identifiziert, jedoch nicht vorliegend.

Countries Success Stories			
The road to Rio - For a development-led green economy	UNCTAD	2011	
Impacts of Structural Change: Implications for policies supporting transition to a Green Economy	GHK	2011	x
A New Era of Sustainability. UN Global Compact-Accenture CEO Study	UNGC	2010	
Redefining the Future of Growth: The New Sustainability Champions	World Economic Forum	2011	
GreenTech made in Germany 3.0	BMU	2012	x
Greener and smarter – ICTs, the Environment and Climate Change	OECD	2010	x
Pro-active Policies for Green Growth and the Market Economy	OECD	2010	x
World Investment Report 2010 – Investing in a low-carbon environment	UNCTAD	2010	
Studien mit regionalem Fokus			
Europäische Union (EU)			
Environmental statistics and accounts in Europe	EUROSTAT	2011	x
Study on the Competitiveness of the EU eco-industry	ECORYS	2009/10	x
The Eco-Innovation Challenge. Pathways to a resource-efficient Europe	Eco-Innovation Observatory (EIO)	2011	x
Asien			
Korea's Green Growth Strategy	OECD	2011	x
Greening Growth in Japan	OECD	2011	x
The China Greentech report	The China Greentech Initiative (CGTI)	2011	x
Market report of environmental protection and pollution treatment equipment manufacturing in China	Italian Trade Commission	2011	
Green Growth, Resources and Resilience in Asia. Environmental sustainability in Asia and the Pacific	UNESCAP/ADB/UNEP	2010	x
Mittel- und Südamerika			

Green Economy: challenges and opportunities	Conservação Internacional	2011	x
USA			
Getting Back in the Game U.S. Job Growth Potential from Expanding Clean Technology Markets in Developing Countries	WWF	2010	
Measuring the Green Economy	United States (US) Department of Commerce	2010	x
Analysis of Small Business Innovation in Green Technologies	US Small Business Administration	2011	
Sizing the Clean Economy	The Brookings Institution	2011	x
Skills for green jobs in the United States	ILO	2010	
Deutschland			
Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Analyse der wirtschaftlichen Bedeutung des Umweltschutzes durch Aktualisierung wichtiger Kenngrößen	DIW/NIW/Fraunhofer ISI	2012	
Ausgewählte Indikatoren zur Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimawirtschaft im internationalen Vergleich: Produktion, Außenhandel, Umweltforschung und Patente	NIW/Fraunhofer ISI	2011	x
Aktuelle Technologieprognosen im internationalen Vergleich	VDI Technologiezentrum	2010	x
Umweltnutzung und Wirtschaft - Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen	DESTATIS	2011	
Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050	WWF	2010	
Umweltwirtschaft in Bayern	StMWIVT/ifo Institut	2010	x
Sauber. Effizient. Zukunftsorientiert. Stand und Perspektiven der Umweltwirtschaft in Brandenburg	MUGV Brandenburg	2010	

Quelle: Eigene Darstellung

Um Aussagen über Trends und Dynamiken auf den grünen Zukunftsmärkten treffen zu können, ist es notwendig, die Studien nach einem einheitlichen, exakt definierten Schema auszuwerten. Dieses Raster wurde entsprechend folgenden Untersuchungsfeldern gestaltet: Definition und Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte, Dynamik und Trends auf diesen Märkten sowie Indikatoren für die Messung der Transformation in Richtung einer Green Economy. Die Studien werden daher konsequent nach der folgenden Struktur analysiert, wobei jeweils am Anfang eine Zusammenfassung von Inhalt und Zielsetzung erfolgt (siehe Anhang I).

Marktdefinition/-abgrenzung: Hier wird dargestellt, welche Definition den grünen Zukunftsmärkten bzw. den betrachteten Teilbereichen zugrunde gelegt wird. Diese Klärung ist wichtig, denn weder in der nationalen noch in der internationalen Fachdebatte gibt es bislang eine eindeutige Definition der Branche. Die Heterogenität der Inhalte, mit denen das Schlagwort der „grünen Märkte“ hinterlegt wird, erweist sich immer wieder als Hemmnis bei der Analyse dieser Zukunftsmärkte und der Beurteilung ihrer Chancen und Risiken. Da sich bislang kein einheitliches Begriffsverständnis durchgesetzt hat, sind beispielsweise der Vergleich der Aussagen einzelner Studien oder länderübergreifende Gegenüberstellungen nur sehr eingeschränkt möglich. Die vorliegende Studie will die unterschiedlichen Definitionsansätze systematisch aufzeigen und auf diese Weise einen Beitrag zur wissenschaftlichen Debatte über den Status quo und die Perspektiven der grünen Zukunftsmärkte leisten. Darüber hinaus wird dargestellt, welchen Marktbereich die jeweilige Studie adressiert. Dabei werden beispielsweise folgende Leitfragen herangezogen:

- ▶ *Welche Begrifflichkeiten werden für grüne Zukunftsmärkte verwendet?*
- ▶ *Werden Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in der Studie berücksichtigt?*
- ▶ *Werden auch Technologien aus verwandten Industrien, etwa Maschinenbau oder Elektroindustrie, betrachtet?*

Dynamik/Trends: Hier werden Marktgröße, Marktwachstum und Verschiebungen innerhalb eines Marktes dargestellt. Ziel ist es, Marktveränderungen bzw. Trends abzuleiten und dabei unter anderem die folgenden Fragestellungen zu beantworten:

- ▶ *Bei welchen Technologien haben sich die Erwartungen nicht erfüllt oder wurden übertroffen?*
- ▶ *Haben sich in einzelnen Regionen technologische Schwerpunkte herauskristallisiert?*
- ▶ *Haben sich neue Länder erfolgreich auf den grünen Zukunftsmärkten positioniert?*
- ▶ *Welche Auswirkungen haben staatliche Investitionsprogramme auf Marktgrößen?*
- ▶ *Gibt es bahnbrechende Fortschritte im Bereich der Forschung und Entwicklung (FuE)?*

Messung der grünen Transformation: Hier wird untersucht, ob bzw. in welchem Umfang die Studien auf die Messung der grünen Transformation eingehen. Diese Analyse erfolgt anhand folgender Fragestellungen:

- ▶ *Wie ist die Zielvorstellung einer Green Economy definiert?*
- ▶ *An welchen Indikatoren/Messgrößen lässt sich der Wandel hin zu einer Green Economy festmachen?*
- ▶ *Gibt es bereits ein adäquates Messsystem, um den Fortschritt der grünen Transformation bestimmen zu können?*
- ▶ *Aus welchem Blickwinkel wird dieser Fortschritt in den Studien gemessen (Unternehmenssicht, Gesellschaftsperspektive, Bürgerperspektive, Landesperspektive)?*

Die Ergebnisse der Synopse werden dann anhand der beschriebenen Struktur aggregiert ausgewertet: In Kapitel 2.1.2.1 wird auf die unterschiedlichen Definitionsansätze der grünen Zukunftsmärkte eingegangen. Die Kernaussagen zu Dynamik und Trends auf den grünen Zukunftsmärkten sind in Kapitel 2.1.2.2 zusammengefasst. Darüber hinaus wird auf Basis der Synopse in Kapitel 2.1.2.3 ein Vorschlag zur Bestimmung und Messung der „grünen Transformation“ erarbeitet.

2.1.2 Synopse der einschlägigen Studien

2.1.2.1 Abgrenzung/Definition der grünen Zukunftsmärkte

Weder in den für die Erstellung dieser Synopse betrachteten Studien noch in der Fachliteratur oder im nationalen und internationalen Expertendiskurs existiert bislang eine einheitliche und verbindliche Definition der grünen Zukunftsmärkte. Deren Dynamik und Komplexität spiegelt sich in der Vielfalt der Begriffe wider: Umweltwirtschaft, Cleantech, Greentech, Umwelttechnik, grüne Technologien – diese Liste unterschiedlicher Bezeichnungen ließe sich noch fortsetzen. Sie alle beschreiben einen Sektor der Wirtschaft, dessen Produkte und Dienstleistungen dem Umwelt- und Klimaschutz sowie dem schonenden Umgang mit Ressourcen dienen. Um die terminologische Verwirrung zu minimieren, werden in der vorliegenden Studie ausschließlich die Bezeichnungen Umweltwirtschaft und grüne Zukunftsmärkte verwendet. Der Umweltwirtschaft liegt dabei zunächst ein weit gefasstes Verständnis zugrunde: „Die Umweltwirtschaft (als Kurzform von Umweltschutzwirtschaft) ist die im Folgenden verwendete Branchenbezeichnung für alle diejenigen Unternehmen,

die Umweltschutzgüter und -dienstleistungen zur Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbelastungen anbieten.“ (vgl. NIW/Fraunhofer ISI 2011: 4).³

Die Auswertung der Studien im Rahmen der Synopse hat gezeigt, dass es keinen zwingenden Zusammenhang zwischen den jeweils verwendeten Begriffen für die grünen Zukunftsmärkte bzw. die Umweltwirtschaft und ihrer Marktabgrenzung/-definition gibt. Diese Beliebigkeit erweist sich immer wieder als problematisch: Quantitative und qualitative Aussagen über *die* Umweltwirtschaft aus verschiedenen Studien sind in der Regel schwer vergleichbar, weil das Verständnis bzw. die Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes stark unterschiedlich ausfällt.

Die analysierten Studien enthalten verschiedene Definitionen der grünen Zukunftsmärkte. Bei der Erstellung der Synopse wurden die Merkmale, anhand derer sich die einzelnen Definitionen unterscheiden, in vier Kategorien geordnet. Sie bilden gleichsam die wesentlichen Demarkationslinien zwischen den Definitionsansätzen.

³ Vergleiche dazu auch die ähnlich gefasste Definition des Umweltbundesamtes, die jedoch die Langform ‚Umweltschutzwirtschaft‘ verwendet: „Zur Umweltschutzwirtschaft können diejenigen Unternehmen gezählt werden, die Güter (Waren, Bau- und Dienstleistungen) zur Vermeidung, Verminderung oder Beseitigung von schädigenden Einflüssen auf die Umwelt anbieten.“ (Umweltbundesamt 2009).

Anwendungsperspektive versus Technologieperspektive

Die grünen Zukunftsmärkte können aus der Perspektive der Anwendungsfelder oder der Technologien betrachtet werden. Ein Beispiel soll diese Unterscheidung verdeutlichen: Die Studie „The China Greentech Report“ nimmt eine Unterteilung in die drei Hauptsegmente „Energy Supply“, „Resource Use“ und „Other Markets“ vor. Innerhalb dieser Leitkategorien erfolgt auf der nächsten Gliederungsebene eine Differenzierung nach Anwendungsfeldern: So werden unter „Resource Use“ die Sektoren „Green Building“, „Cleaner Transportation“ und „Cleaner Industry“ gefasst. Die einzelnen Technologielinien werden diesen Anwendungsfeldern zugeordnet.

In die andere Richtung geht der Ansatz der BMU-Studie „GreenTech made in Germany 3.0“, der die grünen Zukunftsmärkte aus der Technologieperspektive betrachtet. Hier bilden die Technologielinien (Produkte, Verfahren und Dienstleistungen) den Ausgangspunkt für die Segmentierung der Umweltwirtschaft. Sie wird in der BMU-Studie anhand von sechs Leitmärkten beschrieben (Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Wasserwirtschaft).

Betrachtung einzelner Segmente versus gesamthaftes Abbild der Umweltwirtschaft

Das Differenzkriterium bei dieser Gegenüberstellung ist die Breite des untersuchten Themenspektrums. Grundsätzlich lassen sich dabei folgende Vorgehensweisen unterscheiden: Manche Studien beschränken sich a priori auf die Betrachtung bestimmter Teilbereiche der Umweltwirtschaft. Zum Beispiel befasst sich die Studie „The Eco-Innovation Challenge: Pathways to a resource-efficient Europe“ (EIO 2011, vgl. Anhang I, S. 243) mit Innovationen zur Verbesserung der Rohstoff- und Materialeffizienz. Andere Studien beschränken zwar ihr Untersuchungsziel nicht von vornherein auf einzelne Segmente der Umweltwirtschaft, müssen den Fokus ihrer Analyse aber auf Teilaspekte verengen, weil die rudimentäre Datenlage oder Abgrenzungsprobleme eine ganzheitliche Betrachtung nicht zulassen. Viele Studien setzen den Schwerpunkt auf den Bereich Erneuerbare Energien – was bisweilen zu dem Missverständnis beiträgt, dass Umwelttechnik und Erneuerbare Energien als Synonyme aufgefasst werden.

Es gibt nur ganz wenige Studien, die eine statistisch fundierte, Gesamtdarstellung der Umweltwirtschaft abbilden wollen. Zu ihnen zählt „Measuring the Green Economy“ (US Department of Commerce 2010, vgl. Anhang I, S. 264). Die 2010 veröffentlichte Studie will einen Überblick über die Marktgröße und Entwicklung der Green Economy in den Vereinigten Staaten liefern, indem sie die Daten aus der amtlichen Statistik verwendet. Dafür wurden 22.000 Codes der US-Wirtschaftsstatistik für Produkte und Dienstleistungen der Umweltwirtschaft zugeordnet. Als Ergebnis dieses Prozesses ließen sich 500 Produkte und Dienstleistungen eindeutig der Green Economy zurechnen. Allerdings räumten die Autoren dieser Studie ein, dass die Zuordnung nach den Klassifizierungsvorgaben der Wirtschaftsstatistik problematisch sei.

Vor diesem Hintergrund scheint die Aussage gerechtfertigt, dass sich die Marktabgrenzung und Analyse der grünen Zukunftsmärkte auf Basis der klassischen Systematiken der nationalen und internationalen Wirtschaftsstatistik als nicht zielführend erwiesen haben. Die – bislang noch nicht eindeutig definierten – grünen Zukunftsmärkte erweisen sich als nicht kompatibel mit der Klassifizierung durch die üblichen Branchenschlüssel. Dafür gibt es mehrere Gründe: Die Umweltwirtschaft ist eine Querschnittsbranche, von der in der amtlichen Statistik nur ein bestimmter Teil explizit als Umwelttechnik erfasst wird. Hinzu kommt, dass nicht wenige Unternehmen, die für die Märkte der Umweltwirtschaft produzieren, den Schwerpunkt ihrer Geschäftstätigkeit in anderen Branchen haben. „Grüne“ Produkte und Dienstleistungen sind lediglich ein Teil ihres Portfolios. Diese Diversifizierung in die Umweltbranche hinein erschwert die statistische Erfassung der Umweltwirtschaft zusätzlich.

Umweltschutzgüter versus umweltfreundliche Produktion und umweltfreundlicher Konsum

Dieses Differenzierungsmerkmal wird besonders anhand der in der „Study on the Competitiveness of the EU eco-industry“ (ECORYS 2009, vgl. Anhang I, S. 245) vorgenommenen Unterscheidung zwischen „core eco-industries“ und „connected eco-industries“ deutlich. Zu den Kernsegmenten der Umweltwirtschaft zählen *demnach* „those [identifiable] sectors within the main – or a substantial part of – activities are undertaken with the primary purpose of the production of goods and services to measure, prevent, limit, minimize or correct environmental damage to water, air and soil, as well as problems related to waste, noise and eco-systems.“ Diejenigen Sektoren, die diesen Kriterien nicht entsprechen, werden als „connected eco-industries“ klassifiziert – sie weisen zwar Überschneidungen mit der Umweltwirtschaft auf, aber Umweltschutz ist nicht der Primärzweck der wirtschaftlichen Aktivität in diesen Sektoren. Dies sei am Beispiel des „Öko-Tourismus“ illustriert: Der Primärzweck Tourismus soll mit ökologisch akzeptablen Mitteln erreicht werden. Ein weiteres Beispiel: Der Primärzweck der Autoindustrie ist die Produktion und der Absatz von Fahrzeugen. Allerdings sind sowohl in der Fertigung als auch in der Betriebsphase der Autos ökologische Anforderungen zu erfüllen (etwa geringe Emissionen von CO₂ und anderen Schadstoffen, niedriger Kraftstoffverbrauch etc.).

Eine ähnliche Logik liegt der Studie „Umweltwirtschaft in Bayern“ (StMWIVT/ifo 2010, vgl. Anhang I, S. 270) zugrunde, die sich wiederum an der OECD/Eurostat-Klassifikation orientiert. Die Umweltwirtschaft wird in drei Hauptkategorien unterteilt, die als konzentrische Kreise dargestellt werden. Der innere Kreis wird als „Verschmutzungskontrolle“ bezeichnet. Er umfasst die Bereiche Abwasserbeseitigung, Abfallwirtschaft, Recycling, Sekundärrohstoffe, Luftreinhaltung, Altlastensanierung, Lärmbekämpfung sowie Mess-, Analyse- und Regeltechnik. Der zweite Kreis wird als „Saubere Technologien und Produkte“ benannt. Ihm werden „Prozessintegrierte Technologien“ und „Umweltfreundliche Produkte“ zugeordnet. Zur dritten Hauptkategorie – Ressourcenmanagement – gehören Trinkwasserversorgung und -aufbereitung, Erneuerbare Energien/nachwachsende Rohstoffe sowie rationelle Energieverwendung/Energieeinsparung.

Bei der Abgrenzung zwischen den Hauptkategorien „Verschmutzungskontrolle“ und „Saubere Technologien und Produkte“ kommt erneut die Unterscheidung zwischen Umweltschutz als Primärzweck und Umweltschutz als Mittel zur Erfüllung des Primärzwecks zum Tragen: *„Die Gruppe ‚Verschmutzungskontrolle‘ umfasst Waren und Dienstleistungen, die eindeutig einem Umweltschutzzweck dienen, leicht identifizierbar sind und auch als ‚additive‘ oder ‚nachgeschaltete‘ Umweltschutzmaßnahmen bezeichnet werden, da sie den Produktions- und Konsumtionsprozessen nachgelagert sind. Die Gruppe der ‚Sauberen Technologien und Produkte‘ umfasst dagegen Waren und Dienstleistungen, die kontinuierlich Umwelteinwirkungen reduzieren oder eliminieren, die aber in den meisten Fällen für einen anderen Zweck als den Umweltschutz angeboten werden.“* (vgl. StMWIVT/ifo 2010: 11).

Angebotsorientierte versus nachfrageorientierte Ansätze bei der Bestimmung der Marktgröße

Grundsätzlich lassen sich für die Untersuchung der Marktgröße der Umweltwirtschaft zwei methodische Ansätze unterscheiden: der angebotsorientierte Ansatz und der nachfrageorientierte Ansatz.

Angebotsorientierte Analysen erfassen durch eine Primärerhebung die Umsatz- und Beschäftigungszahlen der Anbieter von Umweltschutzgütern. Nach der NIW/Fraunhofer-Studie wird die Angebotsseite der Umweltwirtschaft folgendermaßen definiert: *„Das Angebot an Umweltschutztechnologien und –Dienstleistungen umfasst all diejenigen Unternehmen, die Güter und Dienstleistungen zur Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbelastungen anbieten.“* (vgl. NIW/Fraunhofer ISI 2011: 3) Gemäß der Studie „Umweltwirtschaft in Bayern“ besteht das inländische Angebot an Umweltschutzgütern aus sechs Komponenten: Anbieter additiver Umwelttechnik, Anbieter von umweltfreundlichen Konsumgütern, Anbieter im Ressourcenmanagement, Anbieter von Hilfs- und Betriebsstoffen, Anbieter integrierter Umwelttechnik sowie Anbieter sonstiger umweltorientierter Dienstleistungen (vgl. StMWIVT/ifo Institut 2010: 13). Die Akteure auf der Angebotsseite lassen sich durch entsprechende Verzeichnisse identifizieren, sodass Primärdaten erhoben werden können. Eine weitere Option, um im Rahmen angebotsorientierter Studien an Primärdaten zu gelangen, ist das Selbstdeklarationsprinzip. Dabei werden Daten zugrunde gelegt, die auf Anbieterseite nach dem Selbstdeklarationsprinzip recherchiert werden. Das heißt, es werden nur diejenigen Unternehmen erfasst, die sich explizit der Umweltwirtschaft zuordnen.

Diese subjektive Einschätzung kann sich als problematisch erweisen, weil die repräsentative Aussagekraft solcher Studien geschmälert wird. Außerdem bleiben bei dieser Form der Datenerhebung Vorleistungen unberücksichtigt. Hinzu kommt, dass der Charakter der Umweltwirtschaft als typische Querschnittsbranche möglicherweise nicht hinreichend

berücksichtigt wird. Die zahlreichen Überschneidungen mit klassischen Industrien, beispielsweise der Automobilindustrie, dem Maschinenbau oder der Elektrotechnik, sind durch die Primärdatenerhebung nach dem Selbstdeklarationsprinzip kaum zu erfassen, wie folgendes Beispiel illustriert: Ein Hersteller hocheffizienter Elektromotoren wird sein Unternehmen nicht unbedingt der Umweltwirtschaft zuordnen, sondern eher der Elektrotechnik.

Beim nachfrageorientierten Ansatz werden die Umweltschutzausgaben erfasst, also Umweltschutzinvestitionen, laufende Ausgaben für den Umweltschutz sowie Umweltschutzdienstleistungen. Die Daten stammen aus den amtlichen Statistiken über Ausgaben des Produzierenden Gewerbes und des Staates für den Umweltschutz (Investitionen, laufende Sachaufwendungen, laufende Personalaufwendungen sowie Fremdleistungen) (vgl. StMVIVT/ifo Institut 2010: 14). So werden durch die nachfrageorientierte Methode Beschäftigungseffekte erfasst, die über die eigentliche Umweltwirtschaft hinausgehen. Dies führt zu erheblichen Diskrepanzen, wie ein Beispiel aus der Studie „Umweltwirtschaft in Bayern“ verdeutlicht (vgl. StMVIVT/ifo Institut 2010: 13): Eine Untersuchung nach dem nachfrageorientierten Ansatz kam zu dem Ergebnis, dass 2006 in Deutschland 1,77 Millionen Beschäftigte im Bereich Umweltschutz tätig waren. Dagegen weist das Statistische Bundesamt in der Erhebung der Waren, Bau- und Dienstleistungen für dasselbe Jahr 92.395 Beschäftigte im Umweltschutz aus.

Zwischenfazit

Die Synopse der einschlägigen Studien hat gezeigt, dass derzeit keine einheitliche Definition für die Bestimmung und Abgrenzung grüner Zukunftsmärkte existiert. Es gibt weder verbindliche noch eindeutige Kriterien, welche Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Umweltwirtschaft zuzurechnen sind, sodass keine Einheitlichkeit bei der Berechnung des Marktvolumens besteht. Allein die Gegenüberstellung auf den S. 55-59 hat bereits acht verschiedene Betrachtungsweisen beschrieben, die sich jedoch auch überschneiden können.

Diese Heterogenität der Definitionsansätze geht über terminologische Diskussionen weit hinaus; vielmehr haben die Vielfalt und das Nebeneinander der Begriffe erhebliche Auswirkungen auf die Einschätzung der gesamtwirtschaftlichen Relevanz grüner Zukunftsmärkte und der Rolle im Rahmen der Transformation in Richtung einer Green Economy.

Unterschiedliche Definitionsansätze haben auch erhebliche Konsequenzen auf die Identifizierung von Trends, die sich auf den grünen Zukunftsmärkten abzeichnen. Dies gilt vor allem, wenn Entwicklungen quantifiziert werden sollen: Viele Studien verfolgen bei der quantitativen Bestimmung der grünen Zukunftsmärkte einen Top-down-Ansatz. Das heißt, auf Basis der Daten der amtlichen Statistik werden die Investitionen und Ausgaben für grüne Produkte und Dienstleistungen berücksichtigt. Dieser Top-down-Ansatz ist zwangsläufig rückwärtsgerichtet und hat zudem den Nachteil, dass die offiziellen Statistiken erst mit zeitlicher Verzögerung erhältlich sind, die je nach Land bis zu drei Jahren betragen kann. Diese Ex-post-Betrachtung, bei der aggregierte Statistikdaten nachträglich auf die Märkte der Umweltwirtschaft heruntergebrochen werden, ist demnach für die Vorhersage über künftige Entwicklungen nur bedingt geeignet. Hier bietet der „bottom-up“-Ansatz Vorteile (BMU-Studie „GreenTech made in Germany 3.0“ 2012, vgl. Anhang I, S. 248). Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, den angebots- und nachfrageseitigen Ansatz zu kombinieren und auf diese Weise die Vorteile der unterschiedlichen Methoden zu nutzen und die Nachteile zu kompensieren.

Wie dieses Zwischenfazit zeigt, wäre die Herausbildung einheitlicher Definitionen für die Bestimmung und Abgrenzung grüner Zukunftsmärkte ein wesentlicher Schritt, um deren Bedeutung für die Gesamtwirtschaft und für das Fortschreiten der grünen Transformation auf nationaler und internationaler Ebene anhand objektiver Kriterien zu bewerten. Wie die Studie „Sizing the the Clean Economy“ feststellt, ist dieses Ziel aber noch längst nicht erreicht: *„The ‘green’ or ‘clean’ or low-carbon economy – defined as the sector of the economy that produces goods and services with an environmental benefit – remains at once a compelling aspiration and an enigma.”* (vgl. Brookings 2011: 3).

Dieses ‚Rätsel‘ kann an dieser Stelle nicht vollständig gelöst werden. Dennoch soll hier eine Arbeitsdefinition gegeben werden, die beschreibt welches Verständnis der grünen Zukunftsmärkte der vorliegenden Studie zugrunde liegt:⁴ Die Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte erfolgt aus der Technologieperspektive. Den Ausgangspunkt für die Segmentierung der Umweltwirtschaft bilden Technologielinien. Darunter werden Produkte, Verfahren und Dienstleistungen ver-

⁴ Diese Arbeitsdefinition folgt dem Ansatz der Publikation „GreenTech made in Germany 3.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland“ (BMU 2012a).

standen. Diese werden bottom-up zu Marktsegmenten aggregiert, die wiederum zu sechs Leitmärkten zusammengefasst werden: Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Wasserwirtschaft. Diese Leitmärkte, die auch als grüne Zukunftsmärkte bezeichnet werden (vgl. BMU 2012d: 8), stellen ein gesamthafes Abbild der Umweltwirtschaft dar und werden damit dem Charakter der Umweltwirtschaft als Querschnittsbranche gerecht. Die Technologielinien, die den sechs Leitmärkten zugrunde liegen, umfassen Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die sowohl dem additiven Umweltschutz dienen (das heißt, der Produktion/dem Konsum nachgelagerten Beseitigung umweltschädlicher Auswirkungen) als auch prozessintegrierte Technologien und umweltfreundliche Produkte.

2.1.2.2 Dynamik und Trends

Aus den betrachteten Studien lassen sich fünf Kernaussagen ableiten, in denen die Dynamik und Trends auf den grünen Zukunftsmärkten prägnant beschrieben werden:

- ▶ Der Blickwinkel auf grüne Zukunftsmärkte hat sich verändert – Themen wie Energieeffizienz, Klimaschutz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz rücken in den Fokus;
- ▶ Schwellenländer etablieren sich als neue Akteure auf den grünen Zukunftsmärkten;
- ▶ Es kristallisieren sich technologische Schwerpunkte bzw. Stärken in einzelnen Ländern und Regionen heraus;
- ▶ Das Wachstum der grünen Zukunftsmärkte hat die Prognosen übertroffen;
- ▶ Einige Technologien bzw. Submärkte wachsen in Zukunft besonders dynamisch.

Die Kernaussagen beschreiben sowohl qualitative Veränderungen, die sich in den letzten Jahren weltweit in der Umweltwirtschaft ergeben haben, als auch Trends und Prognosen, die sich aus der Synopse für die mittel- und langfristige Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte ableiten lassen.

Der Blickwinkel auf grüne Zukunftsmärkte hat sich verändert – Themen wie Energieeffizienz, Klimaschutz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz rücken in den Fokus

Die weltweit wachsende Nachfrage nach Ressourcen spiegelt sich in der Preisentwicklung für energetische und industrielle Rohstoffe wider. Vor diesem Hintergrund gewinnen Effizienztechnologien immer mehr an Bedeutung.⁵ An dieser Entwicklung wird deutlich, dass ökonomische Motive wesentlich zur Expansion der grünen Zukunftsmärkte beitragen werden. Der vermeintliche Antagonismus bzw. Zielkonflikt von Ökologie und Ökonomie ist, zumindest bei einer mittel- und langfristigen Betrachtung, in Auflösung begriffen – so die Einschätzung in der Mehrzahl der betrachteten Studien.

Die Themen und Zielsetzungen der Studien zeigen auch, dass sich die Schwerpunkte in der Umweltpolitik verschoben haben (NIW/Fraunhofer ISI 2011, vgl. Anhang I, S. 272): In den 1980er und 1990er Jahren spielten „End-of-Pipe“-Technologien, etwa zur Luftreinhaltung oder für den Gewässerschutz, eine wesentliche Rolle. Allmählich wurden diese additiven Umweltschutzmaßnahmen, die den Produktions- und Konsumtionsprozessen nachgelagert sind, von integrierten Umweltschutztechniken ergänzt bzw. verdrängt. Integrierte Lösungen und Produkte tragen bereits während des Produktionsprozesses zu einer Vermeidung bzw. Minderung von schädlichen Umweltwirkungen bei (StMWIVT/ifo 2011, vgl. Anhang I, S. 270).

Seit der Jahrtausendwende nimmt der Kampf gegen die globale Erwärmung eine Spitzenposition auf der umweltpolitischen Agenda ein: Der Klimaschutz hat sich weltweit zu einem zentralen Thema für Politik und Wirtschaft entwickelt. Diesen Trend reflektieren zahlreiche Studien: Es fällt auf, dass sich der Fokus stärker auf Klimaschutztechnologien richtet, die der Reduktion bzw. Vermeidung von CO₂-Emissionen dienen. Die Studie „Ausgewählte Indikatoren zur Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimawirtschaft im internationalen Vergleich: Produktion, Außenhandel, Umweltforschung und Patente“ (NIW/ Fraunhofer ISI 2011, vgl. Anhang I, S. 272/272) untermauert diese These unter anderem anhand der Entwicklung des deutschen Außenhandels und der Patentanmeldungen.

⁵ Im Zusammenhang mit der Verbesserung der Energie- sowie der Rohstoff- und Materialeffizienz muss auf den Rebound-Effekt hingewiesen werden. Demnach werden Einsparungen, die durch eine Steigerung der Effizienz entstehen, durch verstärkte Nutzung und Konsum überkompensiert, so dass eine Verbesserung der Effizienz nicht zwangsläufig zu einer Umweltentlastung führt.

Schwellenländer etablieren sich als neue Akteure auf den grünen Zukunftsmärkten

Nicht nur in den klassischen Industrien spielen Schwellenländer eine immer wichtigere Rolle, sondern auch bei Umwelttechnologien. Diese Entwicklung lässt sich auf mehrere Faktoren zurückzuführen: Zum einen hat das hohe Tempo der Industrialisierung und das rasante Wirtschaftswachstum zu einem immensen Anstieg des Ressourcenbedarfs sowie zu gravierenden Umweltschäden geführt. Es besteht also Handlungsdruck für die betreffenden Länder, Lösungen für Ressourceneffizienz und Umweltschutzmaßnahmen zu entwickeln. Zum anderen ist einigen Schwellenländern durchaus bewusst, dass sich die Umweltwirtschaft zu einem strategisch wichtigen Zukunftsmarkt entwickelt, den gerade exportorientierte Volkswirtschaften wie die Volksrepublik China oder die Republik Korea nicht vernachlässigen wollen. So hat beispielsweise China den Ausbau grüner Technologien im 2011 verabschiedeten 12. Fünfjahresplan verankert und entsprechende staatliche Förderprogramme für die betreffenden Industrien aufgelegt (China Greentech Initiative 2011, vgl. Anhang I, S. 265).

Auch eine Betrachtung der Investitionen in umweltfreundliche Erneuerbare Energien zeigt, dass Brasilien, China und Indien bedeutende Akteure auf den grünen Zukunftsmärkten sind: Im Jahr 2010 werden die weltweiten Neuinvestitionen in umweltfreundliche Energien auf die Rekordhöhe von bis zu 200 Milliarden USD veranschlagt (2009: 162 Milliarden USD) (PEW 2011, vgl. Anhang I, S. 249-249; UNEP 2011, vgl. Anhang I, S. 241). Daran hatten Brasilien, China und Indien einen beträchtlichen Anteil.

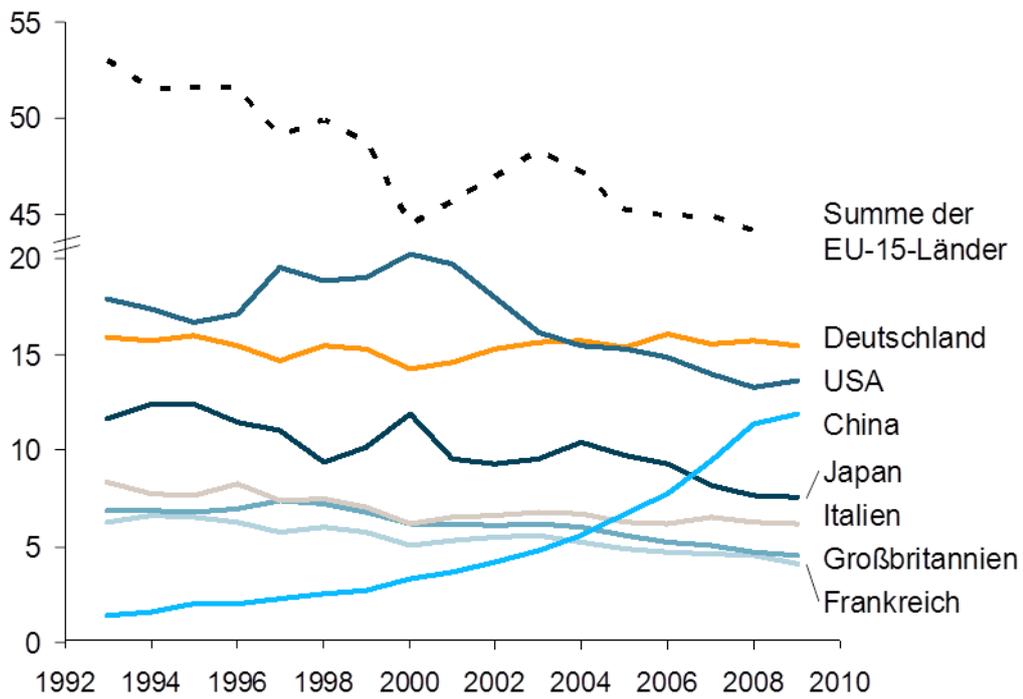
Im Jahr 2010 investierte China rund 54,4 Milliarden Dollar in die Umweltwirtschaft – mit diesem Betrag war die Volksrepublik weltweit der größte Investor im Bereich Umweltwirtschaft. Diese Mittel sind in alle Greentech-Sektoren geflossen, von den Erneuerbaren Energien (Zubau von 45 GW Windenergie) über die Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene (Erweiterung des Streckennetzes für Hochgeschwindigkeitszüge um rund 8.400 km) bis hin zur Abwasserbehandlung (Verdreifachung der Zahl der kommunalen Kläranlagen) (China Greentech Initiative 2011, vgl. Anhang I, S. 265).

Neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien (Windkraft und Solarenergie) setzt Indien einen umweltpolitischen Schwerpunkt auf die Verbesserung der Wasserversorgung. Es werden voraussichtlich bis Ende 2012 rund 9 Milliarden EUR in die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung investiert (UNESCAP 2010, vgl. Anhang I, S. 274).

Aus der Perspektive der europäischen Anbieter bestätigt sich diese Verschiebung der Kräfteverhältnisse auf dem Markt der Umweltwirtschaft. Unternehmen aus Europa sehen sich einer zunehmend stärkeren Konkurrenz der Wettbewerber aus den Schwellenländern ausgesetzt. Diese Entwicklung spiegelt sich in Abbildung 1 wider; insbesondere der steile Anstieg der Anteile der Volksrepublik China am Welthandel für potenzielle Umweltschutzgüter vermittelt einen Eindruck über den Trend im globalen Wettbewerb. Ein Blick auf die Außenhandelsstruktur (Import-/Exportrelation) Deutschlands zeigt, dass insbesondere im Bereich der Erneuerbaren Energien steigende Importzahlen mit dem Verlust von Marktanteilen im Inland einhergehen (NIW/Fraunhofer 2011, vgl. Anhang I, S. 272).

Deutschland blieb 2009 mit einem Anteil von 12,8% am Welthandel mit potenziellen Klimaschutzgütern (darunter fasst die NIW/Fraunhofer ISI-Studie vielfältige Technologien aus den Bereichen Erneuerbare Energien, rationelle Energienutzung und -umwandlung; vgl. Anhang I, S. 279) fast gleichauf mit den USA (12,7%). Damit war Deutschland nach China (Welthandelsanteil 14,4%) weltweit der zweit-größte Exporteur. China hatte 2008 die USA von der Spitzenposition verdrängt. Bereits mit deutlichem Abstand folgte Japan (8,5 %) vor Italien und Großbritannien (jeweils gut 4 %) und Frankreich (3,7 %).

Abbildung 1: Welthandelsanteile der größten Anbieter von potenziellen Umweltschutzgütern 1993 bis 2009 (in %)



Es kristallisieren sich technologische Schwerpunkte bzw. Stärken in den einzelnen Ländern heraus

Auf der Anbieterseite der Umweltwirtschaft ist zu beobachten, dass sich in den einzelnen Ländern technologische Schwerpunkte und spezifische Stärken ausgebildet haben. Die Treiber für diese Entwicklung sind vielfältig und in den jeweiligen Staaten bzw. Regionen unterschiedlich ausgeprägt: Politische Förderprogramme, bereits bestehende Wirtschaftsstrukturen, besondere Umweltherausforderungen und Umweltverhältnisse, der Grad der Einbindung der Privatwirtschaft, FuE-Ausgaben und strategische Entscheidungen sind als wesentliche Faktoren zu nennen. Der folgende Überblick bildet skizzenhaft anhand bestimmter Beispiele die Stärken ausgewählter Länder in der Umweltwirtschaft ab. Maßgebliches Kriterium für die Auswahl der jeweils genannten Schwerpunkte bzw. Stärken ist dabei die Dynamik bei der Entwicklung der Anteile am globalen Marktvolumen. Zur Verdeutlichung ein Beispiel: Deutsche Anbieter sind in vielen Segmenten der Umweltwirtschaft gut positioniert, beispielsweise bei den Erneuerbaren Energien oder in der Wasserwirtschaft. Als Schwerpunkte werden im Folgenden aber nur Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz genannt. Der Grund für diese Selektion ist, dass Deutschland seine Anteile am globalen Marktvolumen in diesen beiden Leitmärkten in den letzten Jahren signifikant erhöhen konnte: 2007 lag der Anteil deutscher Unternehmen am globalen Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz bei 6%, 2011 bei 12%. Im selben Zeitraum konnten Anbieter aus Deutschland ihren Weltmarktanteil im Leitmarkt Energieeffizienz von 12% auf 14% ausbauen (vgl. BMU 2012a: 35f.).

Deutschland – Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Energie- und Materialeffizienz in Ländern mit starkem Produktionsanteil höher ist als in Staaten, in deren Volkswirtschaft das Verarbeitende Gewerbe eine geringere Bedeutung hat. Deutschland hat mit Abstand die höchsten Anteile an Firmen, die Innovationen rund um die Material- und Energieeffizienz umgesetzt haben. Dies zeigt, dass bei deutschen Unternehmen das Thema zunehmend eine Schlüsselrolle spielt. Deutschland ist führend und stellt innovative Produkte, Verfahren und Dienstleistungen her, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen. Dabei ist zu erwarten, dass die Verflechtung zwischen Umweltwirtschaft und klassischen Industrien weiter zunimmt (BMU 2012, vgl. Anhang I, S. 248; ECORYS 2009, vgl. Anhang I, S. 245).

China – Erneuerbare Energien

Der 12. Fünfjahresplan (2011-2015) zeigt, dass die politische Führung der Volksrepublik China der Energie- und Umweltpolitik einen hohen Stellenwert beimisst. Der aktuelle Fünfjahresplan enthält nicht nur Vorgaben zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Senkung der CO₂-Intensität, sondern auch ambitionierte Ziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Bis 2015 soll die installierte Leistung an Windenergie 110 GW (Zubau von 70 GW) erreichen (vgl. China Greentech Initiative 2011: 77). Insgesamt wird für die installierte Leistung von Windenergie, Solarenergie und Biomasse für 2015 die Zielmarke von 200 GW angestrebt; das entspricht einer Vervierfachung innerhalb von fünf Jahren.

Die Windenergie hat sich in China mit exorbitanten Wachstumsraten entwickelt: 2004 lag die installierte Leistung bei rund 1 GW, zum Jahresende 2010 betrug sie 44,7 GW. Diese Entwicklung ließ eine starke heimische Windindustrie entstehen. Deren Unternehmen decken etwa 80% des chinesischen Marktes für Windturbinen ab (China Greentech Initiative 2011: 80). Die chinesische Energiepolitik setzt künftig stark auf die Erschließung des Offshore-Segments. Sein Windpotenzial wird auf 750 GW geschätzt (vgl. China Greentech Initiative 2011: 80).

Im Bereich Photovoltaik zählt China zu den führenden Anbietern: Vier der fünf größten Hersteller von PV-Modulen kommen heute aus China. Die meisten Module sind derzeit für den Export bestimmt, jedoch möchte China die installierte Leistung im eigenen Land bis 2020 verzehnfachen. Die Sicherung der Energieversorgung sowie der Ausbau der Erneuerbaren Energien stellen hohe Anforderungen an die Infrastruktur, insbesondere an das Stromnetz. Im Jahr 2010 bezifferten sich die chinesischen Investitionen in Erneuerbare Energien, Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowie in ein Smart Grid auf 54,5 Mrd. USD (vgl. China Greentech Initiative 2011: 75).

Neben den Erneuerbaren Energien setzt China bei Investitionen im Bereich Umweltwirtschaft noch andere Technologie-Schwerpunkte. Diese Technologien adressieren vor allem Lösungen für die Umweltprobleme, die aus dem rasanten Tempo der Industrialisierung in der Volksrepublik resultieren (Urbanisierung, Verschmutzung von Luft und Gewässern, Bauboom).

Japan – Alternative Antriebstechnologien, Speichertechnologien

Die Stärke Japans liegt insbesondere im Bereich alternativer Antriebstechnologien. So hatte Japan im Zeitraum 2000 bis 2008 einen Anteil von 40% an den weltweiten Patentanmeldungen für Elektro- und Hybridfahrzeuge. Aktuell gilt Japan als einer der höchstentwickelten Märkte für batterieelektrische Fahrzeuge und Hybridfahrzeuge: Die Grundlage dafür bilden Autohersteller und Batteriehersteller sowie eine relativ gut ausgebaute Ladeinfrastruktur. Ende 2011 gab es in dem Land über 800 Schnellladestationen (vgl. NPE 2012: 57). In dem mit alternativen Fahrzeugantrieben eng verwandten Technologiebereich der Energiespeicherung gehört Japan ebenfalls zu den führenden Nationen auf dem Weltmarkt. Bei den Patentanmeldungen im Bereich effiziente Gebäudetechnik und Beleuchtung hält Japan zwischen 2000 und 2008 einen Anteil von 33%, im Bereich Erneuerbare Energien von 10% (Capozza (OECD) 2011, vgl. Anhang I, S. 268).

Indien – Abfallwirtschaft, Erneuerbare Energien

Die Umweltverschmutzung durch Müll zählt zu den ökologischen Hauptproblemen Indiens. Als Konsequenz hat sich der Abfallsektor als eine in Indien führende Umwelttechnologie etabliert. Eine positive Entwicklung ist hier der Einsatz von Plastik-Recycling, biologisch abbaubarem Plastik und der Einsatz von Umwelttechnologien zur Nutzung von Stahlwerksabfällen (VDI Technologiezentrum 2010, vgl. Anhang I, S. 255).

Indien ist sehr aktiv bei der Entwicklung und Produktion von Technologien zum Ausbau der Erneuerbaren Energien, insbesondere der Solarenergie und der Windkraft. Im Rahmen des Programms „Solar Mission“ sollen bis 2022 Kapazitäten für die Erzeugung von Solarstrom im Umfang von 20 GW aufgebaut werden; außerdem ist die Installation von 17 Millionen Quadratmetern Kollektorfläche für die solare Warmwasserbereitung vorgesehen (vgl. BMU 2012a: 27).

Brasilien – Biokraftstoffe

Durch die große, fast vollständig in der tropisch-feuchten Klimazone gelegene Landmasse verfügt Brasilien über gute Bedingungen für die Produktion von Biomasse und Ethanol in großem Maßstab. Brasilien zählt zu den weltweit führenden Produzenten von Ethanol, das überwiegend aus Zuckerrohr gewonnen wird. Auf dieser Basis konnte das latein-amerikanische Land eine starke Position bei Biokraftstoffen aufbauen.⁶ Hinzu kommen zielgerichtete staatliche Förderprogramme und eine hohe Nachfrage nach Flex-Fuel-Fahrzeugen, die sowohl mit Biokraftstoff als auch mit Benzin betrieben werden können (Conservação Internacional 2011, vgl. Anhang I, S. 267).

⁶ Diese Entwicklung hat jedoch eine negative Kehrseite: Aus der zunehmenden Nachfrage nach Biomasse zur Gewinnung von Biokraftstoffen (vor allem Zuckerrohr) resultiert eine Ausdehnung der landwirtschaftlichen Anbauflächen, die in vielen Fällen zulasten des Ökosystems Regenwald geht. Im Zeitraum 2000 bis 2010 wurden jährlich 2,6 Millionen Hektar des Amazonas-Regenwaldes zerstört. Hinzu kommt, dass der Anbau von Biomasse im Wesentlichen in Monokulturen erfolgt und den Einsatz von Pestiziden erfordert.

Das Wachstum der grünen Zukunftsmärkte hat die Prognosen übertroffen

Die BMU-Studien „GreenTech made in Germany“ verfolgen seit 2006 die dynamische Entwicklung der nationalen und internationalen Märkte für Umwelttechnik. In der ersten Studie wurde das globale Marktvolumen für Umwelttechnologien auf 990 Milliarden EUR beziffert. Im Jahr 2007 wurde bereits ein Volumen von 1.383 Milliarden EUR erreicht. Für den Zeitraum 2007 bis 2010 wurde ein jährliches durchschnittliches Wachstum (CAGR – Compound annual growth rate) von 6,5% prognostiziert, sodass das Marktvolumen 2010 die Marke von 1.670 Milliarden EUR erreichen sollte. Tatsächlich sind die grünen Zukunftsmärkte zwischen 2007 und 2010 jedoch mit einer CAGR von 11,8% gewachsen, sodass sie mit einem globalen Marktvolumen von 1.930 Milliarden EUR die ursprüngliche Prognose weit hinter sich ließen.

Im Jahr 2011 bezifferte sich das Volumen der internationalen Umwelttechnologie-Märkte auf 2.044 Milliarden EUR. Es verteilt sich auf die sechs Leitmärkte Energieeffizienz (mit einem Volumen von 720 Milliarden EUR der größte Leitmarkt), Nachhaltige Wasserwirtschaft, Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Nachhaltige Mobilität, Rohstoff- und Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft. Bei der Bestimmung dieser Leitmärkte – und folglich auch bei der Berechnung der Volumina – geht die BMU-Studie von der Technologieperspektive aus (vgl. Anhang I, S. 248) und bezieht Querschnittsbereiche mit ein.

Die Prognosen für den Zeitraum bis 2025 lassen weiterhin ein dynamisches Wachstum der grünen Zukunftsmärkte erwarten: Weltweit werden die sechs Leitmärkte im Jahr 2025 ein Gesamtvolumen von 4.400 Milliarden EUR erreichen. Das entspricht zwischen 2011 und 2025 einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 5,6%. Es zeichnet sich ab, dass sich zwei Leitmärkte in diesem Zeitraum mit besonders hohen Wachstumsraten entwickeln werden: Der Markt für umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung wird voraussichtlich ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 9,1% verzeichnen, Rohstoff- und Materialeffizienz wird mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 7,7% zulegen.

Einige Technologien bzw. Submärkte wachsen in Zukunft besonders dynamisch

Die grünen Zukunftsmärkte haben sich insgesamt expansiv entwickelt. Die differenzierte Betrachtung im Rahmen der Synopse zeigt, dass sich innerhalb der Umweltwirtschaft einzelne Technologien bzw. Submärkte herauskristallisieren, die sowohl ein hohes Wachstumstempo als auch erhebliche Umweltentlastungspotenziale erwarten lassen. Die Identifizierung basiert auf der Auswertung der einschlägigen Studien. Ein Kriterium war beispielsweise die Häufigkeit, mit der bestimmte Technologien in der analysierten Literatur thematisiert wurden; ein weiteres Kriterium für die Auswahl war die Marktentwicklung. Berücksichtigt wurden Technologien und Submärkte, die besonders hohe Wachstumsraten zu verzeichnen hatten und auch in Zukunft erwarten lassen.

Alternative Antriebstechnologien

Der Transportsektor ist derzeit noch weitgehend vom Öl abhängig. Angesichts der Endlichkeit und des Preisanstiegs für diesen fossilen Energieträger ist eine zunehmende Nachfrage nach alternativen Antriebstechnologien zu erwarten. In der HSCB-Studie „Sizing the Climate Economy“ werden die Wachstumsperspektiven für Hybrid- und Elektrofahrzeuge besonders hervorgehoben: Das Marktvolumen wird auf 473 Milliarden USD im Jahr 2020 geschätzt.

Erneuerbare Energien und umweltschonendere Nutzung fossiler Brennstoffe

In den meisten im Rahmen der Synopse analysierten Studien dominiert im Kontext Energieversorgung der Bereich Erneuerbare Energien. Technologien, die das Potenzial besitzen, Emissionen von konventionell befeuerten Kraftwerken zu mindern, werden häufig vernachlässigt. Durch die rasanten Fortschritte beim Ausbau der Erneuerbaren Energien werden Kohle, Erdgas und Erdöl in den nächsten Jahrzehnten im globalen Energiemix in ihrer Bedeutung immer stärker abnehmen. Dort, wo diese konventionellen Energien aber zunächst weiterhin verwendet werden, können Technologien als Übergangslösung dienen, die die Emissionen von konventionell befeuerten Kraftwerken mindern.

Effizienztechniken im industriellen Sektor

Viele der betrachteten Studien benennen einen klaren Trend auf den grünen Zukunftsmärkten, der weg von End-of-Pipe-Technologien hin zu prozessintegrierten Technologien führt. Neue intelligente und effiziente Produktionsverfahren werden als erfolgs-kritischer Faktor im Wettbewerb immer wichtiger. Diese Aussage gilt in Bezug auf die Energieeff-

fizienz insbesondere für stromintensive Industrien wie Papier- und Pappeherstellung, Metallherzeugung, Verarbeitung von Erden und Steinen sowie Grundstoffchemie. In diesen Branchen haben die Stromkosten einen erheblichen Anteil am Bruttoproduktionswert (3% bis 6%), deshalb sind die Unternehmen hoch motiviert, steigenden Energiekosten durch eine Verbesserung der Energieeffizienz entgegenzuwirken. Beispielsweise ist in der metallherzeugenden Industrie mittels effizienter Gießmaschinen sowie Erwärmungs- und Warmhalteanlagen bis 2050 eine Effizienzsteigerung von bis zu 37% möglich. Das Potenzial für Effizienzsteigerung in der Grundstoffchemie durch den Einsatz von optimierten Maschinen wird bis 2050 ebenfalls auf 37% veranschlagt (vgl. BMU 2012a: 69).

Etwa 20% der derzeit eingesetzten Rohstoffe könnten in den klassischen Industrien eingespart werden (vgl. BMU 2012a: 87f.). Vor allem Unternehmen aus ressourcenintensiven Branchen wie der Metallindustrie, der Baustoffherstellung und der Chemieindustrie haben innovative Ansätze zur Verbesserung der Materialeffizienz entwickelt. Beispiele sind ein neues Verfahren zur Zementherstellung, ein Verfahren zur Reduktion des Verschnitts beim Stanzen aus Blechtafeln sowie Prozessoptimierungen, um den Verbrauch von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen zu senken.

Speichertechnologien

Als Folge des steigenden Anteils der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung kommt den Speichertechnologien eine Schlüsselrolle bei der Umgestaltung der Energieversorgung zu. In diesem Zusammenhang wurde in vielen Studien auch die wachsende Bedeutung von Smart-Grid-Technologien thematisiert. China investiert hier 530 Milliarden USD bis 2020. Die HSBC-Studie „Sizing the Climate Economy“ geht bis zum Jahr 2020 von einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate für Speichertechnologien von 15% aus.

Energieeffizienz von Gebäuden

Im Bereich Energieeffizienz von Gebäuden prognostiziert die HSBC-Studie bis 2020 ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 10%. Die BMU-Studie „GreenTech made in Germany 3.0“ geht davon aus, dass der Markt für Niedrigenergie-/Passivhäuser bis 2025 durchschnittlich um 11% pro Jahr wächst. Hohe Zuwachsraten sind auch bei der intelligenten Gebäudeleittechnik zu erwarten, die in den nächsten Jahren die klassische Gebäudeleittechnik verdrängen wird.

Stoffliche Abfallverwertung

Das Thema Wiederverwertung (Recycling) rücken viele der betrachteten Studien deutlich in den Vordergrund. Künftig wird vor allem bei metallischen Rohstoffen die Attraktivität von Recycling-Lösungen zunehmen, um eine Verfügbarkeit dieser Ressourcen zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen sicherzustellen. Das Leitbild einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft strebt nach geschlossenen Kreisläufen (Full-Cycle-Konzept): Nach dem Prinzip natürlicher Ökosysteme entsteht kein „Müll“, sondern alle Stoffe werden am Ende ihres Lebenszyklus in wiederverwertbare Ressourcen verwandelt. Die Fortschritte der Recycling-Technologien leisten einen großen Beitrag, um diesem Ideal näherzukommen: Recyclate, beispielsweise von Kunststoff, erreichen immer höhere Reinheitsgrade. Diese Qualitätsverbesserung vergrößert das Einsatzspektrum von Recyclaten erheblich.

Die EIO-Studie „Eco-Innovation Challenge“ weist auf den stetig wachsenden Bedarf nach Metallen für die Produktion hin. Hier geht es insbesondere um die Metalle Tellurium (Solar), Indium (Liquid Crystal Display – LCD) und Gallium (Light-emitting diode – LED u. Dünnschicht-Solarzellen). „Seltene Erden“ (beispielsweise für Katalysatoren, Magnete), Lithium (Batterien, Keramik/Glas, Hybrid-/ Elektrofahrzeuge) und Kobalt (Lithium-Ionen-Batterien, synthetische Brennstoffe) werden an Bedeutung gewinnen. Daher stehen Technologien zur Herstellung und Wiedergewinnung dieser Rohstoffe weltweit zunehmend im Fokus.

2.1.2.3 Messung der grünen Transformation

Grundlagen und Zielsetzung dieses Kapitels

In Kapitel 2.1.2.1 wurde auf unterschiedliche Definitionen für den Begriff „grüne Zukunftsmärkte“ eingegangen und eine Arbeitsdefinition eingeführt (siehe S. 60). Eine Gemeinsamkeit der dargestellten Definitionsansätze besteht darin, dass sie die grünen Zukunftsmärkte als Wirtschaftssektor auffassen, das heißt als Teil einer Volkswirtschaft.

Dagegen hat der Begriff Green Economy eine grundsätzlich andere Bedeutung: Gemäß der Definition des BMU und des UBA (vgl. BMU 2012f: 58) ist die Green Economy „ein Konzept, das dem Leitbild einer umweltverträglichen Wirtschaft folgt, Ökologie und Ökonomie positiv miteinander verbindet und dadurch die gesellschaftliche Wohlfahrt steigert. Die Green Economy fördert umweltverträgliches Wachstum, indem die ökologischen Grenzen anerkannt und ökonomische Knappheiten und Kosten antizipiert werden. Auf diese Weise sichert die Green Economy auch die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschlands. [...] Das Konzept der Green Economy ist eingebettet in das übergeordnete Leitbild der nachhaltigen Entwicklung und konkretisiert es zugleich. Dabei steht das Verhältnis zwischen Ökonomie und Ökologie im Mittelpunkt; es werden jedoch auch soziale Auswirkungen adressiert.“ Die Green Economy charakterisiert eine mit Natur und Umwelt in Einklang stehende, innovationsorientierte Volkswirtschaft, die folgende Merkmale erfüllt:

- ▶ Vermeidung schädlicher Emissionen und Schadstoffeinträge in alle Umweltmedien;
- ▶ Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft; regionale Stoffkreisläufe werden so weit wie möglich geschlossen;
- ▶ absolute Senkung des Einsatzes nicht erneuerbarer Ressourcen, insbesondere durch eine effizientere Nutzung von Energie, Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen, und die Substitution nicht-erneuerbarer Ressourcen durch nachhaltig erzeugte erneuerbare Ressourcen;
- ▶ Energieversorgung basiert langfristig ausschließlich auf Erneuerbaren Energien;
- ▶ Erhaltung, Entwicklung und Wiederherstellung der biologischen Vielfalt sowie von Ökosystemen.

Vor dem Hintergrund der jüngsten Krisen auf den Finanzmärkten und im Kontext von „Rio +20“, der Folgekonferenz des „Erdgipfels“ (UNCED) von Rio de Janeiro 1992, hat die Diskussion über das Leitbild Green Economy und seine Verwirklichung an Aktualität gewonnen. Die Teilnehmerstaaten haben im Abschlussdokument „The Future We Want“ erstmals anerkannt, dass die Green Economy ein zentrales strategisches Instrument zur Erreichung nachhaltiger Entwicklung ist. Wörtlich heißt es in der Abschlusserklärung: „*We affirm that there are different approaches, visions, models and tools available to each country, in accordance with its national circumstances and priorities, to achieve sustainable development in its three dimensions which is our overarching goal. In this regard, we consider green economy in the context of sustainable development and poverty eradication as one of the important tools available for achieving sustainable development and that it could provide options for policymaking but should not be a rigid set of rules. We emphasize that it should contribute to eradicating poverty as well as sustained economic growth, enhancing social inclusion, improving human welfare and creating opportunities for employment and decent work for all, while maintaining the healthy functioning of the Earth's ecosystems.*“ (vgl. United Nations General Assembly 2012: 9)

Die politische Einschätzung zum Abschlussdokument der Rio-Konferenz fällt differenziert aus. Positiv bewertet wird, dass „grundlegende, wichtige Weichenstellungen für die globale Umsetzung der Nachhaltigkeitsagenda vorgenommen worden, auch wenn bei weitem nicht alle Zielsetzungen Deutschlands und der EU durchgesetzt werden konnten.“ (vgl. BMU 2012c). Beispielsweise wurde die Formulierung von universell gültigen Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals, SDGs), deren Umsetzung die Staaten mit Indikatoren und Berichten dokumentieren sollen, auf 2014 verschoben. Daran wird deutlich, dass das Leitbild der Green Economy an sich zwar kaum infrage gestellt wird, jedoch unterschiedliche Vorstellungen über die Konkretisierung und Umsetzung existieren.

Die Entwicklung vom Status quo hin zu einer Green Economy wird als grüne Transformation bezeichnet. Einige der in der Synopse berücksichtigten Studien befassen sich intensiv mit den Veränderungsprozessen, die Volkswirtschaften auf der Makro- und Mikroebene durchlaufen müssen, um das Ziel der Green Economy zu erreichen. Der Übergang zu einer Green Economy betrifft alle Sektoren der Wirtschaft: Die klassischen Branchen, beispielsweise Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeugbau, Chemieindustrie, müssen stärker als bisher auf die Anforderungen ausgerichtet werden, die sich aus den Megatrends Klimawandel und Ressourcenknappheit ergeben. Im Rahmen dieses Wandels spielen die grünen Zukunftsmärkte eine Schlüsselrolle, weil sie mit ihren Produkten, Verfahren und Dienstleistungen zur Lösung dieser großen ökologischen Herausforderungen beitragen können.

Systematik zur Identifikation von Messgrößen

Wenn die Green Economy als Leitbild akzeptiert wird, an dem sich die wirtschaftliche Entwicklung orientieren soll, stellt sich sowohl auf der makro- als auch auf der mikroökonomischen Ebene die Frage, wie weit die Transformation in Richtung dieses Leitbilds bereits fortgeschritten ist. Valide Antworten erfordern ein Messsystem, das auf einheitlichen

Kriterien und Indikatoren basiert. Zu den Anforderungen, die Indikatoren unbedingt erfüllen müssen, zählt Richtungssicherheit. Außerdem muss dieses Messsystem in der Lage sein, die Transformation sowohl in den grünen Zukunftsmärkten als auch in den klassischen Wirtschaftszweigen und auf der Ebene der gesamten Volkswirtschaft abzubilden.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird ein Vorschlag präsentiert, anhand welcher Indikatoren ein ganzheitliches System zur Bestimmung und Messung der grünen Transformation konzipiert werden soll. Dazu wurde zunächst gesichtet, welche Indikatoren bereits herangezogen werden. Bei dieser Bestandsaufnahme werden sowohl die makro- als auch die mikroökonomische Ebene berücksichtigt: Zum einen wurden die einschlägigen Studien daraufhin analysiert, welche Messgrößen für die Bestimmung der grünen Transformation verwendet werden (vgl. Zusammenfassung der Studien im Anhang). Zum anderen wurde recherchiert, welche Messgrößen und Indikatoren Unternehmen im Rahmen ihres Nachhaltigkeitsmanagements einsetzen. Dafür wurden unter anderem Interviews mit Experten aus verschiedenen Unternehmen geführt. Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Auswertung der Studie und den Gesprächen werden in den folgenden Absätzen kurz dargestellt.

Messgrößen in einschlägigen Studien

In vielen der im Rahmen der Synopse betrachteten Studien wird der Wandel zu einer Green Economy beschrieben. Als wichtiger Treiber dieses Wandels – und damit als Indikator der grünen Transformation – gelten Investitionen in grüne Technologien. Unterschieden werden dabei staatliche und unternehmensbezogene Investitionen. Einige Banken dokumentieren zudem das Engagement von Risikokapitalgebern auf den grünen Zukunftsmärkten, das Aufschluss über die Attraktivität der gesamten Branche geben soll (PEW 2011, vgl. Anhang I, S. 249; Brookings 2011, vgl. Anhang I, S. 262; China Greentech Initiative 2011, vgl. Anhang I, S. 265).

Eng verknüpft mit den Investitionen sind in vielen Studien staatliche Fördermaßnahmen. Aus Anzahl und Umfang staatlicher Programme für die Förderung der grünen Zukunftsmärkte werden Schlussfolgerungen für die Fortschritte auf dem Weg in Richtung einer Green Economy gezogen (OECD 2011, vgl. Anhang I, S. 259; Eurostat 2010, Anhang I, S. 260; Conservação Internacional 2011, Anhang I, S. 267; UNESCAP 2010, Anhang I, S. 274). Dabei berücksichtigen zahlreiche Studien allerdings ausschließlich den Bereich Erneuerbare Energien.

Ein weiterer Indikator ist die Anzahl von Arbeitsplätzen in der Umweltwirtschaft. In vielen Studien wird die Bedeutung der grünen Zukunftsmärkte immer wieder an steigenden Beschäftigungszahlen festgemacht. Deutlich wird das insbesondere in den Vereinigten Staaten: Die meisten Studien, die sich mit den grünen Zukunftsmärkten in den USA befassen, stellen die Beschäftigungsstatistik in den Vordergrund (Brookings 2011, vgl. Anhang I, S. 262; US Department of Commerce 2010, vgl. Anhang I, S. 264; Eurostat 2010, vgl. Anhang I, S. 260).

Mehrfach angesprochen wurden in den einschlägigen Studien Produktivitätsparameter. Jedoch bezogen sich die Angaben zur Material-, Rohstoff- und Energieproduktivität meistens auf bestimmte Branchen. In Deutschland werden die aggregierten Produktivitätsparameter Energieproduktivität und Rohstoffproduktivität als Nachhaltigkeitsindikatoren vom Statistischen Bundesamt erhoben (EIO 2011, vgl. Anhang I, S. 243; OECD 2011, vgl. Anhang I, S. 259; Eurostat 2010, vgl. Anhang I, S. 260).

In der Mehrzahl der Studien wurden qualitative Größen als Indikatoren der grünen Transformation herangezogen. So wurden Marktsegmente genannt, in denen eine Abkehr bzw. Refokussierung von der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit von Unternehmen stattfindet. Hier sind zum Beispiel traditionelle Bergbauunternehmen zu nennen, die heute in der Abfallwirtschaft tätig sind oder große Energieversorger, die sich nunmehr im Bereich der Erneuerbaren Energien engagieren (UNEP 2011, vgl. Anhang I, S. 241; ECORYS 2009, vgl. Anhang I, S. 245; GHK 2011, vgl. Anhang I, S. 251).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Großteil der betrachteten Studien nicht den Versuch unternimmt, ein Messsystem zu entwickeln, das die grüne Transformation explizit und ganzheitlich abbilden kann. Die meisten Studien greifen als Indikatoren Einzelgrößen heraus. Es gibt jedoch auch Beispiele, die sich um die Entwicklung eines in sich konsistenten Systems aus Messgrößen bemühen. Zu ihnen gehört die OECD-Studie „Towards Green Growth: Monitoring Progress“; sie entwickelt zur Messung des „grünen Wachstums“ ein Modell aus vier Indikatorengruppen (vgl. Anhang I, S. 259). Hierbei liegt der Fokus auf „green growth“, also auf der wirtschaftlichen Dimension der grünen Transformation in Industrie- und Schwellenländern. Die GHK-Studie „Impacts of Structural Change: Implication für policies supporting transition to a Green Economy“ bildet ebenfalls Indikatorengruppen, die jeweils die Auswirkungen unterschied-

licher Treiber auf die grüne Transformation erfassen. Diesen strukturellen Treibern liegt allerdings nicht direkt ein „grüner Fokus“ zugrunde; vielmehr soll hier analysiert werden, welchen Einfluss einzelne Treiber des allgemeinen strukturellen Wandels speziell auf die Transformation in Richtung einer Green Economy haben.

Messgrößen auf der Ebene der Unternehmen

Mit Blick auf Unternehmen aus den klassischen Industrien fällt auf, dass sich viele dem Thema Nachhaltigkeit widmen. Grundsätzlich lassen sich die von den Unternehmen entwickelten Systeme zur Messung der grünen Transformation auf der mikroökonomischen Ebene in zwei Segmente einteilen. Zum einen werden Input/Output-Parameter bei der Produktion gemessen, beispielsweise der Energie- und Materialverbrauch, Schadstoffemissionen, Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch von Firmenflotten, Abfallaufkommen. Zum anderen erheben Firmen Daten, die das interne Arbeitsumfeld der Mitarbeiter betreffen, etwa Arbeitssicherheit und Krankenstand, Umfang von Weiterbildungsmaßnahmen.

Die Unternehmen sehen Nachhaltigkeitsmanagement bisher vor allem unter dem Aspekt der Risikominimierung: Das Engagement in diesem Bereich ist häufig dadurch motiviert, möglichen Nachteilen durch künftig steigende Energiekosten vorzubeugen oder präventiv Maßnahmen zu ergreifen, um Imageschäden zu vermeiden, die etwa durch Verstöße gegen Umweltauflagen entstehen könnten. Ein wesentlicher Grund, sich intensiver mit dem Thema Nachhaltigkeit auseinanderzusetzen, ist für viele Unternehmen die staatliche Regulierung: Ein Großteil der Unternehmen sieht veränderte politische Rahmenbedingungen oder Vorgaben des Gesetzgebers als Anlass, Nachhaltigkeitsaspekte verstärkt in die Prozesse und die Strategie des Unternehmens zu integrieren.

Es war festzustellen, dass für Unternehmen die Kosten-/Nutzenrelation bei Maßnahmen des Nachhaltigkeitsmanagements eine wichtige Rolle spielt. Gerade deshalb haben Messgrößen einen hohen Stellenwert, denn geeignete Indikatoren sind die Voraussetzung für die Bewertung dieser Kosten-/Nutzenrelation sowie zur Abschätzung des Umweltentlastungspotenzials konkreter Maßnahmen.

Vorstellung geeigneter Messgrößen

Die Auswertung der Studien und der Ansätze in den Unternehmen haben gezeigt, dass bislang kein Messsystem existiert, das für sich allein betrachtet in der Lage ist, durch einheitliche Kriterien und Indikatoren die grüne Transformation sowohl in einzelnen Wirtschaftszweigen als auch auf Ebene der Gesamtwirtschaft zu erfassen. Deshalb wird hier ein Vorschlag für ein System präsentiert, der den Anforderungen nach einer gesamthaften Bestimmung und Messung der grünen Transformationen gerecht zu werden versucht. Der Auswahl der Indikatoren liegt ein Verständnis der Green Economy und der grünen Transformation zugrunde, das auf der Definition dieses Konzepts gemäß der Formulierung von BMU und UBA (vgl. S. 18f.) basiert.

Es sind vor allem fünf Prozesse, die die Transformation in Richtung der Green Economy maßgeblich bestimmen: der technologische Wandel, der ökologische Wandel, der gesellschaftliche Wandel, der wirtschaftliche Wandel und der institutionelle Wandel. Einige dieser Dimensionen sind bereits in den Studien als Indikatoren der grünen Transformation aufgeführt; so benennt beispielsweise die GHK-Studie „Impact of Structural Change“ (vgl. Anhang I, S. 251) unter anderem die Indikatoren Innovationsfähigkeit von Volkswirtschaften und Unternehmen und FuE-Investitionen als Messgrößen für den technologischen Wandel. In der GHK-Studie wird der technologische Wandel als Merkmal des strukturellen Wandels allgemein betrachtet, dessen Auswirkungen auf die Entwicklung zu einer Green Economy analysiert werden. Es wird aber nicht nur die „grüne“ Dimension des technologischen Wandels hervorgehoben. Dieses Kriterium des Beitrags des technologischen Wandels zur grünen Transformation kann allerdings gut in das vorliegende Messsystem übertragen werden, indem Indikatoren zur Messung des „grünen“ technologischen Wandels auf den grünen Zukunftsmärkten und in traditionellen Wirtschaftszweigen definiert werden. Der WBGU identifiziert in seinem Hauptgutachten „Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ Schlüsselfaktoren für die Transformation, zum Beispiel „Wertewandel zur Nachhaltigkeit“, „Technologie“, „Finanzierung“ und „Steuerungsinstrumente“ (WBGU 2011). Hier liegt der Fokus nicht auf der Transformation zu einer Green Economy; im Mittelpunkt der Betrachtung befindet sich die übergeordnete nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft auf globaler Ebene. Allerdings spielen die Schlüsselfaktoren der „großen Transformation“ (zur Nachhaltigkeit) für die Einbettung der Transformation zu einer Green Economy in diesen übergeordneten Kontext der nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle und finden sich weitgehend in den hier genannten fünf Treibern der grünen Transformation wieder.

Im Rahmen dieses Projekts werden diese fünf Treiber jeweils ausführlich mit einzelnen Messgrößen hinterlegt und zu einem ganzheitlichen Messsystem kombiniert. Diesen Dimensionen des Wandels hin zur Green Economy lassen sich bestimmte Handlungsfelder zuordnen (siehe Abbildung 2), die wiederum die Auswahl geeigneter Messgrößen determinieren. Die Zuordnung der einzelnen Indikatoren lässt sich nicht in allen Fällen trennscharf vornehmen, denn die Treiber technologischer Wandel, ökologischer Wandel, gesellschaftlicher Wandel, wirtschaftlicher Wandel und institutioneller Wandel sind nicht immer eindeutig abzugrenzen. Zur Verdeutlichung ein Beispiel: Der Indikator Energieproduktivität könnte sowohl dem ökologischen als auch dem wirtschaftlichen Wandel zugerechnet werden – je nachdem, ob die Minderung des Verbrauchs von Energierohstoffen oder die Kostenreduktion für Unternehmen und Haushalte durch Energiesparen im Vordergrund der Betrachtung steht.

Abbildung 2: Vorschlag für ein ganzheitliches System zur Messung der grünen Transformation

Messgrößen für den Wandel in folgenden Teilbereichen	
 Technologischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Aus- und Weiterbildung > Forschung und Entwicklung > Staatliche FuE-Fördermaßnahmen
 Ökologischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Energie- und Materialproduktivität > Durchdringungsgrad grüner Technologien > Umweltbezogene Lebensqualität
 Gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Reflexion in der Gesellschaft > Gesellschaftliche Akzeptanz
 Wirtschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Gesamtwirtschaftliche Bedeutung grüner Produkte und Dienstleistungen > Wettbewerbsfähigkeit auf den grünen Zukunftsmärkten
 Institutioneller Wandel	<ul style="list-style-type: none"> > Veränderungen aufseiten der Akteure > Entwicklung neuer Instrumente

Quelle: Eigene Darstellung

Der im Folgenden skizzierte Ansatz eines ganzheitlichen Messsystems stützt sich im Wesentlichen auf Messgrößen, die in den bei der Synopse betrachteten Studien, in Unternehmen sowie in den amtlichen Statistiken verwendet werden. Der hier vorgestellte Vorschlag für ein Messsystem basiert also auf bereits vorhandenen Indikatoren oder auf Indikatoren, die sich mit überschaubarem Aufwand aus bereits vorhandenen Daten ermitteln lassen. Im Kern geht es darum, durch die intelligente Kombination dieser Indikatoren ein System von Messgrößen zu entwickeln, das die Erfolge und Misserfolge der grünen Transformation abbilden kann.

Dabei bietet die amtliche Statistik in Deutschland und der Europäischen Union bereits eine Vielzahl von Einzelindikatoren, die im Rahmen eines ganzheitlichen Messsystems verwendet werden können. Zur Verdeutlichung wird hier kurz auf die Nachhaltigkeitsindikatoren des Statistischen Bundesamtes (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b) und der Europäischen Union (vgl. Eurostat 2011a) eingegangen:

2002 hat die Bundesregierung die nationale Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ beschlossen. Inzwischen hat das Statistische Bundesamt vier Bestandsaufnahmen vorgelegt, um die Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie anhand eines Indikatorensets zu dokumentieren. Der 2012 veröffentlichte Bericht („Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012“) enthält 38 Einzelindikatoren. Ihre Gliederung erfolgt anhand der vier Leitlinien der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie: Generationengerechtigkeit, Lebensqualität, sozialer Zusammenhalt und internationale Verantwortung. Für ein Messsystem, das die Fortschritte der grünen Transformation abbildet, sind insbesondere diejenigen Indikatoren relevant, die konkrete Aussagen über die in Abbildung 2 dargestellten Handlungsfelder erlauben.

Dazu zählen: Energieproduktivität, Primärenergieverbrauch, Rohstoffproduktivität, Treibhausgasemissionen, Anteile Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch, Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Stromverbrauch, Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche, Artenvielfalt und Lebensqualität, Stickstoffüberschuss, Ökologischer Landbau, Schadstoffbelastung der Luft.

Die Europäische Union hat 2001 ihre Strategie zur nachhaltigen Entwicklung (sustainable development strategy) beschlossen und 2006 aktualisiert. Über die Umsetzung dieser Strategie berichtet der „EU monitoring report“. Er erscheint alle zwei Jahre (bislang 2005, 2007, 2009 und 2011) und basiert auf dem EU-Indikatorenset für nachhaltige Entwicklung (EU sustainable development indicators – SDI). Der Bericht „Sustainable development in the European Union. 2011 monitoring report of the EU sustainable development strategy“ (vgl. Eurostat 2011a) enthält über 100 Indikatoren.

Im Folgenden werden Handlungsfelder und Vorschläge für Indikatoren vorgestellt. Dabei sind die genannten Indikatoren beispielhaft zu verstehen und nicht als in sich abgeschlossene Auflistung.

Technologischer Wandel

Unter diesem Oberbegriff werden unter anderem Innovationsfähigkeit, Wissen, Aus- und Weiterbildung sowie FuE-Aktivitäten subsumiert.

Aus- und Weiterbildung

- ▶ **Anzahl der Studiengänge und Anzahl der Ausbildungsberufe in der Umweltwirtschaft:** Qualifizierte Fachkräfte sind eine grundlegende Voraussetzung für die positive Entwicklung der Umweltwirtschaft und den Fortschritt der grünen Transformation. Deshalb ist das Ausbildungsangebot sowohl im akademischen als auch im nicht-akademischen Bereich eine wichtige Messgröße. Dieser Indikator ist allerdings erst noch zu bilden, wobei zur Erhebung der Primärdaten auf Verzeichnisse der Bundesagentur für Arbeit und des Bundesinstituts für Berufsbildung zurückgegriffen werden kann. Bislang sind die Studien- und Ausbildungsangebote der Umweltwirtschaft auf Bundesebene noch nicht systematisch erfasst.
- ▶ **Anzahl der Studienabgänger in umweltschutzrelevanten Fächergruppen:** Zu den wesentlichen Voraussetzungen für den technologischen Wandel zählen qualifizierte Fachkräfte, die in der Lage sind, Innovationen zu entwickeln. Deshalb ist die Fachkräfteverfügbarkeit ein wichtiger Parameter für die Innovationsfähigkeit. Die Zahl der Absolventen der sogenannten MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) geben einen Hinweis auf die Innovationsstärke einer Volkswirtschaft. Die statistischen Daten zur Entwicklung der Absolventenzahl sind verfügbar (zum Beispiel Statistisches Bundesamt; Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung). Auf Basis der Anzahl der Studiengänge im Bereich Umweltwirtschaft lässt sich die Anzahl der Absolventen ermitteln; diese Kennzahl gibt Aufschluss über die Verfügbarkeit von Fachkräften mit Hochschulabschluss auf den grünen Zukunftsmärkten.

Forschung und Entwicklung

- ▶ **Anteil der Patentanmeldungen für grüne Technologien an den Patentanmeldungen insgesamt:** Patente sind die am weitesten verbreiteten Indikatoren für die technologische Position auf den internationalen Märkten. Patentgeschützte Erfindungen sind das Ergebnis von FuE und zielen auf die Märkte der Zukunft ab. Als Instrument des gewerblichen Rechtsschutzes sollen Patente im weiteren Verwertungsprozess neuen und verbesserten Produkten oder Produktionsverfahren zum Markterfolg verhelfen. Patente geben daher wichtige Hinweise darauf, in welchen Technologiebereichen neues, potenziell verwertbares Wissen entstanden ist (vgl. NIW/Fraunhofer ISI). Darüber hinaus ist der Anteil der Patentanmeldungen für grüne Technologien in klassischen Industrien wie dem Maschinenbau, der Elektrotechnik und der Automobilindustrie ein aufschlussreicher Indikator für die Erfassung der grünen Transformation in diesen Branchen. Statistiken über Anzahl und Entwicklung der Patentanmeldungen im In- und Ausland sind vorhanden (zum Beispiel beim Deutschen Patent- und Markenamt).
- ▶ **Anteil der Forschungs- und Entwicklungsausgaben für grüne Technologien in klassischen Industrien:** Diese Messgröße gibt an, ob und in welchem Umfang Unternehmen aus klassischen Industriezweigen Aktivitäten zur

FuE an grünen Produkten oder Verfahren vorantreiben (Daten aus Eurostat 2012: Science, Technology and Innovation in Europe. 2012 edition).

- ▶ **Durchdringung von Fachmessen mit Themen des Umweltschutzes:** Veranstaltungen, die der Transparenz und Vernetzung der Akteure auf den grünen Zukunftsmärkten dienen, sind ein geeigneter Indikator, da die Anzahl der Messen, Aussteller und Besucher Rückschlüsse auf die Dynamik der gesamten Branche ermöglicht. Entsprechende Primärdaten lassen sich ohne großen Aufwand erheben (zum Beispiel AUMA – Ausstellungs- und Messeausschuss der Deutschen Wirtschaft e.V.).

Staatliche Fördermaßnahmen zur Beschleunigung des technologischen Wandels

Unter diesen Begriff werden externe Unterstützungsmaßnahmen gefasst, die den Akteuren der Umweltwirtschaft helfen, sich durch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten weiterzuentwickeln. Dies kann beispielsweise durch Vernetzung geschehen, durch Schaffung von Transparenz, oder durch Bereitstellung von Fördermitteln. Geeignete Indikatoren für das Ausmaß der staatlichen Unterstützung sind

- ▶ **Anzahl und Investitionsvolumina** der von Bund, Ländern und Gemeinden aufgelegten grünen Förderprogramme für Forschung und Entwicklung. Dazu sind Daten auf diversen Internet-Plattformen verfügbar, zum Beispiel auf den Internet-Seiten des BMU (<http://www.bmu.de/foerderprogramme/aktuell/1762.php>), des BMBF und des BMWi; sowie in Veröffentlichungen der Umwelt- und/oder Wirtschaftsministerien der Länder.
- ▶ **Anzahl von Umweltclustern und Transferstellen**, die wichtige politische Instrumente der Wirtschaftsförderung darstellen: Sie fördern sowohl die Vernetzung der Akteure der grünen Zukunftsmärkte untereinander als auch die Diffusion grüner Technologien. Transferstellen stellen ein Bindeglied zwischen universitärer Forschung und praktischer Anwendung der Ergebnisse in der Wirtschaft dar und spielen deshalb eine wichtige Rolle bei der Innovationsförderung auf Unternehmensebene. Ansatzpunkte für die Bildung dieses Indikators bietet beispielsweise die Initiative „go-cluster. Exzellent vernetzt“ des BMWi, zu der 58 Innovationscluster aus allen Regionen Deutschlands gehören. Um die Anzahl der Transferstellen festzustellen, wäre eine Erhebung der Primärdaten anhand der Angaben der Lehrstühle umweltrelevanter Studienangebote möglich.

Ökologischer Wandel

Dem ökologischen Wandel lassen sich Handlungsfelder wie Energie- und Ressourceneffizienz, grüne Produkte und Dienstleistungen sowie umweltbezogene Lebensqualität zuordnen.

Ressourceneffizienz

Der effiziente und schonende Umgang mit vorhandenen Ressourcen ist eine der zentralen Herausforderungen bei der Transformation zur Green Economy.

- ▶ Die **Energie- und Materialproduktivität** misst den Produktoutput im Verhältnis zum Energie- bzw. Materialinput. Diese Parameter können auf der Makro- und Mikroebene berechnet werden. An einer Verbesserung der Output-/Input-Relation lässt sich der Grad der Effizienzsteigerung ablesen, der auf den Einsatz neuer Technologien und Verfahren zurückzuführen ist (zum Beispiel Statistisches Bundesamt: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland; Eurostat 2011b: Energy, transport and environment indicators. 2011 edition).
- ▶ Die Kennzahlen Energie- und Materialeffizienz bzw. Energie- und Materialproduktivität bilden das Verhältnis zwischen Output und Input ab, lassen jedoch keine Aussage über den absoluten Energie- und Materialverbrauch zu. Darüber können die Indikatoren **Primärenergieverbrauch** (Statistisches Bundesamt 2012b) sowie **Endenergieverbrauch nach Sektoren** (Eurostat 2012) Aufschluss geben.

Durchdringungsgrad grüner Produkte und Dienstleistungen

Diese Messgröße soll die Fortschritte auf dem Weg zur Green Economy bestimmen. Dabei liegt der Fokus auf dem Einsatz bzw. der Inanspruchnahme von Produkten und Dienstleistungen, während beim technologischen Wandel die Forschung und Entwicklung im Vordergrund stehen. Um den Durchdringungsgrad zu erfassen, werden relevante Daten über einen bestimmten Zeitraum hinweg betrachtet. Beispiele geeigneter Messgrößen sind:

- ▶ **Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch:** Eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung ist ein wesentlicher Bestandteil einer Green Economy. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien verringert die energetisch bedingten Treibhausgasemissionen und ist damit ein entscheidender Beitrag zum Klimaschutz. Zugleich mindert der Umstieg auf regenerative Energieträger den Verbrauch von Erdöl, Erdgas und Kohle, sodass die mit dem Abbau dieser fossilen Ressourcen einhergehenden schädlichen Umweltwirkungen reduziert werden. Da es sich bei den Erneuerbaren Energien um relativ junge Technologien handelt, fördert deren Ausbau die Innovationskraft. Vor diesem Hintergrund ist der Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch ein wichtiger Indikator der grünen Transformation (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b: 12).
- ▶ Die Verbesserung der Rohstoff- und Materialeffizienz zur Minderung des Ressourcenverbrauchs spielt eine Schlüsselrolle bei der grünen Transformation. Zur Erreichung dieses Ziels leistet die Kreislaufwirtschaft einen entscheidenden Beitrag, indem sie die Entstehung von Abfall vermeidet und Abfälle nach Möglichkeit stofflich verwertet (Recycling). Vor diesem Hintergrund sind die **Recycling-Quoten** für unterschiedliche Abfallgruppen ein Indikator, der Hinweise auf den Durchdringungsgrad grüner Produkte und Dienstleistungen gibt. Die Daten finden sich in der Abfallbilanz des Statistischen Bundesamtes (vgl. Statistisches Bundesamt 2012a).
- ▶ Der **Umsatzanteil der klassischen Industrien an den grünen Zukunftsmärkten** ist ein Indikator, der Aufschluss geben kann, inwieweit sich die klassischen Wirtschaftszweige bereits auf die ökologischen Megatrends ausgerichtet haben. Bislang existiert jedoch noch keine umfassende, systematische Erhebung dieser Messgröße. Ein erster Ansatz dafür findet sich in der Studie „GreenTech made in Germany 3.0“ (vgl. BMU 2012a: 39).

Umweltbezogene Lebensqualität

Unter dem Begriff umweltbedingte Lebensqualität werden Messgrößen für Umweltzustände eingeordnet, die maßgeblichen Einfluss auf die Lebensqualität der Menschen haben. Unter den Nachhaltigkeitsindikatoren des Statistischen Bundesamtes (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b) und der Europäischen Union (vgl. Eurostat 2011a) findet sich eine Reihe von Indikatoren, die Rückschlüsse auf die umweltbedingte Lebensqualität zulassen. Zu diesen Indikatorensets gehören:

- ▶ **Schadstoffbelastung der Luft:** In diesem Indikator der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung sind die Schadstoffe Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak und die flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) zusammengefasst (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b: 44). Dieselben Schadstoffgruppen werden auch im EU-Indikatorenset erfasst (vgl. Eurostat 2011a). Die Schadstoffbelastung hat sowohl Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit als auch auf Ökosysteme (beispielsweise Versauerung und Überdüngung von Böden).
- ▶ Es gibt eine Reihe von Indikatoren der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie und der EU-Strategie zur nachhaltigen Entwicklung, die Aufschluss über den Zustand des Naturkapitals geben. Aus dem Indikator **Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche** ist abzulesen, wie mit der Ressource „unbebaute, unzerschnittene und unzersiedelte Fläche“ umgegangen wird (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b: 14). Artenvielfalt an Tieren und Pflanzen und Landschaftsqualität beeinflussen ebenfalls die Lebensqualität, weil sie zu den Voraussetzungen für funktionierende Ökosystemen zählen. Der Indikator **Artenvielfalt und Landschaftsqualität** stellt deshalb eine relevante Messgröße der umweltbezogenen Lebensqualität dar (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b: 16). Die Nachhaltigkeitsindikatoren der EU erfassen außerdem den Zustand der Wälder und Gewässer. Als Indikatoren dienen unter anderem **Aufforstung und Abholzung von Wäldern, Entnahme von Oberflächen- und Grundwasser im Verhältnis zu den verfügbaren Ressourcen** (vgl. Eurostat 2011a).

Gesellschaftlicher Wandel

Die grüne Transformation vollzieht sich in allen Bereichen der Gesellschaft. Das heißt, Indikatoren zur Bestimmung und Messung dieses Prozesses müssen verschiedene Ebenen erfassen. Es geht sowohl um die Effekte auf die Gesamtwirtschaft und auf die Entwicklung einzelner Branchen (siehe dazu detailliert: Abschnitt Wirtschaftlicher Wandel) sowie um die Auswirkungen der grünen Transformation auf das Individuum, als auch um die Akzeptanz der grünen Transformation in der Gesellschaft. Bei der Zuordnung von Messgrößen werden im Handlungsfeld gesellschaftlicher Wandel zwei Dimensionen unterschieden. Zum einen sind Indikatoren verlangt, die Aufschluss darüber geben, ob und in welchem Maße die grüne Transformation in der Gesellschaft reflektiert wird. Zum anderen bedarf es Indikatoren, die zeigen, in welchem Umfang sich die grüne Transformation bereits auf der Handlungsebene widerspiegelt („Gesellschaftliche Akzeptanz“). Diese Unterscheidung zwischen den beiden Dimensionen wird getroffen, weil es keinen zwingenden Zusammenhang zwischen dem Wissen bzw. der Erkenntnis über die Notwendigkeit umweltverträglichen Wirtschaftens und Konsums und der Umsetzung in entsprechendes Handeln gibt.

Reflexion in der Gesellschaft

Das Ziel, Messgrößen zu identifizieren bzw. zu bilden, anhand derer sich die Reflexion der grünen Transformation in der Gesellschaft abbilden lässt, erweist sich aktuell als schwieriges Unterfangen. Ansätze für die Bildung entsprechender Indikatoren finden sich in Veröffentlichungen, die sich mit dem Umweltbewusstsein der Bevölkerung auseinandersetzen (zum Beispiel die im zweijährigen Turnus durchgeführte Studie des UBA zum Umweltbewusstsein in Deutschland - <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/4045.pdf>). Ein weiterer Ansatz wäre ein Indikator, der die Medienpräsenz von Themen mit Bezug zur grünen Transformation wiedergibt.

Gesellschaftliche Akzeptanz

Inwiefern die sich die Auswirkungen der grünen Transformation auf der Handlungsebene zeigen, lässt sich unter anderem durch folgende Messgrößen abschätzen:

- ▶ **Steigende Partizipation bzw. „Aktivierung“ der Bevölkerung.** Anhaltspunkte für die Bildung dieses Indikators wären beispielsweise die Entwicklung der Anzahl und der Mitgliederzahlen von Energiegenossenschaften; entsprechende Daten erhebt das Klaus Novy Institut. Auch die Verbreitung und die Mitgliederzahlen von Bürgerinitiativen und Verbänden, die sich im Bereich Umweltschutz engagieren, geben Hinweise auf die gesellschaftliche Bereitschaft, sich an der grünen Transformation zu beteiligen.
- ▶ Aufschluss über den Fortschritt der grünen Transformation kann die Veränderung des Konsum- und Mobilitätsverhaltens in der Gesellschaft geben. Als Indikatoren bieten sich hier zum Beispiel an: **Anteil der Produkte mit Ökolabel am Konsum** (im EU-Indikatorenset als „zu entwickelnder Indikator“ geführt; vgl. Eurostat 2011a), **Anteil der Bioprodukte am Lebensmitteleinzelhandel**, **CO₂-Emissionen neu zugelassener Fahrzeuge** (Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes), **CO₂-Intensität nach Verkehrsträgern**, **Anteile der einzelnen Verkehrsträger am Personenverkehr**.

Wirtschaftlicher Wandel

Der wirtschaftliche Wandel lässt sich an der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung der grünen Transformation für eine Volkswirtschaft messen. Ein anderes Kriterium ist die Relevanz von Produkten und Dienstleistungen der grünen Zukunftsmärkte für die Außenwirtschaft. Die Positionierung deutscher Anbieter auf den globalen Märkten der Umweltwirtschaft ist dabei ein wichtiger Hinweis für die Wettbewerbsfähigkeit.

Gesamtwirtschaftliche Bedeutung grüner Technologien

Als Indikatoren für die gesamtwirtschaftliche Bedeutung eignen sich vor allem folgende Messgrößen:

- ▶ **Marktanteil der grünen Produkte und Dienstleistungen am Bruttoinlandsprodukt (BIP).** Anhand dieses Indikators lässt sich der Beitrag der Umweltwirtschaft zur Wirtschaftsleistung eines Landes ablesen. Allerdings stellt sich bei der Bildung dieses Indikators die Problematik der Abgrenzung der Umweltwirtschaft.
- ▶ Aus dem **Anteil der Arbeitsplätze in grünen Zukunftsmärkten an der Gesamtbeschäftigung** lassen sich ebenfalls Schlüsse über die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Umweltwirtschaft ziehen. Allerdings stellt sich auch hier das Abgrenzungsproblem. Bei der Bildung eines entsprechenden Indikators müsste die Datenerhebung nach genau definierten Vorgaben zur Abgrenzung der grünen Zukunftsmärkte erfolgen.
- ▶ An der **Entwicklung des Marktvolumens der grünen Technologien** lassen sich ebenfalls Anhaltspunkte für ihre gesamtwirtschaftliche Bedeutung ablesen. Die sechs Leitmärkte der Umweltwirtschaft in Deutschland verzeichneten im Zeitraum 2007 bis 2010 ein jahresdurchschnittliches Wachstum von 12%. 2011 erreichte ihr Marktvolumen 300 Mrd. EUR; im Jahr 2007 lag es noch bei 200 Mrd. EUR (vgl. BMU 2012a: 28).
- ▶ Die **Entwicklung der Neugründungen von Unternehmen in der Umweltwirtschaft** ist ebenfalls ein Indikator für die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der grünen Zukunftsmärkte; eine hohe Gründungsdynamik spiegelt die Erwartung einer positiven Marktentwicklung wider. Bei der Bildung dieses Indikators kann bei der Erhebung der Primärdaten nicht unmittelbar auf die amtliche Statistik zurückgegriffen werden. Allerdings lassen sich Hinweise auf die Gründungsdynamik in der Umweltwirtschaft aus der Teilnahme von Unternehmen dieser Branche an Gründerwettbewerben ableiten.

Internationale Positionierung auf den grünen Zukunftsmärkten

Über die Stellung deutscher Anbieter auf den grünen Zukunftsmärkten weltweit lassen sich unter anderem aus folgenden Indikatoren Schlüsse ziehen:

- ▶ **Nennung deutscher Unternehmen in globalen Rankings der Umweltwirtschaft:** Dieser Indikator wäre ein guter Hinweis für die Reputation von grünen Produkten und Dienstleistungen aus Deutschland auf den Auslandsmärkten. Voraussetzung für die Bildung dieser Messgröße wäre ein Screening der einschlägigen Rankings und die Auswahl, welche Rankings für diesen Indikator maßgeblich sind.
- ▶ **Revealed Comparative Advantage (RCA):** Diese Kennzahl steht für die komparativen Vorteile im Außenhandel. Diese Messgröße wird auf Basis von Import- und Exportdaten berechnet, z.B. aus der UN COMTRADE-Datenbank (<http://comtrade.un.org/db/>) oder aus den Daten der Weltbank (<http://wits.worldbank.org/wits/>), und lässt sich für einzelne Branchen, Warengruppen oder Unternehmen bilden.

Institutioneller Wandel

Wie weit die grüne Transformation fortgeschritten ist, wird auch durch die Beobachtung eines institutionellen Wandels deutlich, sowohl aufseiten der Akteure als auch durch die Entwicklung neuer Instrumente seitens der Institutionen.

Veränderungen aufseiten der Akteure

Zur Messung des institutionellen Wandels aufseiten der Akteure sind folgende Indikatoren denkbar:

- ▶ **Anzahl relevanter Verbände:** Dieser Indikator soll die Akteure erfassen, die Einfluss auf den politischen Willensbildungsprozess und auf das staatliche Handeln zu Themen des Umweltschutzes und des „grünen Wirtschaftens“ nehmen;
- ▶ **Institutionelle Berücksichtigung:** Dieser Indikator soll die Berücksichtigung von Umweltaspekten anhand der Schaffung eigener Einheiten in Ministerien und Verwaltungsbehörden messen, zum Beispiel durch die Erfassung der Anzahl der bereits existierenden relevanten Fachgebiete, Referate und Abteilungen innerhalb von Ministerien sowohl auf Länder- als auch auf Bundesebene.
- ▶ **Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung** – Bund, Länder und Gemeinden können auch unmittelbar als Akteure auf der Nachfrageseite die grüne Transformation beeinflussen: Das Beschaffungswesen der öffentlichen Hand spielt eine wichtige Rolle, um nachhaltige Produktion und nachhaltigen Konsum voranzutreiben. Nach Angaben des BMU wird der Anteil des öffentlichen Beschaffungswesens am deutschen BIP auf 13% geschätzt. In Europa betragen die Ausgaben der öffentlichen Hand für Produkte und Dienstleistungen rund 1.500 Milliarden EUR (vgl. BMU 2012e). Diese Beträge zeigen, dass das öffentliche Beschaffungswesen eine erhebliche Marktmacht darstellt.

Entwicklung neuer Instrumente

Die grüne Transformation in der Dimension eines institutionellen Wandels zeichnet sich auch durch die Entwicklung neuer Instrumente ab. Messen kann man diesen Prozess anhand folgender Indikatoren:

- ▶ **Entwicklung zentraler Netzwerke:** Dieser Indikator soll die Entwicklung der Anzahl und der Größe zentraler Netzwerke erfassen, die Akteure verschiedener Bereiche der Green Economy koordinieren und Informationen bündeln;
- ▶ **Entwicklung einer Gesetzgebung für den Rahmen der grünen Transformation, sowie Entwicklung freiwilliger Vereinbarungen oder von „soft law“:** Dieser Indikator soll messen, wie hoch zum Beispiel der Durchdringungsgrad der Wirtschaft mit Umweltmanagementsystemen ist und wie verbreitet Selbstverpflichtungen zum Umweltschutz sind. Dafür kann die Anzahl der Unternehmen und Organisationen erfasst werden, die solche Elemente eingeführt haben.

Der WBGU qualifiziert in seinem Gutachten die bisher mangelnde Berücksichtigung dieser institutionellen Aspekte in der Transformationsdebatte zur Nachhaltigkeit als „Hindernisse und Blockaden für die Transformation“ (vgl. WBGU 2011). Ohne institutionellen Wandel erscheint auch die Transformation zu einer Green Economy nur schwer realisierbar. Zu den Messgrößen, die den institutionellen Wandel als Treiber der grünen Transformation abbilden, sind bislang nur wenige Daten verfügbar; eine systematische Erfassung und Auswertung der oben genannten Indikatoren wäre noch notwendig, um die fünfte Dimension eines ganzheitlichen Messsystems der grünen Transformation abzubilden.

Fazit

Am Ende dieses Abschnitts „Vorstellung geeigneter Messgrößen“ bleibt festzuhalten: Die Herausforderung beim Design eines Messsystems für die Erfassung der grünen Transformation liegt nicht allein in der Identifizierung und Bildung der einzelnen Indikatoren, sondern vor allem in ihrer intelligenten Kombination. Eine wesentliche Schwierigkeit ist dabei die Operationalisierung. Ein wichtiger Aspekt ist auch das Controlling, denn die Bildung eines Messsystems wäre nur eine notwendige, aber noch keine hinreichende Maßnahme: Die Festlegung von Indikatoren allein reicht nicht aus; es bedarf verbindlicher Mechanismen, wie sie gemessen bzw. evaluiert werden.

Mit dem komplexen Thema Nachhaltigkeitsindikatoren, das viele Berührungspunkte mit der Messung der grünen Transformation aufweist, beschäftigt sich derzeit die United Nations Statistical Commission. Sie erhielt im Abschlussdokument der „Rio +20“-Konferenz den Auftrag, neben dem Bruttoinlandsprodukt geeignete Messgrößen für die Messung gesellschaftlichen Wohlstands zu entwickeln. Auch die Europäische Union überarbeitet und ergänzt ihr Indikatorenset zum Monitoring ihrer Strategie der nachhaltigen Entwicklung. Im 2011 veröffentlichten Bericht „Sustainable development in the European Union“ werden in den Kategorien „under development“ und „to be developed“ diejenigen Indikatoren aufgeführt, die als notwendig und sinnvoll erachtet werden, um den Fortschritt der nachhaltigen Entwicklung zu beschreiben (vgl. Eurostat 2011a: 39).⁷

2.2 Deutschlands Position auf den grünen Zukunftsmärkten

2.2.1 Zielsetzung und Aufbau dieses Kapitels

In diesem Kapitel soll die Positionierung Deutschlands auf den grünen Zukunftsmärkten im internationalen Vergleich herausgearbeitet werden. Dies erfolgt durch die Analyse der sechs Submärkte Alternative Antriebstechnologien, Erneuerbare Energien, Speichertechnologien, Effizienztechniken im industriellen Sektor, Energieeffizienz von Gebäuden und Stoffliche Abfallverwertung. Diese Submärkte werden von Schlüsseltechnologien geprägt, die ein gemeinsames Merkmal aufweisen: ein hohes Umweltentlastungspotenzial. In Kapitel 2.2.2 werden die Kriterien für die Auswahl der Submärkte dargestellt, die anschließend kurz beschrieben werden. Dabei werden auch einzelne Technologien betrachtet, wobei unter diesen Begriff Produkte, Verfahren und Dienstleistungen gefasst werden.

Kapitel 2.2.3 enthält für jeden Submarkt eine SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats), die eine Detaillierung der Portfolio-Analyse darstellt. Der Schwerpunkt der Stärken/Schwächen- bzw. Chancen-/ Risikenprofile liegt jeweils auf den ausgewählten Schlüsseltechnologien. Auf diese Weise entsteht ein differenziertes und umfassendes Bild, wie deutsche Anbieter in diesen Technologien im internationalen Wettbewerb positioniert sind.

Anhand einer Portfolio-Analyse werden in Kapitel 2.2.4 die Submärkte bzw. die ausgewählten Schlüsseltechnologien hinsichtlich ihrer Marktattraktivität und der derzeitigen Wettbewerbsposition Deutschlands bewertet. Die Grundlage dafür liefern die Ergebnisse der SWOT-Analyse. Das Ergebnis der Portfolio-Analyse wird zu Kernaussagen verdichtet und in einer Portfolio-Matrix abgebildet.

2.2.2 Auswahl und Beschreibung der Submärkte

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurden sechs Submärkte ausgewählt, die im Rahmen der Analyse detailliert betrachtet werden sollten. Bei der Selektion war vor allem das zu vermutende Umweltentlastungspotenzial der in diesen Submärkten betrachteten Technologien maßgeblich.⁸ Während die Quantifizierung des Umweltentlastungspotenzials Ge-

⁷ Zur Unterscheidung der beiden Kategorien „under development“ und „to be developed“ vgl. die Definition im Bericht „Sustainable development in the European Union“: „The **indicators under development** either already exist, but are of insufficient quality or coverage (e.g. not yet available for three years or for a majority of Member States), or are known to be currently under development by a group of experts in Europe. The indicators are expected to become available within two years and of sufficient quality, respecting standards set by the European Statistical System. The **indicators to be developed** are either: (i) known to be under development currently by a group of experts in Europe, but no final satisfactory result is expected within two years; or (ii) not being developed currently as far as is known.“ (Eurostat 2011a).

⁸ Die Basis bildet hierbei die Definition des Umweltbundesamtes: „Das zugrunde gelegte Verständnis von Umweltentlastungspotenzialen umfasst dabei nicht nur die Umwelttechnik im engeren Sinne (End-of-Pipe-Technologien), sondern auch den prozess-, produktions- und produktintegrierten Umweltschutz und damit nicht zuletzt auch die ‚Input-Seite‘ auf dem Weg zu einem nachhaltigen Wirtschaften, also die Verringerung und Veränderung der Quantitäten (Ressourceneffizienz) und Qualitäten (Konsistenz) der Stoff- und Energieströme, die in die Technosphäre eintreten.“ Vgl. UBA 2010a: IV.

genstand des Teilberichts 3 ist, geht es hier um eine qualitative Annäherung. In diesem Kontext relevant ist die Fragestellung, welche Rolle die jeweiligen Submärkte bei der Transformation in Richtung Green Economy spielen. Im Ergebnis wurden sechs Submärkte identifiziert:

- ▶ Alternative Antriebstechnologien;
- ▶ Erneuerbare Energien;
- ▶ Speichertechnologien;
- ▶ Effizienztechniken im industriellen Sektor;
- ▶ Energieeffizienz von Gebäuden;
- ▶ Stoffliche Abfallverwertung.

Diese Submärkte haben eine Gemeinsamkeit: Auf ihnen werden Schlüsseltechnologien gehandelt, die den Wandel zur Green Economy ermöglichen bzw. beschleunigen. Typisches Merkmal von Schlüsseltechnologien ist ihre hohe systemische Bedeutung für die Innovationskraft der gesamten Volkswirtschaft. Diese Definition lässt sich auf die grüne Transformation übertragen: Jeder der oben genannten Submärkte trägt entscheidend dazu bei, mit seinen Produkten, Verfahren und Dienstleistungen zwei zentrale Herausforderungen der Green Economy zu meistern: Klimaschutz und Ressourcenschonung. Auf diese Basis gründet sich die Marktattraktivität der sechs Submärkte. Wichtig ist der Hinweis auf den unterschiedlichen Reifegrad der einzelnen Submärkte: Während beispielsweise die Erneuerbaren Energien oder die Effizienztechnologien im industriellen Sektor bereits etablierte Märkte darstellen, stehen die Speichertechnologien oder Alternativen Antriebstechnologien erst am Anfang ihrer Entwicklung.

Im Folgenden wird für jeden der analysierten Submärkte dargestellt, warum seine Technologien im Kampf gegen die globale Erwärmung und für die Verbesserung der Ressourceneffizienz unverzichtbar sind.

Alternative Antriebstechnologien

Die Prognosen des International Transport Forum gehen davon aus, dass sich das weltweite Verkehrsaufkommen – gemessen an Passagierkilometern – im Zeitraum 2000 bis 2050 verdreifachen wird (vgl. International Transport Forum 2011). Während heute rund 1,2 Milliarden Autos auf der Erde unterwegs sind, rechnen Verkehrsexperten im Jahr 2050 mit vier Milliarden Fahrzeugen (vgl. BMVBS 2012b). Aktuell ist Öl die Schlüsselressource für die Mobilität – in Deutschland werden im Verkehrssektor zu über 90% Kraftstoffe aus Mineralöl eingesetzt (vgl. Deutsche Energie-Agentur 2011). Allerdings wird der Preis dieses fossilen Energieträgers in den nächsten Jahrzehnten deutlich steigen. Außerdem sind die Ölvorkommen nicht unerschöpflich. Hinzu kommt, dass bei der Verbrennung von ölbasierten Kraftstoffen Treibhausgas-Emissionen entstehen. Nach Angaben der Internationalen Energie-Agentur stammen fast 23% der weltweiten CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor (vgl. International Energy Agency 2011a). In Deutschland zeichnet der Verkehrssektor für 20% der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen verantwortlich (vgl. UBA 2012a).

Vor diesem Hintergrund ist offensichtlich, dass der Verkehrssektor ein wichtiges Handlungsfeld ist, um die Transformation zu einer Green Economy zu bewältigen. Die nachhaltige Umgestaltung der Mobilität hat erhebliche Relevanz für die Verbesserung der Ressourceneffizienz und im Kampf gegen den Klimawandel. Nationale und internationale Klimaziele sind nur unter der Voraussetzung erreichbar, dass der verkehrsbedingte CO₂-Ausstoß drastisch reduziert wird. Ein Beispiel: Um die CO₂-Emissionen der EU-Staaten bis 2050 um 80 bis 95% gegenüber 1990 zu mindern, müssten die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen in diesem Zeitraum um fast zwei Drittel reduziert werden (vgl. Europäische Kommission 2011a). Dies ließe sich allein durch die Effizienzsteigerung konventioneller Verbrennungsmotoren nicht realisieren. Es sind Technologien erforderlich, die sowohl ressourcenschonend als auch klimafreundlich sind. Genau diesen Anforderungen entsprechen alternative Antriebstechnologien – was sie zu einer Schlüsseltechnologie auf dem Weg zur Green Economy macht. Zu den alternativen Antriebstechnologien gehören Hybridtechnologien, Elektroantriebe (batterieelektrische Antriebe) und Brennstoffzellenantriebe. Die zwei letztgenannten Technologien bilden den Schwerpunkt bei der Analyse dieses Submarktes.

Erneuerbare Energien

Das Zusammenwirken von Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und der zunehmenden Industrialisierung der Schwellenländer treibt den Energiebedarf weltweit deutlich nach oben. Für die Referenzperiode 2010 bis 2035 prognostiziert

die Internationale Energie-Agentur (IEA) in ihrem Hauptszenario „Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“ eine Zunahme des weltweiten Primärenergieverbrauchs um ein Drittel. Da der globale Energiemix in diesem Zeitraum von fossilen Energieträgern dominiert wird – 2035 wird nach IEA-Schätzung der Anteil der fossilen Brennstoffe am weltweiten Primärenergieverbrauch bei 75% liegen (2010: 81%) – geht mit einem Anstieg des Energieverbrauchs eine Erhöhung der energiebedingten Treibhausgasemissionen einher. Die im Hauptszenario der IEA beschriebenen Trends würden auf eine Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre von 650 ppm CO₂-eq hinauslaufen – mit der Folge einer Erhöhung der globalen Mitteltemperatur um 3,5 Grad Celsius (IEA 2010).

Der Energiesektor ist der Hauptemittent von Treibhausgasen, wie der Blick auf internationale und nationale Daten zeigt: 2009 sind weltweit 28.999 Millionen Tonnen CO₂ durch die Verbrennung fossiler Energieträger entstanden; davon entfielen 11.827 Millionen Tonnen (ca. 41%) auf die Erzeugung von Strom und Wärme (International Energy Agency 2011a). In Deutschland stammen 355 Millionen Tonnen CO₂-eq aus der Energiewirtschaft, das entspricht einem Anteil von 46% an den gesamten energiebedingten Treibhausgas-Emissionen Deutschlands (vgl. UBA 2012a). Dies macht deutlich, dass hier eines der zentralen Handlungsfelder bei der Transformation zur Green Economy liegt: Eine deutliche Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei der Energieerzeugung ist die Voraussetzung für den Erfolg im Klimaschutz.

Wie kann der wachsende Energiebedarf gedeckt und gleichzeitig der globalen Erwärmung gegengesteuert werden? Neben der Verbesserung der Energieeffizienz bieten die Erneuerbaren Energien Lösungsansätze, um diese Herausforderungen zu meistern.⁹ Regenerative Energien adressieren zugleich Versorgungssicherheit¹⁰ und Klimaschutz. Die Erneuerbaren tragen dazu bei, die Abhängigkeit von der Marktentwicklung der fossilen Energieträger zu reduzieren, insbesondere Öl und Erdgas. Bei der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen wird kein CO₂ emittiert. So wurde 2011 in Deutschland durch die Nutzung regenerativer Energiequellen der Ausstoß von 130 Millionen Tonnen CO₂-eq vermieden (vgl. BMU 2012b: 12).

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien ist deshalb integraler Bestandteil einer Green Economy und gehört zu den erklärten Zielen der europäischen Klima- und Energiepolitik. Gemäß dem 2008 in Kraft getretenen Klima- und Energiepaket will die EU den Anteil der Erneuerbaren am Gesamtenergieverbrauch bis 2020 auf 20% erhöhen. Das Energiekonzept Deutschlands sieht wesentlich ambitioniertere Ziele vor: Bis spätestens 2020 soll der Anteil von regenerativ erzeugtem Strom bei mindestens 35% liegen. Die weiteren Meilensteine sind: 50% bis 2035, 65% bis 2040 und 80% bis 2050 (vgl. BMWi/BMU 2010). Spätestens zu diesen Terminen sollen die Anteile mindestens verwirklicht sein.

Zu den erneuerbaren Energieträgern zählen Wasser, Wind, Sonne, Erdwärme und Biomassen. Windenergie, Photovoltaik und die Bioenergie bilden die Schwerpunkte für die Analyse dieses Submarktes.

Speichertechnologien

Der Wandel hin zu einer klimafreundlichen und ressourcenschonenden Energieversorgung setzt voraus, dass der Anteil der Erneuerbaren Energien ausgebaut wird. Ein steigender Anteil von Strom aus regenerativen Quellen hat erhebliche Konsequenzen für die Stromversorgung: Die Stromproduktion durch Photovoltaik und Windkraft, die den Großteil des regenerativ erzeugten Stroms liefern sollen, unterliegt witterungs- und tageszeitabhängigen Schwankungen. Aus dieser fluktuierenden Einspeisung resultiert eine potenzielle Lücke zwischen Stromangebot und Stromnachfrage oder ein überschüssiges Stromangebot. Um diese Diskrepanzen auszubalancieren und eine stabile Stromversorgung sicherzustellen, bedarf es einer Reihe von Maßnahmen: Neben dem Ausbau der Stromnetze, des Lastmanagements (Stichwort Smart Grid und Smart Meter) und hochflexiblen Gaskraftwerken spielen die Speichertechnologien eine Schlüsselrolle. Vor

⁹ Zwar spielen die Erneuerbaren eine Schlüsselrolle bei der klimafreundlichen Umgestaltung der Energieversorgung, aber auch mit dem Einsatz regenerativer Energieträger sind potenzielle Konflikte mit ökologischen Zielen verknüpft. So kann mit dem Ausbau des Biomasse-Anteils an der Energieversorgung eine Nutzungskonkurrenz bei Agrarflächen einhergehen. Kritisch hinterfragt werden auch die Umweltwirkungen von Monokulturen, in denen Energiepflanzen angebaut werden.

¹⁰ Beim Stichwort ‚Versorgungssicherheit‘ ist anzumerken, dass zwar die regenerativen Energieträger wie Wind, Sonne und Erdwärme unbegrenzt zur Verfügung stehen. Allerdings sind für die Technologien, die zur Umwandlung dieser Energieträger in Strom und Wärme eingesetzt werden, Rohstoffe nötig, deren Verfügbarkeit sich als limitierender Faktor erweisen könnte. Dies gilt insbesondere für Seltene Erden, die beispielsweise Bestandteil von Neodym-Magneten sind, die in Windenergieanlagen verwendet werden.

allem im Kontext einer zunehmenden Dezentralisierung der Energieversorgung haben die Speichertechnologien große Relevanz.¹¹

Speicher müssen in Phasen eines Stromüberschusses elektrische Energie „zwischenlagern“ und bei hoher Nachfrage wieder ins Netz einspeisen. Beim Ausbau der Speicherkapazitäten stellen sich mehrere Herausforderungen, insbesondere die Wirtschaftlichkeit und die Erhöhung der Wirkungsgrade sind Themen, an denen aktuell intensiv geforscht wird, wie einige Beispiele zeigen. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, die SolarFuel GmbH und das Fraunhofer-Institut Windenergie und Energiesystemtechnik IWES sind Partner bei einem Verbundprojekt zur Errichtung und zum Betrieb einer Forschungsanlage zur Speicherung von erneuerbarem Strom als erneuerbares Methan (Power-to-Gas-Verfahren – eine Kombination der Prozessschritte H₂O-Elektrolyse und Methanisierung). Ein Fraunhofer-Konsortium (Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE) arbeitet an der Weiterentwicklung von Redox-Flow-Batterien, die als große Energiespeicher eingesetzt werden sollen. Vom Karlsruher Institut für Technologie wurde in Kooperation mit der Universität Ulm das Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicher gegründet, das sich unter anderem als Exzellenzzentrum für Batterieforschung etablieren soll.

Speichertechnologien können nach den Energieformen unterschieden werden, in denen elektrische Energie gespeichert wird: mechanische, elektrochemische und elektrische Speicherung. Bei der Analyse dieses Submarktes liegt der Fokus auf elektrochemischen Speichertechnologien (Batterien, Akkumulatoren und Wasserstoffspeicher).

Effizienztechniken im industriellen Sektor

Die Zielvorgabe der Europäischen Union lautet, den Energieverbrauch bis 2020 um 20% zu verringern. Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht vor, die Energieproduktivität bis 2050 um durchschnittlich 2,1% pro Jahr zu steigern; der Primärenergieverbrauch soll bis 2020 um ein Fünftel beziehungsweise bis 2050 um die Hälfte gegenüber dem derzeitigen Niveau reduziert werden. Würden in allen Verbrauchssektoren – Haushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Verkehr – sämtliche Maßnahmen auf dem Stand der Technik zur Verbesserung der Energieeffizienz umgesetzt, wäre dies ein enormer Schritt auf dem Weg in Richtung einer Green Economy.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Verbesserung der Energieeffizienz für die grüne Transformation eine Schlüsselrolle spielt. Einen wesentlichen Bereich bilden dabei Verfahren und Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz in der Wirtschaft (Industrie sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen). Nicht nur aus ökologischen Gründen liegt es im Interesse der Unternehmen, Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu ergreifen: Energiesparen ist ein wichtiger Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz und zur Verbesserung der Bilanz, denn Unternehmen, die ihren Energieverbrauch senken, entlasten die Kostenseite und wappnen sich gegen die Auswirkungen zu erwartender Preissteigerungen für fossile Energieträger.

Nicht nur bei energetischen Rohstoffen ist eine Steigerung der Effizienz geboten, um Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch zu entkoppeln. Es gilt auch, die Rohstoff- und Materialeffizienz zu verbessern. Zu diesem Leitmarkt gehören Technologien und Verfahren, die den Verbrauch von nicht-energetischen Rohstoffen und Werkstoffen reduzieren (vgl. BMU 2012a: 86).

Bei der Analyse dieses Submarktes stehen zwei Segmente im Vordergrund: effiziente Produktionsverfahren in den Kernprozessen der Güterproduktion und die Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe. Bei den effizienten Produktionsverfahren liegt der Fokus auf den Verfahren in energie- und materialintensiven Branchen wie beispielsweise der Stahl-, Zement-, Metallindustrie oder Grundstoffchemie. Bei den Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe geht es um die Sparpotenziale in den unterstützenden Prozessen der Produktion. Zu den branchenübergreifenden Querschnittstechnologien zählen elektrische Antriebe, Druckluft, Pumpen, Wärme- und Kältebereitstellung. Sie alle haben enorme Relevanz für die Verbesserung der Ressourceneffizienz. Zur Verdeutlichung: Eine Untersuchung des Fraunhofer

¹¹ Nicht nur elektrische Energie lässt sich speichern, sondern auch thermische Energie. Es gibt verschiedene Arten von Wärmespeichern: Latentwärmespeicher und thermochemische Wärmespeicher. Bei der Betrachtung des Submarktes Speichertechnologien stehen Speicherlösungen für elektrische Energie im Vordergrund, weil diese im Kontext des Umbaus des Energieversorgungssystems sowie alternativer Antriebstechnologien für Fahrzeuge eine Schlüsselrolle spielen.

Institut für System- und Innovationsforschung ISI kam zu dem Ergebnis, dass Effizienzmaßnahmen in diesen Bereichen bis 2020 eine Stromersparung in Höhe von rund 150 PJ erzielen lässt (Fraunhofer ISI 2009).

Energieeffizienz von Gebäuden

Der Immobiliensektor hat für die Transformation zur Green Economy einen hohen Stellenwert, denn er ist einer der wichtigen Handlungsfelder, um den Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase zu senken und die Ressourceneffizienz zu verbessern. So ist beispielsweise die Energiebereitstellung für Gebäude (Strom und Wärme) für knapp ein Drittel der gesamten Treibhausgas-Emissionen und für rund 40% des Endenergieverbrauchs verantwortlich. Etwa drei Viertel des Energieverbrauchs eines Privathaushalts entsteht durch das Heizen von Wohnungen und Häusern (vgl. BMU 2010).

Um langfristig das Ziel zu erreichen, den Gebäudebestand klimafreundlicher bzw. klimaneutral zu machen, muss der Energiebedarf deutlich gesenkt werden. Wichtige Ansatzpunkte dafür sind die Gebäudehülle, die Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik sowie die Gebäudeautomation. Die Dämmung der Fassade und des Daches sowie Hightech-Fenster können verhindern, dass über die Gebäudehülle zu viel Energie nach draußen gelangt. Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen auf dem Stand der Technik sind in der Lage, den Energieverbrauch drastisch zu reduzieren. Einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz leistet auch die Gebäudeautomation, beispielsweise durch die Steuerung der Klimatechnik oder der Beleuchtung. Aufgrund ihrer Relevanz nehmen diese Technologien bei der Analyse des Submarktes eine zentrale Rolle ein.

Stoffliche Abfallverwertung

Von der Gewinnung über die Verarbeitung und Nutzung bis hin zur Entsorgung – entlang der gesamten Wertschöpfungskette ist der Einsatz von Rohstoffen mit Umweltbelastungen verknüpft; dazu zählen Flächenverbrauch, Eingriffe in Ökosysteme, Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen. Die effiziente Nutzung von Rohstoffen ist deshalb ein ökologisches Gebot und integraler Bestandteil einer Green Economy. Auch aus ökonomischen Gründen ist eine Verbesserung der Ressourceneffizienz dringend geboten, denn Preissteigerungen und Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten treffen gerade hochindustrialisierte, aber ressourcenarme Volkswirtschaften wie Deutschland empfindlich.

Ein entscheidender Ansatzpunkt, um eine höhere Ressourceneffizienz zu erreichen, ist eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft, die sich am Ideal des Full-Cycle-Konzepts orientiert: Nach dem Prinzip natürlicher Ökosysteme, die alle Stoffe in wiederverwertbare Ressourcen verwandeln, werden Stoffkreisläufe geschlossen. Dabei spiegelt sich der Grundsatz der nachhaltigen Kreislaufwirtschaft in folgender Hierarchie wider: Abfall vermeiden, Abfall verwerten, Abfall umweltgerecht beseitigen. Bei der Verwertung von Abfall gibt es zwei Optionen: energetische und stoffliche Verwertung; dabei räumt das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz der stofflichen Verwertung Vorrang ein.

Durch die stoffliche Verwertung werden Stoffkreisläufe geschlossen. Recycling verringert den Energieverbrauch und leistet damit einen Beitrag zum Klimaschutz, denn Recyclingverfahren benötigen in der Regel weniger Energie als der Primärprozess. Es gibt vielfältige Verfahren für die stoffliche Verwertung unterschiedlicher Stoffgruppen. Bei Massenerohstoffen wie Glas und Papier liegen die Recyclingquoten in Deutschland fast bei 100% (vgl. Statistisches Bundesamt 2012a).

Großen Nachholbedarf – und damit immenses Wachstumspotenzial – gibt es dagegen bei der stofflichen Verwertung von metallischen und mineralischen Rohstoffen wie Silber und Gold, Indium und Gallium, Kupfer und Kobalt. Auch ausrangierte Elektro- und Elektronikgeräte sind ergiebige Rohstoffquellen. Innovative Recyclinglösungen sind auch für die Metalle der Seltenen Erden gefragt.

Die genannten Rohstoffe sind beispielsweise für Produkte der Industrie- und Kommunikationstechnik, des Fahrzeugbaus oder der Erneuerbaren Energien unverzichtbar. Dementsprechend hoch ist die Abhängigkeit hochindustrialisierter Volkswirtschaften von diesen „strategischen Ressourcen“. Hier kann sich Recycling zu einer Alternative bei der Beschaffung entwickeln. Vor dem Hintergrund steigender Preise und der Volatilität auf den Rohstoffmärkten werden neue Verfahren für die stoffliche Verwertung knapper Ressourcen immer attraktiver. So entstehen neue Geschäftsmodelle im Bereich des „Hightech-Recycling“, bei dem wertvolle Metalle zurückgewonnen werden. Qualität und Feinheit der Abfalltrennung sind maßgebliche Faktoren für die Rückführung der Recyclate in den Stoffkreislauf. Aus diesem Grund werden auch die Technologien der Abfalltrennung (zum Beispiel Sortiertechniken) eingehend betrachtet. Dabei sind insbesondere neue Ansätze bei der Aufbereitung von Elektroschrott interessant.

2.2.3 SWOT-Analyse der identifizierten Submärkte

Für jeden Submarkt wurde eine SWOT-Analyse erstellt. Die in dieser Gegenüberstellung von Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken enthaltenen Informationen stellen die Grundlage für die in Kapitel 2.2.4 folgende Portfolio-Analyse dar. Der SWOT-Analyse liegt eine Reihe von Prüfkriterien zugrunde: Marktanteil, Leistungsfähigkeit der Unternehmen, Innovation und Standortfaktoren (etwa rechtliche Rahmenbedingungen, Verfügbarkeit von Fachkräften, Fördermittel). Diese Prüfkriterien repräsentieren zugleich die Inputgrößen für die Bewertung der Wettbewerbsposition Deutschlands im Rahmen der Portfolio-Analyse (vgl. Abbildung 3). Bei den meisten Punkten, die in den folgenden SWOT-Analysen aufgeführt werden, ist in eckigen Klammern das zugehörige Prüfkriterium vermerkt.

2.2.3.1 SWOT-Analyse Alternative Antriebstechnologien

Stärken

- ▶ Die deutsche Automobilindustrie gehört weltweit zu den Leitanbietern verbrennungsmotorischer Antriebstechnologien. Auf dieser Basis können Kompetenzen im Bereich alternativer Antriebstechnologien aufgebaut bzw. weiterentwickelt werden. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Automobilindustrie zählt traditionell zu den Schlüsselbranchen in Deutschland: Mit einem Umsatz von 315 Milliarden EUR erwirtschaftete die Automobilindustrie 2011 etwa ein Fünftel des Gesamtumsatzes des Verarbeitenden Gewerbes (vgl. VDA 2012: 14). Mit knapp 720.000 Beschäftigten ist die Automobilindustrie einer der größten Arbeitsgeber Deutschlands (vgl. VDA 2012: 16). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Bei den alternativen Antriebstechnologien (Hybrid, Plug-in-Hybrid, Range Extended Electric Vehicle, batteriebetriebenes Fahrzeug „Elektroauto“, Brennstoffzellenfahrzeug) sind Kompetenzen in den Themenfeldern Batterie, Antrieb, Leichtbau, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) erfolgskritisch. Dies erfordert branchenübergreifende Kooperationen zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen unterschiedlicher Wirtschaftszweige. Systemkompetenz gilt als Stärke der deutschen Industrie und diese Stärke lässt sich im Bereich der alternativen Antriebstechnologien durch das Zusammenwirken von Technologien aus den Bereichen Antrieb, Batterie, Fahrzeugleichtbau, Stromerzeugung und -verteilung und die verstärkte Einbindung der IKT voll entfalten. Hinzu kommt, dass Deutschland auch in den Branchen Elektrotechnik und Chemieindustrie – Stichwort: elektrochemische Anwendungen – über exzellent aufgestellte Unternehmen und Forschungseinrichtungen verfügt. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Mit der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) existiert in Deutschland eine Institution, in der sich auf Einladung der Bundesregierung Vertreter von Industrie, Wissenschaft, Politik, Gewerkschaften und Gesellschaft zusammengefunden haben (vgl. NPE 2010a: 5). Die Basis dieser Kooperation ist das Ziel, dass Deutschland bis 2020 Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität werden soll. Die NPE bietet einen Rahmen für die branchenübergreifende Zusammenarbeit völlig unterschiedlicher Akteure. [Leistungsfähigkeit; Innovation]
- ▶ Bis 2020 – so der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität – sollen in Deutschland mindestens eine Million Elektroautos fahren. Dieses Ziel soll in drei Phasen erreicht werden: Marktvorbereitung (bis 2014), Markthochlauf (bis 2017) und Massenmarkt (bis 2020). Während der Marktvorbereitung liegt der Schwerpunkt auf FuE und den Schaufensterprojekten (vgl. BMWi, BMVBS, BMU, BMBF 2011: 10; NPE 2011: 5). In vier regionalen Demonstrations- und Pilotvorhaben werden Ressourcen gebündelt, um innovative Technologien und Lösungen in der gesamten Systemkette – vom Energiesystem über das Fahrzeug bis zum Verkehrssystem – national und international sichtbar zu machen. Dieses Förderprogramm „Schaufenster Elektromobilität“ ist im Herbst 2012 gestartet und auf eine Laufzeit von drei Jahren ausgelegt; es ist mit Fördermitteln des Bundes in Höhe von 180 Millionen EUR dotiert (vgl. BMVBS 2012a). [Standortfaktoren; Innovation]
- ▶ Deutschland kann mit einer gut ausgebauten Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur aufwarten, die von Unternehmen und mit öffentlichen Geldern finanzierten Forschungseinrichtungen geprägt wird. Nach dem Zweiten Bericht der NPE will die deutsche Industrie bis 2014 im Bereich Elektromobilität 17 Milliarden EUR in FuE investieren (vgl. NPE 2011: 5). Aus dem Konjunkturpaket II hat die Bundesregierung bis 2011 500 Millionen EUR bereitgestellt; bis zum Ende des Jahres 2013 sollen weitere 1 Milliarden EUR für FuE-Maßnahmen in der Elektromobilität fließen (vgl. BMWi, BMVBS, BMU, BMBF 2011: 19). [Standortfaktoren; Innovation]

- ▶ Für Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Forschungsprojekte ist das Nationale Innovationsprogramm (NIP) als Rahmen geschaffen worden. Das NIP wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) gemeinsam mit den Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi), für Bildung und Forschung (BMBF) und mit dem Umweltministerium (BMU) als Teil der Hightech-Strategie für Deutschland aufgelegt und als öffentlich-private Partnerschaft konzipiert. Bundesregierung und Industrie stellen für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsvorhaben bis 2016 insgesamt 1,4 Milliarden EUR zur Verfügung (vgl. BMVBS 2012c). [Standortfaktoren; Innovation]

Schwächen

- ▶ Der Durchdringungsgrad ist nach wie vor minimal: Von den 3,17 Millionen Personenkraftwagen, die 2011 in Deutschland neu zugelassen wurden, fahren lediglich 26.031 mit alternativen Antriebstechnologien (0,82%)¹² (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2012a). Im Fahrzeugbestand spielen Personenkraftwagen mit alternativen Antriebstechnologien ebenfalls eine marginale Rolle: Ihr Anteil am Pkw-Bestand in Deutschland (2011: 42,9 Millionen Fahrzeuge) liegt bei 1,4% (davon 4.541 Elektrofahrzeuge, 47.642 Hybridfahrzeuge) (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2012b). Zum Vergleich: Stellt man die Neuzulassungsdaten für Elektrofahrzeuge gegenüber, zeigt sich, dass Deutschland international nicht an führender Stelle liegt: Hier wurden seit Anfang 2010 rund 3.000 elektrifizierte Fahrzeuge zugelassen. In den USA sind 18.000 E-Fahrzeuge neu zugelassen worden, in Japan 15.000 und Frankreich 5.300 (vgl. NPE 2012: 55). [Leistungsfähigkeit; Standortfaktoren]
- ▶ Ebenfalls gering ist der Durchdringungsgrad der Ladeinfrastruktur: 2012 gab es in Deutschland schätzungsweise 2.200 öffentlich zugängliche Ladepunkte, an denen die Besitzer von Elektroautos ihre Fahrzeuge „betanken“ können (vgl. NPE 2012: 49). Diese öffentliche Ladeinfrastruktur wird großteils von Energieversorgern betrieben. Wasserstofftankstellen sind noch wesentlich dünner gesät: In Deutschland gibt es (Stand 2012) 14 öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen (vgl. BMVBS 2012d). [Leistungsfähigkeit; Standortfaktoren]
- ▶ Grundsätzlich verfügt die deutsche Industrie über hohe Systemkompetenz; allerdings wird von dieser Fähigkeit im Bereich Elektromobilität noch nicht ausreichend Gebrauch gemacht: Branchenübergreifende Kooperationen zwischen Automobilindustrie, Stromwirtschaft und Batterieherstellern befinden sich in Deutschland noch im Anfangsstadium. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Bei den hybriden Antriebskonzepten haben sich japanische Autohersteller an die Spitze gesetzt. Sie haben beispielsweise frühzeitig begonnen, den Hybridantrieb in Mittelklasse-Pkw zu integrieren. Deutsche Automobilhersteller haben einen Entwicklungsrückstand bei Hybridantrieben, die als Brückentechnologie auf dem Weg zum ausschließlich batterieelektrisch betriebenen Fahrzeug gelten. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Produktion von Zellen und Batteriesystemen ist bislang in Deutschland kaum etabliert, obwohl die Zell- und Batterietechnik einen Schlüsselbereich für die Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland darstellt. [Leistungsfähigkeit]

Chancen

- ▶ Die Batterie ist eine Schlüsselkomponente des Elektroautos; ihr Wertschöpfungsanteil am Gesamtfahrzeug liegt bei 30 bis 40%. Wer diese Schlüsseltechnologie beherrscht, spielt eine dominierende Rolle auf dem Markt der Elektromobilität (vgl. NPE 2010b: 18):
 - ▶ Die Leistungsfähigkeit der Batterien ist entscheidend für die Reichweite und damit für die Akzeptanz dieser alternativen Antriebstechnologie. Angesichts der durchschnittlichen Reichweite von Lithium-Ionen-Akkus von 120 km besteht immenser Bedarf an innovativen Lösungen zur Verlängerung der Reichweite. Für Technologieführer bieten sich hier enorme Marktchancen. Wer die Lithium-Ionen-Technologie weiterentwickelt oder völlig neue Batteriekonzepte entwirft (Post-Lithium-Ionen-Technologie), wird sich beachtliche Anteile am weltweit wachsenden Markt für alternative Antriebstechnologien sichern. [Leistungsfähigkeit]

¹² Von den 26.031 neu zugelassenen Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien entfällt auf Elektrofahrzeuge ein Anteil von 8,3%, auf Hybridfahrzeuge ein Anteil von 48,5%.

- ▶ Die Batterie als Schlüsseltechnologie bietet Skalenvorteile (Economies of Scale and Scope). Die Erkenntnisse aus der FuE lassen sich nicht nur im Bereich der Pkw nutzen, sondern auf andere Segmente des Fahrzeugbaus übertragen (Busse, Lkw, Segway, Scooter). Auf diese Weise könnte Deutschland seine Innovationsstärke auch auf anderen Technologiefeldern ausspielen. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Deutschland verfügt über ein Energiesystem, dessen Leistungsfähigkeit zur Weltspitze zählt. Seit Jahrzehnten gehört der Ausbau des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung zu den erklärten Zielen der deutschen Umwelt- und Energiepolitik. Heute liegt der Anteil der regenerativen Energien am Bruttostromverbrauch bei über 20% (vgl. BMU 2012b: 12). Wegen dieses im internationalen Vergleich besonders hohen Anteils bestehen große Synergiepotenziale zwischen Energiewirtschaft und Elektromobilität. Das Know-how im Bereich der dezentralen Energieversorgung kann dazu genutzt werden, Elektrofahrzeuge als mobile Speicher in ein Smart Grid einzubinden. Diese Vorreiterrolle kann dazu beitragen, dass sich auf den internationalen Märkten ein Differenzierungsmerkmal für deutsche Technologien entwickelt. Auch bei der klimafreundlichen Produktion von Wasserstoff mithilfe von Windkraft gehört Deutschland zu den Pionieren, was sich positiv auf den Brennstoffzellenantrieb auswirken könnte. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Im Bereich der Elektromotoren und der Leistungselektronik haben sich deutsche Anbieter einen Vorsprung bei Produkten erarbeitet, die in kleineren Stückzahlen und nicht unbedingt für den mobilen Einsatz produziert werden. Dieses technologische Know-how wäre auf den Bereich der alternativen Antriebstechnologien übertragbar. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Wenn es gelingt, diese Chancen zu nutzen und sich als Leitanbieter für Elektromobilität zu etablieren, wird langfristig Wertschöpfung am Standort Deutschland gesichert. Bis 2020 könnten in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie im Bereich Infrastruktur rund 30.000 zusätzliche Arbeitsplätze entstehen (vgl. NPE 2012: 7). [Leistungsfähigkeit]

Risiken

- ▶ Das Regierungsprogramm Elektromobilität der Bundesregierung sieht vor, dass sich Deutschland zu einem „Leitmarkt Elektromobilität“ entwickelt und als „Leitanbieter Elektromobilität“ etabliert. Wie die Erfahrung aus anderen Branchen gezeigt hat, geht der Aufbau einer Industrie und des entsprechenden Marktes Hand in Hand. Das Ziel, Leitanbieter auf dem Weltmarkt zu werden, wird sich ohne starken Heimatmarkt kaum verwirklichen lassen. Noch existiert eine Reihe von Faktoren, die die Nutzerakzeptanz für alternative Antriebstechnologien schmälern. Bei der Gegenüberstellung von Verbrennungsmotor und Elektroantrieb sind insbesondere folgende Punkte kritisch: Reichweite, Anschaffungskosten und die beschränkte Modellauswahl. Länder wie USA, Japan oder Frankreich adressieren diese Hemmnisse gezielt und versuchen, zum Teil mit milliardenschweren Programmen, Anreize für den Umstieg auf alternative Antriebstechnologien zu schaffen. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Derzeit ist ein Wettlauf um die Innovations- und Technologieführerschaft im Gange, wobei Deutschland riskiert, den Anschluss zu verlieren. Die Entwicklungsdynamik in anderen Ländern, vor allem in Japan und China, aber auch in den USA und Frankreich, ist rasant. Dies wird am Beispiel Chinas deutlich: Nach Planung der Staatsführung sollen bis 2020 fünf Millionen Elektroautos in der Volksrepublik gebaut werden. Laut dem Energy Saving and New Energy Vehicle Industry Development Plan sind dafür 15,4 Milliarden USD an staatlichen Investitionen veranschlagt (vgl. China Greentech Initiative 2011: 149). [Standortfaktoren]
- ▶ Für Elektroantriebe und Batterien werden Seltene Erden und Edelmetalle benötigt, die in Deutschland nicht vorkommen und deshalb importiert werden müssen. Die steigenden Preise für diese Ressourcen sowie die künstliche Verknappung einiger dieser Ressourcen stellen ein Risiko für die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Anbieter dar. [Leistungsfähigkeit]

2.2.3.2 SWOT-Analyse Erneuerbare Energien

Stärken

- ▶ Erneuerbare Energien haben sich in Deutschland zu einer Schlüsseltechnologie entwickelt. 2011 erreichten die Erneuerbaren einen Anteil von 20,3% Prozent am Bruttostromverbrauch in Deutschland; 1991 lag dieser Anteil noch bei 3,1% (vgl. BMU 2012b: 20). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Durch den Einsatz politischer Instrumente und Fördermaßnahmen ist der Ausbau der regenerativen Energien in Deutschland wesentlich schneller erfolgt als in anderen Staaten. Vor diesem Hintergrund haben deutsche Anbieter in vielen Feldern der Erneuerbaren Energien einen Technologievorsprung, aus dem sie First-Mover-Vorteile auf den internationalen Märkten ziehen konnten. [Leistungsfähigkeit; Innovation]
- ▶ Auf der Basis der Stärken in der Elektrotechnik, in der Leistungselektronik sowie im Maschinen- und Anlagenbau hat sich im Lauf von vier Jahrzehnten eine Anbieterlandschaft entwickelt, die fest in der deutschen Industrie verankert ist. Es gibt in Deutschland etwa 20.000 Unternehmen – kleine und mittlere Betriebe ebenso wie Konzerne – für die Erneuerbare Energien ein zentrales Geschäftsfeld bilden. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Technologieführerschaft Deutschlands in vielen Feldern der Erneuerbaren Energien spiegelt sich in der Patentstatistik wider: Laut einer UNEP-Studie platziert sich Deutschland in der Gesamtbetrachtung der Patentanmeldungen von acht „grünen Technologien“¹³ im Zeitraum 1988 bis 2007 unter den ersten vier Staaten der internationalen Rangliste. Bei Patenten im Bereich der Windenergie fällt die deutsche Positionierung bei den Patentanmeldungen besonders gut aus: Deutschland hat doppelt so viele Patente angemeldet wie die USA und drei Mal so viele wie Japan. Andere Bereiche, in denen Deutschland eine starke Rolle bei den Patentanmeldungen spielt, sind Photovoltaik, Solarthermie, Wasserkraft und Biokraftstoffe (vgl. UNEP, EPO, ICTSD 2010: 30). [Innovation]
- ▶ Betrachtet man die Anteile der einzelnen regenerativen Energieträger am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2011, so entfallen auf die Biomasse 8,2%¹⁴ (Windenergie 2%, Wasserkraft 0,7%, Solarenergie/Geothermie 1,3%) (vgl. BMU 2012b, S. 16). Auf dem Weltmarkt für Biomasse sind deutsche Anbieter stark präsent. Bei der Biomassenutzung halten sie einen Anteil von 31% am globalen Markt (2011) (vgl. BMU 2012a: 35). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Sowohl in der akademischen als auch in der beruflichen Aus- und Weiterbildung für Fachkräfte im Bereich der Erneuerbaren Energien hat Deutschland eine starke Position. Es gibt inzwischen eine Vielzahl von spezialisierten Studiengängen an deutschen Hochschulen und Universitäten. Auch auf der Facharbeiter- und Techniker-ebene gibt es ein breites Spektrum von Aus- und Weiterbildungsangeboten (vgl. BMU 2012a: 146f.). [Standortfaktoren]

Schwächen

- ▶ Der Photovoltaik-Boom der vergangenen Jahre hat auf der Angebotsseite des globalen Marktes zum Aufbau von erheblichen Überkapazitäten von Solarzellen und Solarmodulen geführt. Daraus resultierte ein Preisverfall: So sind beispielsweise die Preise für kristalline Solarmodule im Jahr 2011 um 40% gesunken. Aktuell liegen die Zell- und Modulpreise für viele Anbieter unterhalb der Herstellkosten. Der Preisrückgang wird sich künftig fortsetzen, wenn auch mit verlangsamtem Tempo. Vor diesem Hintergrund werden Skaleneffekte bei der Produktion zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor im Massenmarkt. Dies verschafft Anbietern aus Asien, insbesondere aus China, Wettbewerbsvorteile. Bei Solarzellen und Modulen ist Deutschland Netto-Importeur; Schätzungen zufolge kommen 80% der 2011 in Deutschland installierten PV-Module aus Asien (vgl. Wirth 2012: 20).
- ▶ Bei der Windenergie nimmt die Konkurrenz aus Asien ebenfalls zu; allerdings haben deutsche Unternehmen hier noch einen technologischen Vorsprung. [Leistungsfähigkeit]

¹³ In der Studie bezeichnet als 'Clean Energy Technologies'; ausgewählt für die Analyse der Patentanmeldungen wurden Photovoltaik, Solarthermie, Windenergie, Geothermie, Wasserkraft, Biokraftstoffe, Carbon Capture, Carbon Storage und IGCC.

¹⁴ Dazu werden gerechnet feste, flüssige, gasförmige Biomasse (Biogas, Klärgas und Deponiegas), biogener Anteil des Abfalls sowie biogene Kraftstoffe.

- ▶ Bis vor einigen Jahren waren deutsche Anbieter Technologieführer in den Bereichen Solarzellen und Module. Inzwischen sind chinesische Produzenten nachgerückt, die großteils die gleiche Qualität zu erheblich niedrigeren Preisen bieten können. [Leistungsfähigkeit]

Chancen

- ▶ Die klima- und energiepolitischen Ziele der Europäischen Union und Deutschlands bleiben weiterhin wichtige Innovationstreiber. [Standortfaktoren]
- ▶ Die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland begünstigen die Weiterentwicklung der Technologien im Bereich der Erneuerbaren Energien. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) stellt sicher, dass die Stromversorger aus regenerativen Quellen erzeugten Strom vorrangig abnehmen und in einer vom Gesetzgeber definierten Höhe vergüten müssen. Das zu Beginn des Jahres 2009 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz verpflichtet Bauherren neuer Wohn- und Gewerbeimmobilien, für die Wärmebereitstellung und Warmwasserbereitung regenerative Energien zu nutzen oder in eine Verbesserung der Energieeffizienz zu investieren. [Standortfaktoren]
- ▶ Die hohe Akzeptanz und das in der Gesellschaft verankerte Umweltbewusstsein schaffen eine gute Basis, dass sich die Erneuerbaren Energien in Deutschland weiterhin in einem starken Heimatmarkt entwickeln können. [Standortfaktoren]
- ▶ Viele deutsche Anbieter verfügen über hohe Systemkompetenz und sind in der Lage, komplexe Projekte zu planen und zu steuern. Es zeichnet sich der Trend ab, dass umfangreiche Leistungspakete aus Produkten und den dazugehörigen Dienstleistungen geschnürt werden. So bieten Hersteller von Windenergieanlagen beispielsweise ihren Kunden Planung, Technik, Finanzierung und Wartung aus einer Hand (vgl. BMU 2012a: 174). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Der Weltmarkt für Erneuerbare Energien wächst durch die stark steigende internationale Nachfrage (vgl. REN21 2012: 13ff.). Diese Entwicklung eröffnet deutschen Anbietern weitere Wachstumsperspektiven. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Preissteigerungen für fossile Energieträger können dazu beitragen, Innovationen im Bereich der regenerativen Energien voranzutreiben. [Innovation]
- ▶ Im Rahmen der Energiewende hat die Windenergie beim Ausbau der Erneuerbaren Energien eine wesentliche Rolle: Ihr Anteil an der Stromversorgung soll bis 2025 auf 25% steigen (vgl. BMU 2011a). Dieses Ziel soll vor allem durch Offshore-Windparks und die technologische Nachrüstung – das sogenannte Repowering – der Windenergieanlagen auf dem Festland erreicht werden. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Deutsche Anbieter im Bereich Erneuerbare Energien haben das Potenzial, ihre Technologieführerschaft wiederzuerlangen, zu verteidigen bzw. auszubauen. In der Photovoltaik zeigen sich vielversprechende Ansätze bei der Weiterentwicklung von Dünnschichtmodulen sowie von organischen Solarzellen [Innovation].

Risiken

- ▶ Die deutschen Akteure auf dem Markt für Erneuerbare Energien bekommen zunehmend Konkurrenz von Unternehmen aus Asien, insbesondere aus China. Angesichts des Preisverfalls bei Solarmodulen droht eine Fortsetzung des aggressiven Verdrängungswettbewerbs. Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich im Bereich der Windenergie ab, darauf deuten Preiskämpfe mit volumenträchtigen asiatischen Anbietern hin. Allerdings haben die Unternehmen aus Deutschland im Bereich der Windenergie noch einen Technologievorsprung. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ In vielen Bereichen ist die Branche der Erneuerbaren Energien nach wie vor stark von der politischen Förderung abhängig. [Standortfaktoren]
- ▶ Es ist derzeit fraglich, ob sich bei den kristallinen Solarzellen noch eine Optimierung des Wirkungsgrads in einem unter Wirtschaftlichkeitsaspekten relevanten Umfang erreichen lässt. [Innovation]
- ▶ Ein wichtiger Faktor für die Bemessung der Zeitachse, in der regenerativ erzeugter Strom zu Marktpreisen konkurrenzfähig wird, ist die Entwicklung des Emissionshandels. Wenn sich die USA und China zur Einführung

eines Emissionshandelssystems entschließen, wird die Preisentwicklung für CO₂-Zertifikate auch unter ökonomischen Gesichtspunkten die Attraktivität Erneuerbarer Energien erhöhen. [Standortfaktoren]

- ▶ Die meisten der für den Ausbau der Erneuerbaren Energien erforderlichen Technologien sind abhängig von der Entwicklung auf den Rohstoffmärkten. Als kritischer Faktor könnte sich die Verfügbarkeit strategischer Ressourcen erweisen. So werden zum Beispiel für die Solarenergie die Seltenerdmetalle Indium und Tellur benötigt. In den Magneten von Windturbinen steckt Neodym, ebenfalls ein Element der Seltenen Erden.
- ▶ Die gesellschaftliche Akzeptanz der Erneuerbaren Energien in Deutschland könnte durch kontroverse Diskussionen in einigen Teilsegmenten schwinden. So gibt es beispielsweise auf lokaler Ebene Bürgerinitiativen, die sich gegen den Bau von Windenergieanlagen richten, weil sie eine „Verspargelung der Landschaft“ befürchten. Kritische Stimmen artikulieren sich auch zur Produktion pflanzlicher Biomasse: Hier gibt es eine Nutzungskonkurrenz um Agrarflächen. Weil sich teilweise mit Energiepflanzen höhere Erträge erwirtschaften lassen, dominieren Mais- und Rapsfelder mancherorts das Landschaftsbild. Vor diesem Hintergrund spielt die energetische Nutzung von Biomasse aus Reststoffen und Abfällen (beispielsweise Biomüll, Klärschlamm, Klärgas, Deponiegas, Gülle) eine zunehmend wichtigere Rolle. [Standortfaktoren]

2.2.3.3 SWOT-Analyse Speichertechnologien

Stärken

- ▶ Mit einer innovativen und international stark positionierten Chemieindustrie hat Deutschland eine gute Ausgangsposition, um die FuE im Bereich der elektrochemischen Speichertechnologien voranzutreiben. [Leistungsfähigkeit; Innovation]
- ▶ Im Bereich der Speichertechnologien sind die Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft in Deutschland breit aufgestellt und können das gesamte Spektrum von mechanischen, elektrischen und elektrochemischen Energiespeichern abdecken. Diese breite Basis bildet eine gute Voraussetzung, um vielfältige Anwendungsfelder zu erschließen – und damit langfristig viele Bereiche eines Wachstumsmarktes zu besetzen. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Deutschland verfügt grundsätzlich über das notwendige Fachkräftepotenzial, um sich zu einem der führenden Anbieter von Speichertechnologien zu entwickeln. Es gibt eine gute Basis an Ingenieuren, Technikern und Facharbeitern aus den relevanten Fachrichtungen. [Standortfaktoren; Fachkräfte]
- ▶ Im Rahmen der „Förderinitiative Energiespeicher“ stellt die Bundesregierung bis 2014 bis zu 200 Millionen EUR bereit. Viele Technologien zur Energiespeicherung befinden sich derzeit noch im Grundlagenstadium oder in der Entwicklungsphase. Die Fördermittel sollen dazu beitragen, den Weg zur Marktreife zu beschleunigen (vgl. BMU, BMWi, BMBF 2011). [Standortfaktoren; Innovation]
- ▶ Derzeit hat Deutschland eine gute Position im internationalen Entwicklungswettbewerb und bietet eine vielfältige Forschungsinfrastruktur mit einer gut vernetzten Hochschullandschaft. [Innovation]

Schwächen

- ▶ Der notwendige Ausbau der Kapazität an Elektroenergiespeichern bedeutet einen zusätzlichen Bedarf an spezialisierten Fachkräften. Gerade in der Batterieforschung und in der Materialforschung elektrochemischer Systeme wurden jedoch an den Hochschulen und Universitäten seit den 1990er Jahren die Forschungsaktivitäten zurückgefahren. Es gibt aktuell zu wenig Experten mit der Kernkompetenz Elektrochemie (vgl. NPE 2010b: 4). [Standortfaktoren]
- ▶ Bei der Materialentwicklung für die Schlüsselkomponenten der Batteriezellen besteht eine Abhängigkeit von den Patenten amerikanischer und japanischer Hersteller.
- ▶ Die Hauptmärkte und das Zentrum der Entwicklungsaktivitäten lagen bisher vor allem in den USA und Japan. In den Vereinigten Staaten wurden mit Unterstützung des Department of Energy Speichersysteme weiterentwickelt, sowohl zur Netzstabilisierung als auch für militärische Anwendungen. In Japan standen dagegen meist die Stabilisierung von Inselnetzen oder der Ausbau der Übertragungsnetze im Vordergrund, insbesondere in den Ballungsräumen. Sowohl in Japan als auch in den USA werden seit längerer Zeit Forschungsarbeiten zu Energiespeichersystemen gefördert (vgl. BMU, UBA 2007: I). [Leistungsfähigkeit; Innovation]

- ▶ Die USA und China setzen erhebliche Fördermittel ein, um den Aufbau von Speichertechnologien voranzutreiben: Beispielsweise hat das Department of Energy für den Zeitraum 2010 bis 2011 einen Betrag von 5,4 Milliarden USD zur Verfügung gestellt, um die Industrialisierung von Zellen und Batterien voranzutreiben (vgl. NPE 2010b: 5). [Standortfaktoren]

Chancen

- ▶ Die Batterietechnik ist eine Technologie, die auf unterschiedlichen Anwendungsfeldern zum Einsatz kommt: Sie ist nicht nur die Schlüsselkomponente in der Elektromobilität, sondern kann auch eine maßgebliche Rolle bei der Umgestaltung des Energiesystems spielen. Batterien in Elektrofahrzeugen können als dezentrale Speicher für regenerativ erzeugten Strom dienen. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Es ist davon auszugehen, dass der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in vielen Ländern ausgebaut wird. Um die Netzintegration des regenerativ erzeugten Stroms und die Versorgungssicherheit bei fluktuierender Einspeisung von Windenergie und Photovoltaik sicherzustellen, sind Speichertechnologien eine wesentliche Voraussetzung. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Wenn die Erneuerbaren einen größeren Part bei der Stromversorgung übernehmen, geht damit in der Regel auch eine zunehmende Dezentralisierung der Energieversorgung einher. Auch im Rahmen dieser Entwicklung wächst die Relevanz von (dezentralen) Speichertechnologien. Als Vorreiter beim Ausbau der Erneuerbaren Energie ist Deutschland prädestiniert, eine international führende Rolle bei der Transformation von Energiesystemen einzunehmen. Dabei können deutsche Anbieter ihr Know-how bei der Entwicklung von Technologien und Lösungen demonstrieren. [Leistungsfähigkeit]

Risiken

- ▶ Beim Ausbau der Elektroenergiespeicher könnte die Rohstoffverfügbarkeit ein limitierender Faktor werden: Je nach Speichertechnologie werden seltene bzw. nur eingeschränkt verfügbare Ressourcen benötigt, beispielsweise Lithium, Kobalt, Nickel und Mangan für Lithium-Ionen-Akkumulatoren. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Viele Speichertechnologien befinden sich in Deutschland noch im Grundlagenstadium bzw. in der Entwicklungsphase. Falls es nicht gelingt, den Durchbruch zur Marktreife zu beschleunigen, ist fraglich, ob die Ziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie der Elektromobilität im bisher angestrebten Zeitraum bzw. Umfang verwirklicht werden können. Hinzu kommt, dass die Geschwindigkeit des Innovationsprozesses auch maßgeblich darüber entscheidet, welche Anbieter sich auf den internationalen Märkten First-Mover-Vorteile sichern können. [Innovation; Leistungsfähigkeit]
- ▶ Im Bereich der Speichertechnologien sind viele kleine und mittlere Unternehmen engagiert; sie verfügen nur über begrenzte finanzielle und personelle Ressourcen, um FuE-Projekte im großen Maßstab voranzutreiben. Dies kann sich im Hinblick auf die Innovationsdynamik als Hemmnis erweisen. [Innovation]

2.2.3.4 SWOT-Analyse Effizienztechniken im industriellen Sektor

Stärken

- ▶ Gerade Unternehmen aus stromintensiven Branchen waren bereits in den letzten Jahren hochmotiviert, den Energieverbrauch in ihren Kernprozessen durch energieeffiziente Maschinen und Anlagen sowie Verfahren zu reduzieren. So konnte beispielsweise bei der Stahlproduktion, in der Chemieindustrie und in der Papier- und Pappeherstellung die Energieeffizienz deutlich erhöht werden (vgl. BMU 2012a: 68). Energieeffizienz hat sich zu einem Wettbewerbsvorteil und „Markenzeichen“ des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus entwickelt.
- ▶ Der Maschinen- und Anlagenbau zählt mit einem Umsatz von 201 Milliarden EUR (2010) und über 900.000 Beschäftigten zu den wichtigsten und größten Industriebranchen in Deutschland. Rund drei Viertel der Maschinenproduktion deutscher Hersteller sind für den Export bestimmt (vgl. VDMA 2012). Die Erzeugnisse des Maschinenbaus kommen in einem breiten Kundenspektrum aus verschiedenen Bereichen des Verarbeitenden Gewerbes zum Einsatz. Deshalb spielt der Maschinen- und Anlagenbau eine Schlüsselrolle für die Diffusion von Innovationen ressourceneffizienter Technologien. [Standortfaktoren, Leistungsfähigkeit]

- ▶ Anbieter aus Deutschland haben große Stärken bei energieeffizienten Querschnittstechnologien wie Elektromotoren sowie bei elektromotorisch betriebenen Systemen wie Lüftern und Pumpen. Aufgrund ihrer vielfältigen Anwendungsgebiete sind Elektromotoren ein wesentlicher Hebel für die Energieeinsparung bei Querschnittstechnologien: Elektromotoren sind für 40% des weltweiten Stromverbrauchs verantwortlich und für knapp 70% des industriellen Stromverbrauchs in Deutschland (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 1). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Erfolge deutscher Unternehmen bei energieeffizienten Querschnittstechnologien zeigen sich unter anderem an den Weltmarktanteilen für Elektromotoren (rund 10%) und an der Mess-, Steuer- und Regeltechnik (circa 16%) (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 12; BMU 2012a: 35). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Bei den Patentanmeldungen für Elektromotoren liegen Deutschland und Japan im Zeitraum 1991 bis 2008 an der Spitze. Beide Staaten haben jeweils einen Anteil von 26% an den weltweiten Patentanmeldungen, gefolgt von den USA mit 18% (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 16). [Innovation; Patentanmeldungen]
- ▶ Sowohl bei den industriellen Kernprozessen als auch bei Querschnittstechnologien haben die deutschen Anbieter einen starken Heimatmarkt, da Deutschland im Vergleich zu anderen hochentwickelten Volkswirtschaften einen hohen Industrialisierungsgrad aufweist. Diese Wirtschaftsstruktur entfaltet eine Innovationsdynamik, weil eine Verbesserung der Energieeffizienz im Verarbeitenden Gewerbe die Kosten senkt und damit die Wettbewerbsfähigkeit steigert.
- ▶ Ressourceneffizienz hat auf der umweltpolitischen Agenda Deutschlands einen hohen Stellenwert. Dies unterstreichen die Gründung von Initiativen wie der Deutschen Energie-Agentur (DENA) und der Deutschen Materialeffizienzagentur (demea) sowie Förderprogramme, die Unternehmen für die Umsetzung energieeffizienter Maßnahme in Anspruch nehmen können. [Standortfaktor; politische Unterstützung]

Schwächen

- ▶ Es besteht ein gewisser Nachholbedarf deutscher Anbieter, die Energieeffizienz ihrer Produkte und Verfahren als Differenzierungsmerkmal zu vermarkten. Allerdings gibt es hier vielversprechende Ansätze wie Blue Competence, die Nachhaltigkeitsinitiative des VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau).
- ▶ Nachfrageseitig stellt sich häufig das Problem, dass der einzelne Anwender die Bedeutung der Querschnittstechnologien unterschätzt. Insgesamt bleibt deshalb ein erhebliches Potenzial für die Senkung des Energieverbrauchs – und damit auch der Treibhausgasemissionen – ungenutzt.

Chancen

- ▶ Energieeffiziente Produkte und Verfahren sind weltweit ein Markt mit erheblichem Wachstumspotenzial. Dies ist im Wesentlichen auf zwei Treiber zurückzuführen: Zum einen fördern steigende Energiepreise und der global zunehmende Energiebedarf die Nachfrage nach effizienten Maschinen und Verfahren für industrielle Kernprozesse und Querschnittstechnologien. Zum anderen vergrößert die fortschreitende Industrialisierung der Schwellenländer den Absatzmarkt für Maschinen und Anlagen sowie für Querschnittstechnologien in der industriellen Fertigung.
- ▶ Ressourceneffizienz von Produkten und Verfahren wird zunehmend als Differenzierungsfaktor im internationalen Wettbewerb wahrgenommen. Dies eröffnet deutschen Anbietern, die große Stärken in Effizienztechnologien vorweisen, mittel- und langfristig gute Perspektiven auf dem Weltmarkt.
- ▶ Die EU hat Mindestanforderungen an die Gestaltung von energie- und stromverbrauchenden Produkten definiert (Ökodesign-Richtlinie, Energieverbrauchskennzeichnungspflicht). Von diesen EU-weit geltenden Regulierungsvorschriften werden auch Elektromotoren, Pumpen und Ventilatoren erfasst (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 28). Das heißt, mittel- und langfristig steigen die Anforderungen an die Energieeffizienz dieser Querschnittstechnologien. Deutschen Anbietern eröffnen sich dadurch Chancen, ihre gute Marktposition und ihre Innovationskraft für den Ausbau ihrer Anteile auf den europäischen Märkten zu nutzen, auf denen hocheffiziente Elektromotoren noch weniger verbreitet sind als in den USA. [Standortfaktoren]
- ▶ Nicht nur in den EU-Staaten, sondern auch in anderen Wirtschaftsregionen steigen die Anforderungen an die Energieeffizienz: Zum Beispiel haben die USA einen Maßnahmenkatalog zur Verbesserung der Energieeffizienz vorgelegt; die darin enthaltenen Vorschläge sollen den Energieverbrauch bis 2030 um die Hälfte reduzieren.

Die Volksrepublik China will in der laufenden Periode des Fünfjahresplans (2011-2015) den Energieverbrauch um 16% senken (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 29). Vor diesem Hintergrund steigt der Bedarf an energieeffizienten Verfahren und Produkten, sowohl für die industriellen Kernprozesse als auch für die Querschnittstechnologien.

- ▶ Die im Jahr 2008 erfolgte Einführung einheitlicher internationaler Standards für Elektromotoren sorgt für Transparenz auf den globalen Märkten und führt zu einer Vergleichbarkeit der Effizienzklassen. Davon können deutsche Exporteure profitieren (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 6).

Risiken

- ▶ Bei den Querschnittstechnologien gewinnt die Konkurrenz aus Japan und China an Bedeutung. Zwar weisen chinesische Anbieter von Elektromotoren noch eine geringere Innovationsdynamik auf, aber deren Exportraten sind in den letzten Jahren im Aufwärtstrend (vgl. Fraunhofer ISI 2011b: 24). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Was die politischen Rahmenbedingungen angeht, wird Deutschland seiner Vorreiterrolle bei Effizienztechnologien nicht in allen Bereichen gerecht: Zum Beispiel gibt es keine konkreten Vorgaben, mit welchen Maßnahmen das EU-Ziel erreicht werden soll, bis 2020 20% der Primärenergie einzusparen. [Standortfaktoren]
- ▶ Deutschland ist international nicht führend bei der Setzung von Energieeffizienzstandards: So hat Japan beispielsweise bereits 1999 das sogenannte Top-Runner-Programm eingeführt: Danach gibt jeweils das energieeffizienteste Produkt den verbindlichen Standard vor – was die Innovationsdynamik fördert (vgl. METI 2010: 5). [Standortfaktoren]

2.2.3.5 SWOT-Analyse Energieeffizienz von Gebäuden

Stärken

- ▶ In Deutschland hat sich im Immobiliensektor ein neuer Leitmarkt für Energie- und Ressourceneffizienz entwickelt, der bereits ein Volumen von rund 40 Milliarden EUR erreicht hat (Stand 2010). Dieser Markt umfasst Produkte und Leistungen zur Effizienzsteigerung durch energetische Sanierung und hocheffizienten Neubau (vgl. Roland Berger 2011a). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Deutsche Anbieter sind in den drei Technologiefeldern Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik, Dämmung und Gebäudeautomation auf den internationalen Märkten gut positioniert. Insbesondere im Technologiefeld Heizung, Klima und Lüftung gehören Unternehmen aus Deutschland zu den weltweit führenden Herstellern. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Entwicklung des Marktes für energieeffiziente Gebäude wird durch die öffentliche Hand unterstützt. Es gibt eine Reihe staatlicher Programme zur Förderung der energetischen Gebäudesanierung, beispielsweise durch die KfW-Bankengruppe. [Standortfaktoren]
- ▶ Die Energieeffizienz im Immobiliensektor wird durch Regulierungsvorschriften gefördert: Die Energieeinsparverordnung (EnEV) definiert energetische Mindeststandards für Neubauten. Die für das erste Halbjahr 2013 vorgesehene Novelle der EnEV soll die Anforderungen an die Energieeffizienz im Gebäudebereich weiter erhöhen (vgl. Tuschinski 2012: 2). [Standortfaktoren]
- ▶ Deutschland hat hohe Patentanteile bei den energieeffizienten Heizungssystemen, bei der Gebäudeautomatisierung sowie bei der energieeffizienten Gebäudetechnik. [Innovation]

Schwächen

- ▶ Die Akteure des Marktes für Energieeffizienz im Gebäudesektor haben – im Gegensatz zu den Playern auf dem Feld der Erneuerbaren Energien – noch keine technologieübergreifende Branchenidentität aufgebaut. Dies erschwert ganzheitliche Ansätze bei der Umsetzung von energieeffizienten Sanierungsmaßnahmen. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Digitalisierung und IT-Steuerung spielen eine zunehmend wichtigere Rolle in der Gebäudetechnik. Während die Wettbewerber aus Asien diesen Trend bereits in ihrem Angebotsportfolio berücksichtigen, haben deutsche

Anbieter bei diesen Themen Nachholbedarf. Dieses Defizit ist ganz wesentlich für das relativ schlechte Abschneiden Deutschlands in der Gebäudeautomation verantwortlich.

- ▶ Die Einsparpotenziale, die sich durch Sanierung im Bestand von Wohn- und Gewerbeimmobilien erzielen lassen, werden derzeit noch unzureichend realisiert. Ein Grund auf der Nachfrageseite ist, dass die Anschaffungskosten in Relation zu den Betriebskosten überschätzt werden. Auf der Angebotsseite besteht ein Defizit an Dienstleistern, die das gesamte Spektrum der energetischen Sanierung von der Beratung über die Planung und Ausführung bis hin zur Wartung und Instandhaltung anbieten. [Leistungsfähigkeit]

Chancen

- ▶ Die EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU verlangt, dass ab dem Jahr 2021 alle Neubauten Niedrigenergiegebäude sind. Diese Regulierungsvorschrift kann sowohl die Marktentwicklung als auch die Innovationsdynamik im Bereich der energieeffizienten Technologien im Immobiliensektor positiv beeinflussen. [Standortfaktoren]
- ▶ Die Einführung international einheitlicher Standards für die Energieeffizienz von Gebäuden würde die Markttransparenz erhöhen. Wenn es gelänge, deutsche Normen und Standards zu exportieren, würden sich die Chancen heimischer Anbieter auf den Weltmärkten erhöhen. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Nachfrage nach energieeffizienten Gebäuden und den entsprechenden Technologien wird sowohl bei Wohnimmobilien als auch bei Gewerbeimmobilien zunehmen. Treiber dieser Entwicklung sind die steigenden Preise für Wärmeenergie und Strom, die Eigentümer und Nutzer von Gebäuden immer stärker für das Thema Energieeffizienz sensibilisieren. [Marktentwicklung]
- ▶ Die Transformation des Energiesystems erhöht den Stellenwert der Gebäudeautomation. Technologien, die eine Integration von Immobilien in das Smart Grid ermöglichen, werden zunehmend gefragt sein. Dies könnte bedeuten, dass die Gebäudeautomation sich stärker als bisher im privaten Sektor durchsetzt, wo sich eine Konvergenz der Technologien abzeichnet (Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte und Gebäudetechnik). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Steigende Energiepreise werden die marktgetriebene Innovationsdynamik bei den energieeffizienten Technologien im Gebäudesektor erhöhen. [Innovation]

Risiken

- ▶ Auf dem Markt der Energieeffizienz im Immobiliensektor zeichnet sich eine Konvergenz unterschiedlicher Technologien ab; entscheidend ist das Zusammenwirken unterschiedlicher Komponenten (Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik, Gebäudeautomation, Integration ins Smart Grid). Dieser Trend begünstigt Anbieter, die ein breites Spektrum von Effizienztechnologien im Immobiliensektor abdecken können. Während in Japan, Südkorea und in den USA solche Akteure beheimatet sind, ist die Anbieterlandschaft in Deutschland eher kleinteilig strukturiert und – von Ausnahmen abgesehen – eher auf einzelne Technologiesegmente fokussiert. Diese Ausgangslage birgt die Gefahr, dass deutsche Unternehmen nicht hinreichend am Wachstum des globalen Marktes für Energieeffizienz im Gebäudesektor partizipieren können und auch auf ihrem Heimatmarkt zunehmend der Konkurrenz von Wettbewerbern aus Asien oder den USA ausgesetzt sind. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Das Energiekonzept der Bundesregierung will den Gebäudebestand bis 2050 klimaneutral machen. Voraussetzung dafür ist eine deutliche Senkung des Energieverbrauchs von Gebäuden. Angestrebt ist eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs um 80%. Es gibt allerdings keine konkreten Maßnahmen oder Etappenziele, wie dieses ambitionierte Vorhaben erreicht werden kann. Angestrebt wird eine Verdopplung der Sanierungsrate für Gebäude von derzeit jährlich rund 1% auf 2% (vgl. BMWi, BMU 2010: 22). Aktuell sind die Sanierungsquoten im Bestand zu gering; auch die auf das erste Halbjahr 2013 verschobene Novelle der EnEV sieht keine Anhebung der energetischen Anforderungen für Bestandsimmobilien vor. [Standortfaktoren; Regulierung]

2.2.3.6 SWOT-Analyse Stoffliche Abfallverwertung

Stärken

- ▶ Deutschland kann im internationalen Vergleich mit hohen Recyclingquoten aufwarten: Von den Abfällen aus Produktion und Gewerbe werden 68% stofflich verwertet, von den Siedlungsabfällen 63% (Abfallbilanz 2010). Bei einigen Stoffgruppen, beispielsweise Papier, Pappe, Kartonagen sowie Glas liegt die Recyclingquote bei weit über 90% (vgl. Statistisches Bundesamt 2012a). [Standortfaktoren; Leistungsfähigkeit]
- ▶ In Deutschland wurden bereits in den 1970er Jahren die gesetzlichen Grundlagen für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft gelegt. In den 1980er Jahren wurde die sogenannte „Abfallhierarchie“ – Vermeiden, Verwerten, Beseitigen – als Grundsatz verankert. Im Oktober 2011 wurde das Kreislaufwirtschaftsgesetz verabschiedet; diese Novelle setzt den Schwerpunkt des Abfallrechts stärker auf die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling. Der stofflichen Verwertung wird ausdrücklich Vorrang vor der energetischen Verwertung eingeräumt (vgl. BMU 2011b). [Standortfaktoren].
- ▶ Die politische Regulierung auf Ebene der europäischen und nationalen Gesetzgebung (Richtlinie über Altfahrzeuge, Waste Electrical and Electronic Equipment-Richtlinie, Abfallrahmenrichtlinie) war bislang der wichtigste Markttreiber und hat eine Schlüsselrolle bei der Technologieentwicklung in Deutschland gespielt. [Standortfaktoren]
- ▶ Auf deutsche Anbieter entfällt bei Anlagen für Abfallwirtschaft und Recycling ein Weltmarktanteil von 24%. Bei Anlagen zur automatisierten Stofftrennung halten deutsche Unternehmen einen Weltmarktanteil von zwei Dritteln (vgl. BMU, UBA 2011a: 153). [Leistungsfähigkeit].
- ▶ Deutschland verfügt über eine entwickelte Forschungslandschaft, die sich durch eine gute Vernetzung der Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft auszeichnet [Innovation].
- ▶ Bei der Abfall- und Recyclingtechnik spiegelt sich die Innovationsstärke deutscher Anbieter auch in den Patentanmeldungen wider. Im Zeitraum 2004 bis 2007 entfielen weltweit 17% aller Patente im Bereich Recycling auf Deutschland und 10% der Patente im Bereich Abfallwirtschaft (vgl. BMU, UBA 2011a: 153f.). [Innovation]

Schwächen

- ▶ Die Recyclingbranche in Deutschland ist eher kleinteilig strukturiert und wird von mittelständischen Unternehmen geprägt. Es gibt kaum große deutsche Player, die das gesamte Spektrum der Kreislaufwirtschaft – von der Abfallsammlung über die Verwertung bis hin zur Beseitigung – abbilden. Dieses Strukturmerkmal kann sich als Hindernis bei der Erschließung internationaler Märkte erweisen. Im Ergebnis würden deutsche Anbieter in geringerem Umfang vom Wachstum des globalen Marktes profitieren als ausländische Wettbewerber. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Das Potenzial der Branche Wiederverwertung/Kreislaufwirtschaft wird teilweise noch unterschätzt. Bei der Rekrutierung qualifizierter Bewerber hat dieser Wirtschaftszweig nach wie vor ein Imageproblem. [Standortfaktoren]
- ▶ Die Innovationstätigkeit im Recycling ist derzeit noch in den meisten Bereichen eher durch Regulierung getrieben als durch den Markt. [Innovation]
- ▶ Anbieter aus Deutschland gehören weltweit zur Spitzengruppe bei automatisierten Anlagen zur Sortierung und Stofftrennung. Nachholbedarf besteht dagegen bei Verfahren zur Wiedergewinnung und Verarbeitung bestimmter Materialien, etwa der elektrochemischen oder metallurgischen Trennung von Metallen (vgl. BMU, UBA 2011: 153). [Innovation]

Chancen

- ▶ Der Bedarf an Technologien zur Abfalltrennung und zum Recycling wird weltweit steigen. Treiber dieser Entwicklung sind vor allem die zunehmende Industrialisierung der Schwellenländer, die Urbanisierung sowie das Wachstum der Erdbevölkerung. Deutsche Anbieter können von dieser Marktexpansion profitieren (vgl. BMU, UBA 2011a: 151). [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Die Anhebung der Umweltstandards wird zu einer steigenden Nachfrage nach Sortier- und Recyclingtechnologien führen. So haben beispielsweise einige der osteuropäischen EU-Staaten noch erheblichen Nachholbedarf bei der Erfüllung der EU-Vorgaben zum Abfallmanagement (vgl. BMU, UBA 2011a: 151).

- ▶ Die steigenden Kosten für Primärrohstoffe und Energie werden dazu führen, dass sich der Einsatz von Sekundärrohstoffen immer stärker unter ökonomischen Aspekten rechnet. Vor diesem Hintergrund werden Innovationen im Bereich der Sortier- und Recyclingtechnologien künftig immer stärker marktgetrieben erfolgen – was eine neue Dynamik auslösen könnte. [Innovation]
- ▶ Durch die Preissteigerungen und die Knappheit strategischer Ressourcen (zum Beispiel Edelmetalle oder Seltene Erden) werden neue Geschäftsfelder im Bereich Recycling entstehen (Urban Mining etc.) (vgl. BMU 2012a: 120). [Innovation]

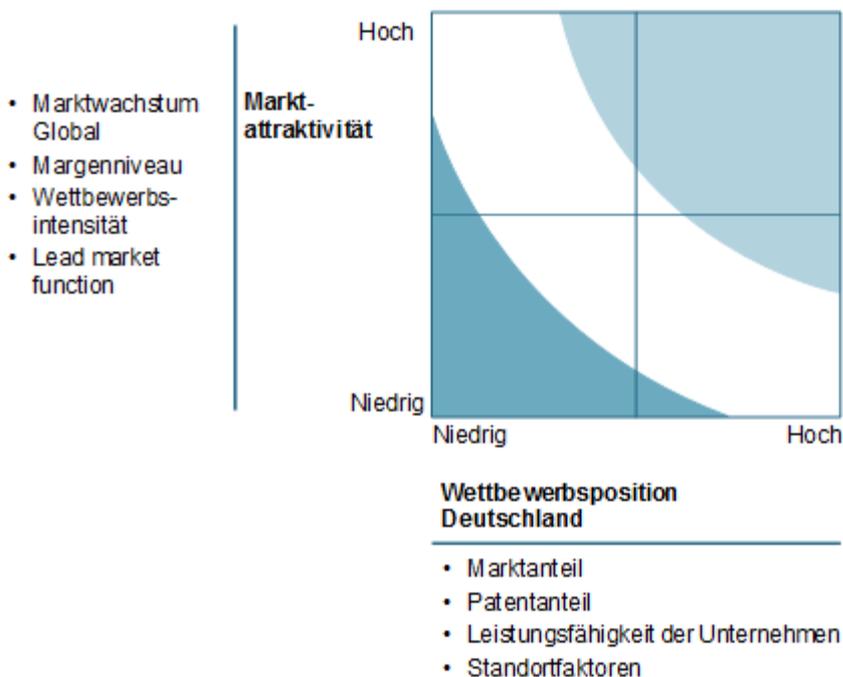
Risiken

- ▶ Die volatilen Marktpreise für Rohstoffe und Sekundärrohstoffe erschweren Investitionsentscheidungen in neue Anlagen und Verfahren zur Wiedergewinnung von Materialien. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ In einigen Ländern, die auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft bereits weit fortgeschritten sind, könnten konsequente Ansätze zur Müllvermeidung zu einem erheblichen Rückgang der Müllmenge führen – und damit zu einer Reduzierung des Marktvolumens der Recyclingwirtschaft. [Leistungsfähigkeit]
- ▶ Im Bereich Recycling ist eine Stagnation der deutschen Patentanmeldungen zu beobachten. Diese nachlassende Innovationsdynamik könnte dazu führen, dass Anbieter aus anderen Ländern mittelfristig ihre Anteile am weltweit wachsenden Markt für Technologien zur stofflichen Abfallverwertung ausbauen (vgl. NIW/Fraunhofer ISI 2011: 51). Bei Sortieranlagen spielen Optoelektronik, Sensortechnik und intelligente Steuerung eine Schlüsselrolle. Gerade in diesen Kompetenzfeldern verfügen Wettbewerber aus Japan oder den USA über große Stärken. [Innovation; FuE]

2.2.4 Portfolio-Analyse der identifizierten Submärkte

Für jeden der sechs identifizierten Submärkte wurde eine detaillierte Analyse durchgeführt, deren Fokus auf der Marktattraktivität und der derzeitigen Wettbewerbssituation Deutschlands im internationalen Vergleich lag. Die Bestimmung der Marktattraktivität und der Wettbewerbssituation Deutschlands ist anhand verschiedener Inputgrößen erfolgt (vgl. Abbildung 3). Deren Bewertung basiert auf den SWOT-Analysen, die im vorangegangenen Kapitel 2.2.3 detailliert dargestellt wurden. Die Inputgrößen wurden mithilfe eines Scoring-Modells gewichtet, das sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren berücksichtigt. Dabei wurde eine Skala von 1 (sehr niedrig) bis 5 (sehr hoch) zugrunde gelegt. Als Grundlage für die Einschätzung der Marktgrößen, der Margenniveaus und der Marktanteile wurde insbesondere auf das für die Studie „GreenTech made in Germany 3.0“ entwickelte Marktmodell und weitere Datenbanken von Roland Berger Strategy Consultants zurückgegriffen. Darüber hinaus wurden für die Bewertung auch Experten-Einschätzungen berücksichtigt. Die Aussagen über die Patentanteile basieren im Wesentlichen auf den Ergebnissen aus dem Bericht „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“.

Abbildung 3: Wesentliche Inputgrößen für die Portfolio-Analyse



Quelle: Eigene Darstellung

In der Portfolio-Matrix in 2.2.3 ist das Kriterium Marktattraktivität durch die Y-Achse repräsentiert. Im Einzelnen werden dabei folgende Inputgrößen berücksichtigt:

- ▶ Das globale Marktwachstum bezieht sich auf die zu erwartende durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2011 bis 2025.
- ▶ Das Margenniveau ist die durchschnittliche jährliche Profitabilität, die bis 2016 erwartet wird.
- ▶ Die Wettbewerbsintensität beschreibt die Marktstruktur einer Branche. Dazu werden Marktkonzentration, Globalisierung, Verhandlungsmacht der Kunden, Verhandlungsmacht der Lieferanten, Gefahr des Markteintritts neuer Wettbewerber und das Risiko von Substituten betrachtet.
- ▶ Der Begriff „Lead Market Function“ umfasst die Anwendungs- und Einsatzbreite einer Technologie über verschiedene Branchen hinweg.

Diese vier Inputgrößen wurden jeweils anhand einer Skala von 1 (sehr niedrig) bis 5 (sehr hoch) bewertet und für die Ermittlung des Gesamtwertes unterschiedlich gewichtet (Marktwachstum 30%, Margenniveau 25%, Wettbewerbsintensität 20%, Lead Market Function 25%).

Die X-Achse der Portfolio-Matrix in Abbildung 3 bildet die Wettbewerbsposition Deutschlands ab. Im Einzelnen sind folgende Inputgrößen in die Analyse eingeflossen:

- ▶ Der Marktanteil Deutschlands ist ein Indikator des Leistungsvermögens deutscher Anbieter auf internationalen Märkten.
- ▶ Als Ergebnis der Innovation und Ausdruck der Technologieführerschaft ist der Anteil an den Patenten (weltweit) der am weitesten verbreitete Indikator für die technologische Position.
- ▶ Die Leistungsfähigkeit beschreibt das Portfolio der Unternehmen in Bezug auf Umfang und regionale Verbreitung ihres Angebots an Produkten und Dienstleistungen. In die Bewertung fließen unter anderem der Kundenzugang sowie die Erschließung und Präsenz auf den internationalen Märkten ein.
- ▶ Standortfaktoren beziehen rechtliche Rahmenbedingungen, Infrastruktur und die Verfügbarkeit von Fachkräften sowie Fördermaßnahmen mit ein.

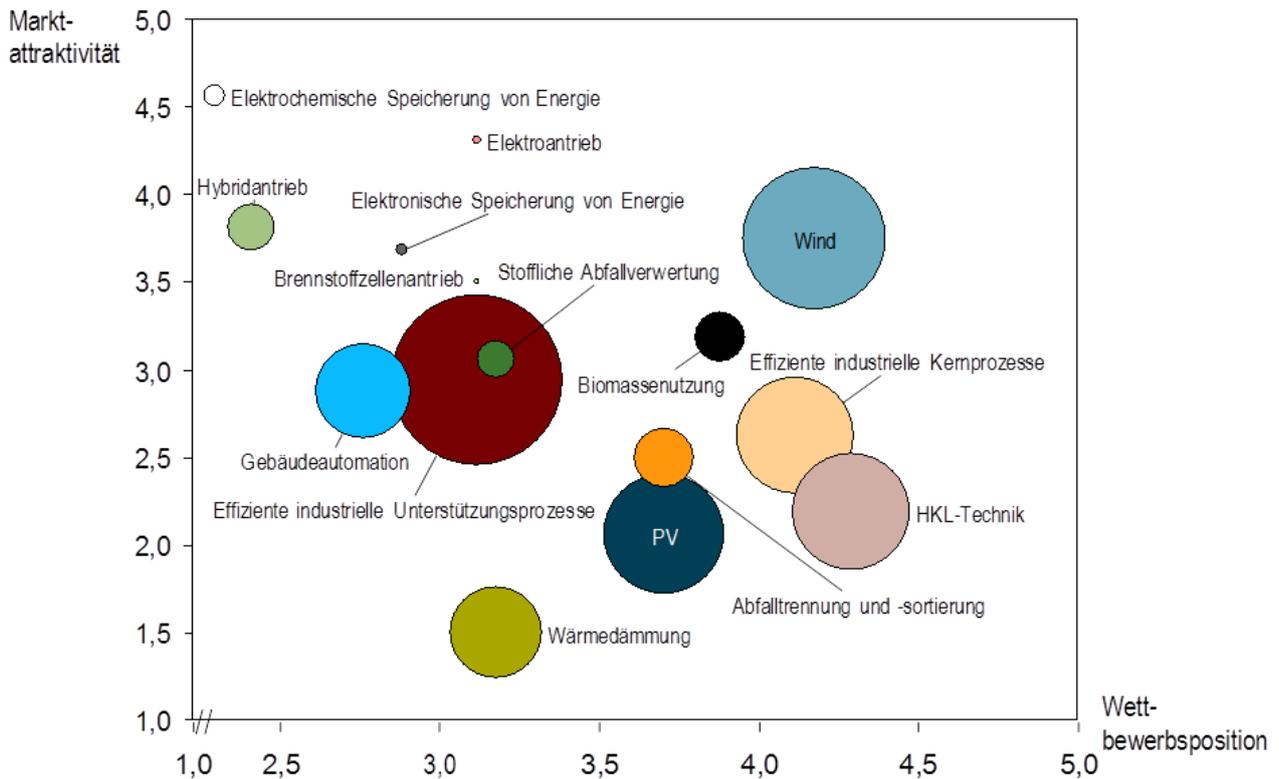
Auch die genannten Inputgrößen anhand derer die Wettbewerbsposition Deutschland bestimmt wurde, wurden jeweils mittels einer Skala von 1 (sehr niedrig) bis 5 (sehr hoch) bewertet. Der für jede Inputgröße ermittelte Wert wurde für die Ermittlung des aggregierten Wertes unterschiedlich gewichtet (Marktanteil 30%, Patentanteil 25%, Leistungsfähigkeit der Unternehmen 15%, Standortfaktoren 30%).

Kernaussagen der Portfolio-Analyse

Die Portfolio-Analyse der ausgewählten Submärkte und ihrer Schlüsseltechnologien (siehe Abbildung 4) lässt sich im Hinblick auf die Stellung der deutschen Unternehmen im internationalen Wettbewerb auf folgende Kernaussagen verdichten:

- ▶ Die Speichertechnologien und die Alternativen Antriebstechnologien sind sogenannte Zukunftsmärkte. Die Herausforderung in diesen Submärkten besteht vor allem darin, die Technologien zeitnah vom Grundlagenstadium und der Entwicklungsphase bis zur Marktreife zu entwickeln. Speichertechnologien und Alternative Antriebstechnologien bieten immense Marktchancen. Deutschlands Wettbewerbsposition ist aussichtsreich, jedoch haben die USA und Japan bei den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in diesen Submärkten im Moment noch einen Vorsprung.
- ▶ Die Technologien des Submarktes Alternative Antriebstechnologien weisen beträchtliche Größenunterschiede auf. Unter den alternativen Antriebstechnologien besitzt der Hybridantrieb derzeit die größte Marktdurchdringung in Deutschland: .Zum 1. Januar 2012 lag die Zahl der Hybridfahrzeuge in der deutschen Pkw-Flotte bei 47.642, während zu diesem Stichtag 4.541 Elektrofahrzeuge in Deutschland angemeldet waren (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2012b). Der Antrieb von Hybridelektrofahrzeugen besteht aus einem Elektromotor und einem Verbrennungsmotor. Diese Technologie kann als Übergangstechnologie bezeichnet werden, weil sie einen Zwischenschritt auf dem Weg in eine CO₂-freie bzw. CO₂-arme Fahrzeug-Ära darstellt.
- ▶ Hinsichtlich der Marktattraktivität ergibt sich bei den Erneuerbaren Energien ein differenziertes Bild bei den Technologien Windenergie, Photovoltaik und Bioenergie: Bei der Photovoltaik ist die Wettbewerbsintensität extrem stark, insbesondere durch die Konkurrenz aus Asien; der durch Überkapazitäten induzierte, aggressive Preiskampf bei Solarzellen und Solarmodulen schwächt das Margenniveau; Skalenvorteile werden zu einem kritischen Erfolgsfaktor für die Anbieter, sodass Produktionsanlagen unterhalb einer bestimmten Größenordnung kaum profitabel zu betreiben sind. .
- ▶ Deutsche Anbieter sind auf dem Submarkt Effizienztechniken im industriellen Sektor exzellent positioniert: Deutschlands Wirtschaft ist traditionell stark geprägt durch das Verarbeitende Gewerbe. Häufig sind das energie- und materialintensive Branchen. Ein hoher Patentanteil bei Effizienztechnologien ist die Folge intensiver Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.
- ▶ In Deutschland hat sich in den vergangenen Jahren ein neuer Leitmarkt für Energie- und Ressourceneffizienz im Immobiliensektor entwickelt; dieser umfasst alle Leistungen zur Effizienzsteigerung von Gebäuden durch energetische Sanierung und hocheffizienten Neubau.
- ▶ Bei der Bewertung der Wettbewerbsposition schneidet Deutschland am besten bei der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik sowie bei den unterstützenden Prozessen im industriellen Sektor ab. Das betrifft vor allem Investitionen in Subsysteme, die für die Effizienzsteigerung in der Produktion verantwortlich sind.
- ▶ Bei der Stofflichen Abfallverwertung verhalf die im internationalen Vergleich frühzeitig einsetzende Umweltgesetzgebung mit strengen Regulierungsvorschriften den deutschen Anbietern zu einem Technologievorsprung, aus dem eine starke Marktposition resultierte. Allerdings hat Deutschland in den letzten Jahren bei Patentanmeldungen an Boden verloren. Verstärkte Aktivitäten bei wichtigen Zukunftstechnologien wie Verfahren zur Rückgewinnung von strategischen Ressourcen wie Edelmetallen und Seltenen Erden sind bisher noch nicht zu erkennen.

Abbildung 4: Portfolio-Analyse ausgewählter Technologien in den Submärkten*



* Die Größe der Kreise spiegelt die Größe des globalen Marktes der jeweiligen Technologie wider– Die Größe der Kreise spiegelt die Größe des globalen Marktes der jeweiligen Technologie wider

Quelle: Eigene Darstellung

2.3 Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy

2.3.1 Einleitung: Gesellschaftliche Aspekte und Performance von Unternehmen

In diesem Kapitel liegt der Fokus nun auf Ebene des einzelnen Unternehmens, um herauszufinden, welche neuen Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy entstehen und besonders erfolgreich sind.

Einleitend sollen an dieser Stelle Überlegungen zum Zusammenhang zwischen der wirtschaftlichen Performance von Unternehmen und unternehmerischer Verantwortung oder Corporate Social Responsibility (CSR) vorgestellt werden.

Neben der detaillierten Untersuchung der Komponenten von Geschäftsmodellen, der Auswahl und Vorstellung von Beispielen für „grüne“ Geschäftsmodelle, die Hauptgegenstand dieses Kapitels sind (Kapitel 2.3 bis 2.3.4), ist auch die Frage interessant, inwiefern verantwortliches Handeln der Wirtschaft in Bezug auf umweltrelevante und soziale Aspekte eine Rolle für den Erfolg von Unternehmen spielt. Im spezifischen Kontext der grünen Transformation kann man sich fragen, ob Unternehmen, die CSR berücksichtigen, gleichzeitig auch erfolgreiche Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy aufweisen.

Grundlage der deutschen CSR-Strategie ist die Definition, laut der CSR „die Wahrnehmung gesellschaftlicher Verantwortung durch Unternehmen über gesetzliche Anforderungen hinaus“ bezeichnet (CSR Forum 2009), also dass Unternehmen ihr Kerngeschäft auf freiwilliger Basis umweltfreundlich und sozial ausführen. Eine neuere Definition der Europäischen Kommission bezeichnet CSR als „die Verantwortung von Unternehmen für ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft“ (vgl. Europäische Kommission 2011b). Zu dieser Erweiterung der Definition finden in Deutschland und Europa aktuell intensive Diskussionen statt.

CSR als Konzept und Leitbild ist in Europa mittlerweile weit verbreitet und soll dazu beitragen, das Ziel eines „intelligenten, nachhaltigen und integrativen Wachstums“ der Wachstumsstrategie der EU, „Europa 2020“, zu erreichen. Im

Kontext der notwendigen „grünen Transformation“ der Wirtschaft wird CSR als „die strategische Antwort auf die Transformation der Märkte hin zur Green Economy“ betrachtet (BMU 2012g). Wenn also Green Economy das Leitbild ist, an das sich die Transformation zu einer nachhaltigen Wirtschaft aktuell orientiert, ist CSR ein Instrument auf Ebene der Unternehmen, das ein nachhaltiges Nachdenken über ihr Kerngeschäft maßgeblich mitbestimmt, indem es ihre langfristige Strategie zur Entwicklung von neuen Produkten, Wertschöpfungsketten und Mitarbeiterorientierung beeinflusst.

Besonders seit 2008, im Kontext der Weltwirtschaftskrise, wurden Forderungen nach verantwortlicherem und vertrauenswürdigerem Wirtschaften laut (vgl. Knopf et al. 2011). Der theoretische Zusammenhang zwischen unternehmerischer Verantwortung und Wettbewerbsfähigkeit wurde in einigen wissenschaftlichen Studien untersucht (vgl. Europäische Kommission 2008, Draper 2006, Zadek et al. 2006). Es wird angenommen, dass dieser Zusammenhang langfristig positiv ist, was in zweierlei Hinsicht begründet werden kann (vgl. Martinuzzi 2011). Zum einen bauen Unternehmen auf Basis ihrer CSR-Maßnahmen eine Reputation für „gute Qualität“ auf, was Kunden für hochwertige Produkte anzieht, die auch auf ökologische und gesellschaftliche Nachhaltigkeit bei deren Herstellung achten. Zum anderen führen hohe ökologische und gesellschaftliche Anforderungen an das Kerngeschäft von Unternehmen dazu, dass mehr Innovationen entstehen, um eine neue oder eine ressourceneffizientere Technologie auf den Markt zu bringen, durch die sich Unternehmen wiederum Wettbewerbsvorteile sichern.

Darüber hinaus wird nachhaltiges Wirtschaften über Nachhaltigkeitsratings immer häufiger als Kriterium der Risikobewertung von Kapitalanlagen einbezogen (vgl. oekom research 2012). Besonders seit der Finanzkrise hat sich gezeigt, dass wirtschaftliche Schwierigkeiten bei Unternehmen nicht auf Kosten von Corporate Responsibility-Leistungen gegangen sind, sondern dass diese im Gegenteil weiter betrieben und als Merkmal sicherer und zukunftsfähiger Geschäftsmodelle betrachtet wurden (vgl. oekom research 2010).

Der Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeit und Geschäftserfolg lässt sich empirisch nicht einfach belegen: Bisher gibt es nur einzelne Studien zu diesem Thema, die zudem unterschiedliche Sektoren betrachten und auf unterschiedlichen Definitionen basieren, so dass noch keine gesicherte empirische Aussage möglich ist. So kommt eine Studie des Research Institute for Managing Sustainability (RIMAS) zum Beispiel zu dem Ergebnis, dass das Erreichen einer besseren Ökoeffizienz durch CSR die Wettbewerbsfähigkeit eines einzelnen Unternehmens stärken kann. Gleichzeitig macht die Studie jedoch auch deutlich, welche weiteren Faktoren eine Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit spielen, zum Beispiel die Größe des Unternehmens, das Herkunftsland sowie weitere Charakteristika des Sektors oder der Teilbranche, in der das Unternehmen tätig ist, so dass der eigentliche Einfluss von CSR schwierig zu bewerten ist (vgl. Martinuzzi et al. 2010). Allerdings deuten mehrere Faktoren darauf hin, dass CSR für Unternehmen Chancen bietet, erfolgreiche Geschäftsmodelle *speziell auf dem Weg zur Green Economy* aufzuzeigen (BMU 2012g). Neben den bereits genannten Faktoren, die beschreiben, wie sich die Berücksichtigung von Nachhaltigkeit im Kerngeschäft positiv auf den Geschäftserfolg auswirken kann, ist festzustellen, dass CSR darüber hinaus genau an den Chancen und Risiken anknüpft, die für Unternehmen durch die Transformation der Wirtschaft zu einer Green Economy entstehen. Chancen und Risiken beim Wandel zur Green Economy ergeben sich für Unternehmen aus den neuen Entwicklungen auf den grünen Zukunftsmärkten und bei der Anpassung an neue soziale und ökologische Rahmenbedingungen und Regulierungen. CSR hat das Ziel, diese Chancen und Risiken frühzeitig zu erkennen, um deren Folgen für das Innovationsmanagement und andere Unternehmensbereiche sowie für die Mitarbeiter abzuschätzen. Dies ermöglicht langfristig eine Anpassung der Unternehmensstrategien und die Schaffung neuer erfolgreicher Geschäftsmodelle unter Berücksichtigung der neuen Rahmenbedingungen einer Green Economy.

Um diese Zusammenhänge zwischen wirtschaftlichem Handeln und Geschäftserfolg im Kontext der grünen Transformation zu präzisieren, wird im Folgenden untersucht, inwiefern man von „grünen“ Geschäftsmodellen sprechen kann. Nach Einführung der Definition (Kapitel 2.3.2) werden anhand bestimmter Kriterien (Kapitel 2.3.3) ausgewählte Beispiele für „Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy“ vorgestellt (Kapitel 2.3.4).

2.3.2 Geschäftsmodell – Definition und Komponenten

„Geschäftsmodell“ ist inzwischen zu einem Begriff avanciert, der sowohl in der Alltagssprache als auch in der ökonomischen Fachliteratur weit verbreitet ist. Dennoch hat sich bislang noch keine allgemein gültige wissenschaftliche Definiti-

on durchgesetzt. Wenn in diesem Kapitel Geschäftsmodelle auf dem Weg zur Green Economy dargestellt werden sollen, ist es zunächst notwendig, das hier zugrunde liegende Verständnis des Begriffs ‚Geschäftsmodell‘ zu klären.

Ausgangspunkt der folgenden Darstellung ist die Definition des wertbasierten Geschäftsmodells: „Ein Geschäftsmodell beschreibt die Grundlogik, wie eine Organisation Werte schafft. Dabei bestimmt das Geschäftsmodell, (1) was eine Organisation anbietet, das von Wert für Kunden ist, (2) wie Werte in einem Organisationssystem geschaffen werden, (3) wie die geschaffenen Werte dem Kunden kommuniziert und übertragen werden, (4) wie die geschaffenen Werte in Form von Erträgen durch das Unternehmen ‚eingefangen‘ werden, (5) wie die Werte in der Organisation und an Anspruchsgruppen verteilt werden und (6) wie die Grundlogik der Schaffung von Wert weiterentwickelt wird, um die Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells in der Zukunft sicherzustellen.“ (vgl. Bieger et al. 2011: 32)

Für die Identifizierung von innovativen, „grünen“ Geschäftsmodellen, die die Transformation hin zu einer Green Economy beschleunigen können, ist ein gut handhabbares Analysemodell notwendig, das die wichtigsten Elemente der Geschäftstätigkeit eines Unternehmens abbildet. Deshalb wurden aus dieser Definition sechs Dimensionen eines Geschäftsmodells abgeleitet (nach Bieger et al. 2011: 32f.):

- ▶ Leistungskonzept (Produkt-/Marktkombination) – Welche Leistungen in Form von Produkten und/oder Dienstleistungen werden für welche Kundengruppen erbracht?
- ▶ Wertschöpfungskonzept – Wie wird durch eine Kombination von unternehmensexternen und unternehmensinternen Ressourcen für Kunden und andere Anspruchsgruppen Wert geschaffen?
- ▶ Kanäle – Wie erfolgt der Austausch zwischen dem Unternehmen und seinen Kunden und auf welchen Wegen erfolgt die Leistungserbringung?
- ▶ Ertragsmodell – Wie fließt der vom Unternehmen geschaffene Wert für den Kunden an das Unternehmen zurück?
- ▶ Wertverteilung – Wie werden die Erträge im Unternehmen bzw. an Kapitalgeber und andere Anspruchsgruppen verteilt?
- ▶ Entwicklungskonzept – Wie kann das Geschäftsmodell eines Unternehmens an sich verändernde Rahmenbedingungen angepasst werden?

2.3.3 Auswahlkriterien für innovative, „grüne“ Geschäftsmodelle

Die in Kapitel 2.3.4 vorgestellten Geschäftsmodelle wurden systematisch anhand festgelegter Merkmale ausgewählt:

- ▶ Das Geschäftsmodell trägt wesentlich zu Umweltschutz und/oder Ressourcenschonung bei.
- ▶ Das Geschäftsmodell stellt eine Innovation dar, die mindestens eine der sechs Dimensionen Leistungskonzept (Produkt-/Marktkombination), Wertschöpfungskonzept, Kanäle, Ertragsmodell, Wertverteilung und Entwicklungskonzept betrifft.
- ▶ Das Geschäftsmodell muss nachweislich einen nachhaltigen Kundennutzen bzw. Wettbewerbsvorteil aufweisen.

Tabelle 2 gibt einen Überblick, welche Unternehmen in diesem Kapitel vorgestellt werden und welche Dimensionen des Geschäftsmodells die Innovation betrifft.

Tabelle 2: Überblick über die vorgestellten Geschäftsmodelle

	Leistungs-konzept	Wert-schöp-fungs-konzept	Kanäle	Er-trags-modell	Wert-vertei-lung	Entwick-lungs-konzept
Cofely Deutschland GmbH				✓		✓
flinc AG	✓		✓			
GreenPocket GmbH	✓		✓			
LaTherm Energie AG	✓					
Next Kraftwerke GmbH	✓	✓				
Stadtwerke Karlsruhe		✓				
ubitricity Gesellschaft für verteilte Energiesysteme mbH	✓	✓				✓
WestfalenWIND GmbH				✓	✓	
Yunicos AG	✓					
ZIM Plant Technology GmbH	✓					

Quelle: Eigene Darstellung

2.3.4 Beispiele für innovative „grüne“ Geschäftsmodelle

2.3.4.1 Cofely Deutschland GmbH

Als Spezialist für gebäudetechnischen Anlagenbau, Anlagen- und Prozesstechnik, Facility Management, Energiemanagement und industrielle Kältetechnik ist die Cofely Deutschland GmbH auf vier Geschäftsfeldern tätig: Anlagentechnik, Facility Services, Energy Services sowie Kältetechnik. Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in Köln und ist Teil der GDF SUEZ-Gruppe.

Cofely hat mit einer Erweiterung des bisherigen Leistungsportfolios auf die zunehmende Bedeutung der Energieeffizienz reagiert: Das Unternehmen richtet sein Geschäftsmodell verstärkt auf die innovative Dienstleistung des „Energieeinspar-Contractings“ aus.

Hintergrund ist, dass Eigentümer und Nutzer von Immobilien angesichts steigender Energiekosten und gesetzlicher Auflagen immer deutlicher die Notwendigkeit spüren, Maßnahmen zur energetischen Sanierung zu ergreifen. In der Regel sind diese jedoch kostspielig: Auch wenn sich die Investitionen durch die erzielbaren Einsparungen amortisieren, müssen zuerst die erforderlichen Mittel dafür aufgebracht werden. Dies kann eine erhebliche Belastung für den Auftraggeber darstellen. Gerade für Kommunen mit angespannter Haushaltslage ist dies eine hohe Hürde bei der Verwirklichung von Projekten zur energetischen Sanierung.

Die Innovation im Geschäftsmodell des Energieeinspar-Contractings besteht darin, dass Cofely als Contractor bei den Investitionen in Vorleistung geht: Cofely übernimmt neben der Planung, Erstellung und Betreuung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden und Anlagen auch deren Finanzierung. Den Kunden garantiert das Unternehmen, dass durch die energetische Sanierung eine Energieeinsparung in einer bestimmten Höhe erzielt wird. Durch diese Einsparung wiederum kann Cofely die Investitionen in die energieeffiziente Technologie letztlich refinanzieren.

Auf diese Weise ist für das Unternehmen ein neues Erlösmodell entstanden: Die Erlöse werden nicht durch den Verkauf energieeffizienter Anlagen an sich erwirtschaftet, sondern durch die durch sie erzielten Energieeinsparungen.

Cofely garantiert seinen Kunden (unter anderem Schulen, Hallenbäder, Krankenhäuser und Museen) einen nachhaltigen Nutzen, weil die Vertragspartner des Unternehmens beim Energieeinspar-Contracting die Energieeffizienz von Gebäuden und Anlagen ohne den Einsatz von eigenen Mitteln erheblich verbessern können.

Die Geschäftsmodellinnovation des Energieeinspar-Contractings beeinflusst die Treiber der grünen Transformation im Bereich „ökologischer Wandel“ positiv, indem es zu einer Verbesserung der Energieeffizienz (Senkung des Ressourcenverbrauchs) beiträgt und die erleichterte Finanzierbarkeit den Durchdringungsgrad grüner Technologien erhöht.

www.cofely.de

2.3.4.2 flinc AG

„Spontane Mitfahrfahrgelegenheit trifft Social Network“ oder auch „soziales Mobilitätsnetzwerk“ – So plakativ lässt sich eine Geschäftsmodellinnovation der flinc AG zusammenfassen. Das Startup-Unternehmen mit Sitz in Ludwigshafen hat das klassische Konzept der Mitfahrzentrale in die Ära des Web 2.0 transformiert.

Seit Juni 2011 ist „finc.org“ als neue Internet-Plattform auf dem Markt. Das Startup setzt auf Dynamic Ride Sharing: Über mobile Endgeräte wie Smartphone, Tablet oder Navigationssystem werden in Echtzeit alltägliche spontane oder geplante Mitfahrten vermittelt. Dafür stellt flinc kostenlos das Portal (www.finc.org) und die Software (Apps) für die mobile Nutzung zur Verfügung. Fahrer und Mitfahrer geben ihre täglichen Strecken auf dem Portal oder einem mobilen Endgerät ein, das Routenmatching erfolgt vollautomatisch in Echtzeit. Wird die Software fündig, informiert flinc sofort per E-Mail, SMS oder Push-Nachricht über das Angebot. Der Mitfahrer kann eine verbindliche Anfrage an den Fahrer stellen. Sobald dieser sie bestätigt, kommt die Vermittlung zustande. Für Mitarbeiter einer Firma ist dieser Vermittlungsprozess in einer individuellen Unternehmenslösung eingebettet.

Dieses Geschäftsmodell ist vor allem in Bezug auf die Dimensionen Markt-/Produktkombination und Kanäle innovativ: Das Startup will das Konzept Mitfahrgelegenheiten, das bislang in erster Linie für geplante Fahrten zwischen Städten auf größere Distanzen verbreitet war, auch für die Kurzstrecke und für spontane Fahrten attraktiv machen. Enabler dieses Konzepts ist die von flinc entwickelte Software; sie ermöglicht nicht nur das Routenmatching in Echtzeit, sondern auch die Vermittlung von Teilstrecken. Ein weiteres Novum des „sozialen Mobilitätsnetzwerks“ ist die Bildung von Gruppen, beispielsweise können sich Interessengruppen oder Freunde als Gruppe registrieren. Auch Unternehmen können ihren Mitarbeitern eine individuell angepassten flinc-Lösung anbieten. So lassen sich Lösungen für die Fahrt zwischen Wohnort und Arbeitsplatz finden, die flexibler sind als die herkömmlichen Fahrgemeinschaften. Dieser Ansatz schafft einen nachhaltigen Nutzen für die Finc-User: Er schont das Budget für Fahrtkosten und bietet einen hohen Komfortgrad bei der Vermittlung von Mitfahrgelegenheiten. Außerdem trägt das Finc-Modell zur Ressourceneffizienz im Verkehrssektor bei (Indikator des umweltbedingten Wandels): Je besser die Auslastung von Pkws, desto geringer der Kraftstoffverbrauch und der CO₂-Ausstoß pro Personenkilometer. Laut Statistik sind in Deutschland die Autos mit durchschnittlich 1,5 Menschen besetzt.

Bei den Kanälen, über die Kommunikation und Leistungserbringung erfolgen, beschreitet die flinc AG neue Wege: Angebote bzw. Anfragen können nicht nur über das Portal und mobile Endgeräte eingegeben werden. flinc kooperiert mit Navigon von Garmin und ist in den entsprechenden Navigationslösungen integriert. So sind über das Navi spontane Mitfahranfragen während der Fahrt möglich. Zusätzlich verbindet flinc auch Mitfahrgelegenheiten mit Elektromobilität. Durch die serienmäßige Integration von flinc in allen BMW i3 Fahrzeugen, können bereits gebuchte flinc-Fahrten direkt im Auto abgerufen werden und sich bequem zu ihren Mitfahrern navigieren lassen. Ein weiterer Partner von flinc ist DriveNow, der Carsharing-Service der BMW Group und der Sixt AG; nach eigenen Angaben des Unternehmens ist dies die erste Kombination von Ridesharing und Carsharing.

www.finc.org

2.3.4.3 GreenPocket GmbH

Die in Köln ansässige GreenPocket GmbH entwickelt Software-Lösungen für Smart Metering und Smart Home, mit deren Hilfe Haushalte und Unternehmen ihre Energieeffizienz nachhaltig verbessern können. Auf der Kundenliste von GreenPocket stehen zahlreiche nationale und internationale Energieversorgungsunternehmen und Serviceprovider.

Zum Hintergrund: Intelligente Stromzähler (Smart Meter) und Lösungen zur Heimautomatisierung (Smart Home) zählen zu den wichtigsten Komponenten eines digital steuerbaren und nachhaltigen Stromnetzes (Smart Grid). Die Smart Meter erfassen, welche Strommengen Haushalte, Unternehmen oder einzelne Gerätegruppen zu unterschiedlichen Tageszeiten verbrauchen. Seit 2010 ist der Einbau von intelligenten Zählern in Deutschland in Neubauten und bei Totalsanierungen vorgeschrieben. Für die Stabilität des Stromnetzes ist diese Echtzeitmessung unabdingbar. Denn mit steigendem Anteil volatiler, erneuerbarer Energien gewinnt das Gleichgewicht zwischen der Stromerzeugung und dem Stromverbrauch zunehmend an Bedeutung. Für den privaten und gewerblichen Nutzer bieten die Smart Meter in Verbindung mit der entsprechenden internetfähigen Visualisierung in erster Linie Transparenz über die eigenen Energieverbräuche. Demgegenüber ermöglichen Smart Home-Lösungen die gezielte Kontrolle und automatisierte Steuerung von einzelnen Elektrogeräten und Heizungsanlagen. Neben der entsprechenden Software werden dazu Aktoren und Sensoren benötigt, die über funkbasierte Protokolle mit einem im Haushalt installierten Smart Home-Gateway kommunizieren. Einzelne Geräte oder Gerätegruppen können dadurch vom Nutzer beispielsweise über das Smartphone oder den Tablet PC von zuhause und unterwegs gesteuert werden.

GreenPocket ist nach eigenen Angaben einer der führenden Anbieter für Smart Meter- und Smart Home-Software. Seit der Gründung im Jahr 2009 hat das Unternehmen insgesamt drei Produktlinien für Haushalts- und Gewerbekunden entwickelt und zusammen mit Energieversorgern und Service Providern über 80 Smart Meter- und Smart Home-Projekte erfolgreich durchgeführt. Zu seinen besonderen Stärken rechnet das Unternehmen die Vielfalt der Ausgabemedien. Die Daten zum Stromverbrauch und zur Gerätesteuerung können auf verschiedenen internetfähigen Ausgabemedien visualisiert werden: Webportal, mobile Anwendungen wie Smartphones und Tablets, Newsletter per E-Mail und Widgets. Darüber hinaus hat GreenPocket als erstes Unternehmen weltweit eine Energiespar-App für Facebook entwickelt. Gewerbliche Nutzer haben zudem die Möglichkeit, über ein Gewerbekundenportal den gesamten Energieverbrauch ihres Unternehmens detailliert zu erfassen und zu analysieren.

Die Digitalisierung verschiedener Lebensbereiche ist ein Megatrend, der zurzeit auch die Energieversorgung erfasst und revolutioniert. Die Smart-Meter- und Smart-Home-Lösungen des Kölner Unternehmens stellen in diesem Bereich eine Geschäftsmodellinnovation dar, die sich auf den Ebenen des Leistungskonzepts und der Kanäle zeigt: Die Entwicklung der Software hat es GreenPocket ermöglicht, eine neue Produktkombination erfolgreich auf dem Markt zu etablieren. Die Visualisierung der Verbrauchsdaten mittels einer Facebook-App hat einen neuen Kommunikationskanal eröffnet.

Die Software von GreenPocket schafft einen nachhaltigen Nutzen für die Kundschaft der Energieversorgungsunternehmen: Indem die Lösungen den Endverbrauchern mehr Transparenz und Kontrolle über ihren Stromverbrauch ermöglichen, schaffen sie die Grundlage für eine Verbesserung der gesamtgesellschaftlichen Energieeffizienz und für eine Senkung der Energiekosten von privaten Haushalten und Unternehmen. In Kombination mit seinen kundenfreundlichen Smart Home-Lösungen trägt GreenPocket dazu bei, die Akzeptanz von Smart Metern zu erhöhen. Langfristig wird das Smart Home die Basis einer Vielzahl weiterer nachhaltiger Technologien sein, wie z. B. der Elektromobilität. Daher beeinflusst die Geschäftsmodellinnovation von GreenPocket die Treiber der grünen Transformation: Sie fördert die Diffusion einer Technologie, die den Energiebedarf senkt und damit den Verbrauch fossiler Energieträger zur Stromerzeugung.

www.greenpocket.de

2.3.4.4 LaTherm Energie AG

In Industrie Prozessen, Blockheizkraftwerken und Biogasanlagen entsteht Abwärme. Diese Energiequelle zu erschließen und andernorts zur Heizung und Warmwasserbereitung zu nutzen, ist die Grundidee des Geschäftsmodells der LaTherm Energie AG. Die Geschäftsmodellinnovation besteht vor allem darin, Abwärme nicht als „Abfallprodukt“, sondern als Ware zu betrachten, die an Kunden verkauft wird. Dies stellt eine neue Produkt-/Marktkombination dar.

Für die technische Umsetzung nutzt das in Dortmund und Oranienburg ansässige Unternehmen die Eigenschaft, dass Wärme bei thermodynamischen Phasenübergängen besonders effektiv gespeichert bzw. freigesetzt werden kann.

Dazu hat die LaTherm Energie AG einen mobilen Latentwärmespeicher entwickelt, der mit Wärme befüllt werden kann: Das Speichermedium Natriumacetat kann bis zu 2,5 Megawattstunden Wärme speichern, die dorthin gebracht werden kann, wo sie gebraucht wird – netzunabhängig, weder zeit- noch ortsgebunden. Am Bestimmungsort wird der mobile Speicher an das jeweils vorhandene Heizsystem angeschlossen. Das Heizwasser der Immobilie – beispielsweise Schwimmbäder, Schulen oder Logistikhallen – fließt kalt in den Speicher ein und fließt erwärmt in den Heizkreislauf des Gebäudes zurück.

Mit der Entwicklung dieses Verfahrens und der Erfindung des Latentwärmespeichers hat sich LaTherm Energie AG einen technologischen Vorsprung verschafft; dieser First-Mover-Vorteil sorgt wiederum für einen Wettbewerbsvorteil des neuen Geschäftsmodells.

Das Geschäftsmodell der LaTherm Energie AG fördert die Ressourceneffizienz: Bei der Wärmeversorgung mit dem Latentwärmespeicher können, nach Angaben des Unternehmens bis zu 120 Tonnen CO₂ pro mobilem Wärmespeicher und Jahr eingespart werden, weil die thermische Energie, die als Nebenprodukt anderer Prozesse angefallen ist, wiederverwendet wird.

www.latherm.de

2.3.4.5 Next Kraftwerke GmbH

Die Next Kraftwerke GmbH, eine Ausgründung aus dem Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln, bietet eine Lösung für die intelligente Vernetzung von Stromerzeugungsanlagen an. Die Betreiber kleiner, dezentraler Stromerzeugungsanlagen werden zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschlossen („Next Pool“). Die Next Kraftwerke GmbH übernimmt die Integration der Anlagen in den Next Pool sowie die Überwachung, Steuerung und Wartung des Regelungssystems. Als Mitglieder des virtuellen Kraftwerks kommen verschiedene Anlagentypen infrage: Biogas, Photovoltaik, Windenergie, Blockheizkraftwerke sowie Müllheizkraftwerke, Klärgas- oder Grubengasanlagen. Durch die intelligente Vernetzung und Steuerung im virtuellen Kraftwerk ermöglicht bzw. erleichtert das Kölner Unternehmen den Betreibern dieser Anlagen die Teilnahme am Regelenergiemarkt und die Direktvermarktung von regenerativ erzeugtem Strom.

Direktvermarktung im Rahmen des Marktprämienmodells bedeutet den Verkauf von regenerativ erzeugtem Strom außerhalb des Modells der fixen EEG-Vergütung über den Netzbetreiber. Dabei erzielen die Anlagenbetreiber mindestens den Preis der im EEG festgelegten Einspeisevergütung (Bestandsschutz). Bieten sie den Strom jedoch in Zeiten von Spitzennachfrage an den Strombörsen an, liegen ihre Erlöse weitaus höher. Hinzu kommen Boni (Managementprämie, Flexibilitätsprämie), mit denen die EEG-Novelle Anreize für den Wechsel ins Marktprämienmodell setzen will.

Das Geschäftsmodell der Next Kraftwerke GmbH ist innovativ, weil die intelligente Vernetzung und Steuerung kleiner, dezentraler Stromerzeugungsanlagen zu einem virtuellen Kraftwerk sowohl ein neues Leistungskonzept als auch ein neues Wertschöpfungskonzept darstellt: Die Stromproduktion zahlreicher einzelner Anbieter wird zusammengefasst; diese Bündelung der Erzeugerkapazität ermöglicht bzw. erleichtert die Partizipation am Strommarkt. Durch den Einsatz ihres Know-hows (Marktkenntnis und Software zur Integration, Steuerung und Regelung der Anlagen im virtuellen Kraftwerk) kombiniert die Next Kraftwerke GmbH unternehmensinterne Ressourcen mit der Leistungserstellung externer Anbieter und steigert so die Erlöse der Betreiber der dezentralen Stromerzeugungsanlagen. Auf diese Weise generiert Next Kraftwerke einen nachhaltigen Kundennutzen. Gleichzeitig trägt das Unternehmen mit seinem Leistungsportfolio dazu bei, die Stabilität des Stromnetzes auch bei zunehmender Einspeisung regenerativ erzeugten Stroms zu gewährleisten. So wirkt sich das Geschäftsmodell auf zwei Treiber der grünen Transformation aus: Es unterstützt den umweltbedingten Wandel, weil der Ausbau des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung gefördert wird (Durchdringungsgrad grüner Technologien). Außerdem wird der wirtschaftliche Wandel vorangetrieben, weil die Integration der regenerativen Energien in den Strommarkt sowohl die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Erneuerbaren als auch deren Wettbewerbsfähigkeit fördert.

www.next-kraftwerke.de

2.3.4.6 Stadtwerke Karlsruhe

Die Stadtwerke Karlsruhe sind als kommunales Dienstleistungsunternehmen für Energie- und Trinkwasserversorgung verantwortlich, aber auch im Bereich nachhaltige Mobilität mit der Schaffung von Ladeinfrastruktur für Elektro- und Erdgasfahrzeuge tätig. Die Stadtwerke Karlsruhe wurden für den europäischen EMAS-Award 2011 in der Kategorie „Große Organisation aus der öffentlichen Verwaltung“ nominiert und erhielten 2010 den Umweltpreis für Unternehmen Baden-Württemberg im Sektor „Dienstleistung“. Außerdem gehören die Stadtwerke Karlsruhe zu den 19 deutschen Klimaschutzunternehmen, die mit ihren Innovationen Vorreiter und Vorbild für andere sein wollen. 2013 erhielten sie den Energy Award für die Fernwärme-Auskopplung aus der Mineralölraffinerie Oberrhein.

Durch Green Design ihrer Produkte und Green Marketing weisen die Stadtwerke Karlsruhe ein innovatives Wertschöpfungskonzept auf. Auf der Produkt- und Dienstleistungsseite stehen die Nutzung regenerativer Energien (Wasserkraft, Sonnenenergie, Windenergie und Biomasse) bei der Stromerzeugung mit den „Naturstromangeboten“, den „Naturgasangeboten“ und einem vielseitigen Beratungsangebot für private und Geschäftskunden im Mittelpunkt. Zudem zeichnet sich die Kundenberatung der Stadtwerke Karlsruhe durch innovative Informationsveranstaltungen aus, bei denen BürgerInnen über Themen wie den effizienten Umgang mit Energie und Trinkwasser, den Einsatz Erneuerbarer Energien sowie umweltschonendes Bauen informiert werden. Dieser Austausch zwischen dem Unternehmen und seinen Kunden erfolgt durch innovative Kanäle, wie zum Beispiel die „R-Touren“, bei denen die Teilnehmenden mit dem Rad die regenerativen Energieerzeugungsanlagen besuchen. Für Kinder existieren auch spezielle spielerische Ansätze, um sie an diese Themen heranzuführen. Ein wichtiger Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz ist der konsequente Ausbau der Karlsruher Fernwärmeversorgung, die sich dadurch zu einer ökologisch und ökonomisch attraktiven Wärmeversorgung entwickelt hat. Heute beheizen die Stadtwerke Karlsruhe schon rund 26.500 Wohnungen und etwa 1.200 große öffentliche Gebäude oder Gewerbebetriebe CO₂-arm mit Fernwärme. Denn rund 95 Prozent der Wärme stammen aus Kraft-Wärme-Kopplung bei der Stromversorgung und aus Prozessabwärme einer großen Karlsruher Raffinerie. Diese Wärme ist schon da und muss nicht zusätzlich erzeugt werden. Neben den Erzeugungs- bzw. Bezugskapazitäten bauen die Stadtwerke Karlsruhe auch das Netz kontinuierlich aus. Aktuell wird unter anderem eine neue Fernwärme-Hauptleitung im Süden der Stadt gebaut, die neue Stadtteile für die klimafreundliche Wärme erschließt.

Ein nachhaltiger Kundennutzen dieses Geschäftsmodells ergibt sich aus der Sensibilisierung und der Aufklärung der Bevölkerung. Für Energiekunden der Stadtwerke gibt es Förderprogramme für die Installation einer thermischen Solaranlage oder einer effektiven Heizungspumpe, die Anschaffung von Erdgasautos oder Elektrofahrzeugen und für die Umstellung von Heizungen auf Erdgasbetrieb. In Kombination mit den staatlichen Fördermaßnahmen trägt dies zum technologischen Wandel und, durch einen höheren Anteil der Erneuerbaren Energien im Energiemix, zum umweltbedingten Wandel bei. Durch die Informationsveranstaltungen wird die grüne Transformation zunehmend von den Bürgern wahrgenommen, aber auch innerhalb des Unternehmens spielt dies eine wichtige Rolle: Die Stadtwerke Karlsruhe nutzen für die Umweltinformation ihrer MitarbeiterInnen vielfältige Wege, fördern Beteiligung und Engagement, zum Beispiel durch einen „Ideenwettbewerb“ und Aktionen wie „Mit dem Rad zur Arbeit“ (Dienstfahräder und vergünstigte Jahrestickets). Diese Maßnahmen tragen zum institutionellen Wandel bei.

www.stadtwerke-karlsruhe.de

2.3.4.7 ubitricity Gesellschaft für verteilte Energiesysteme mbH

Das 2008 in Berlin gegründete Unternehmen agierte zunächst als konzernunabhängiger Öko-Stromversorger. Auf diesem Fundament erweiterte ubitricity sein Geschäftsfeld auf den Bereich nachhaltige Mobilität und entwickelt heute neue Dienstleistungen für Haushalte mit Elektrofahrzeugen, Anbieter von Ladeinfrastruktur und Energieversorger: Strom aus regenerativen Energien soll an alle Orte geliefert werden, an denen das Elektroauto „tanken“ kann – zuhause, auf dem Firmenparkplatz oder an einer öffentlich zugänglichen Ladestation.

Basis dafür ist das von ubitricity entwickelte Konzept des Mobile Metering: Die Abrechnungstechnik ist in das Elektrofahrzeug oder in das Ladekabel integriert – und damit automatisch an jedem Ladepunkt verfügbar. So lassen sich Ladepunkte auf kosteneffiziente Systemsteckdosen reduzieren und benötigen keine Komponenten der Mess- und Kommunikationstechnik zum Erfassen und Abrechnen des Stromverbrauchs. Dies senkt die Kosten für den Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur. Dank Mobile Metering kann ubitricity als neue Dienstleistung die Lieferung, Messung und Abrechnung von Mobilstrom anbieten.

Als nachhaltigen Kundennutzen erhöht diese Geschäftsmodellinnovation den Komfortgrad für die Fahrer von E-Autos erheblich: Der Ladevorgang geht ohne zusätzlichen Zeitaufwand „nebenbei“ am Arbeitsplatz oder beim Einkaufen vonstatten. Zudem erfolgt die Abrechnung aller Ladevorgänge aus einer Hand. Für die Anbieter von Ladeinfrastruktur liegt der Vorteil darin, dass der Einsatz mobiler Stromzähler die Kosten für den Aufbau und Betrieb von Ladestationen reduziert.

Die Geschäftsmodellinnovation besteht insbesondere auf den Ebenen des Leistungskonzepts, des Wertschöpfungskonzepts und des Entwicklungskonzepts: Die ortsungebundene Lieferung, Messung und Abrechnung von Mobilstrom stellt eine neue Produkt-/Marktkombination dar sowie eine neue Verknüpfung unternehmensinterner (Abrechnungstechnik als Enabler des Mobile Metering) und unternehmensexterner (Ladestationen) Ressourcen (Wertschöpfungskonzept). Die Erweiterung des Geschäftsmodells vom Handel mit Ökostrom auf das Angebot von Dienstleistungspaketen rund um die Elektromobilität bildet ein Entwicklungskonzept ab; damit reagiert das Unternehmen auf die neuen Chancen, die sich durch den geplanten Ausbau der Elektromobilität ergeben.

Im Hinblick auf die Treiber der grünen Transformation hat die Geschäftsmodellinnovation positive Effekte auf den umweltbedingten Wandel: Ihr Beitrag für den Aufbau und Ausbau einer Ladeinfrastruktur für Elektroautos unterstützt die Dekarbonisierung des Verkehrssektors und die Verbrauchsminderung fossiler Kraftstoffe. Durch die Erhöhung des Komfortgrads beim „Betanken“ der Elektrofahrzeuge fördert das Geschäftsmodell von ubitricity außerdem die Akzeptanz der Elektromobilität und erhöht so den Durchdringungsgrad dieser grünen Technologie.

www.ubitricity.com

2.3.4.8 WestfalenWIND GmbH

Die WestfalenWIND GmbH ist auf dem Leitmarkt „Energieerzeugung“ tätig. Das 2009 gegründete Unternehmen agiert als Planungs- und Betreibergesellschaft zum Aufbau und Betrieb von mehreren Windparks auf der Paderborner Hochfläche. Die WestfalenWIND GmbH wurde 2011 für den europäischen EMAS-Award in der Kategorie „Mikro-Organisation“ nominiert.

Besonders innovativ ist das Ertragsmodell dieses Unternehmens: Die WestfalenWIND GmbH hat sich zum Ziel gesetzt, ihre Erträge aus dem Stromverkauf größtenteils in der Region zu halten. Im Wertschöpfungsprozess werden deshalb, soweit möglich, regional ansässige Unternehmen beauftragt, um erwirtschaftete Erträge regional wiedereinzusetzen. Ein Teil der Erträge kommt auch einer Stiftung zugute, zum Beispiel in Bad Wünnenberg, über die öffentliche und gemeinnützige Projekte in Schulen, Kindergärten und Bürgerzentren in den Bereichen Bildung, Kultur und Umweltschutz gefördert werden. Die WestfalenWIND GmbH engagiert sich auch für die biologische Vielfalt in der Region durch die Finanzierung eines Populationsgutachtens für den Rotmilan durch die Biologische Station Paderborn-Senne - besondere Risiken für einige Arten sollen durch eine umsichtige Planung von Windenergie-Projekten minimiert werden.

Das Geschäftsmodell der WestfalenWIND GmbH weist eine sehr innovative Wertverteilung auf. Durch sein „Bürger-Wind-Konzept“ will das Unternehmen einen großen Teil seines Eigenkapitals aus der Region einwerben: die BürgerInnen können sich durch den Kauf von Genossenschaftsanteilen oder als Kommanditist an den Unternehmen und den Projekten beteiligen.

Durch die innovativen Komponenten ihres Geschäftsmodells trägt die WestfalenWIND GmbH zur Steigerung der Attraktivität der Region bei, indem Arbeitsplätze im Bereich Windkraft geschaffen werden und das regionale Potenzial des windreichen Binnenland-Standorts zum Wettbewerbsvorteil gemacht wird. Dies verstärkt die gesamtwirtschaftliche Bedeutung grüner Technologien, insbesondere der Windkraft, und trägt somit zum wirtschaftlichen Wandel bei. Dieses Geschäftsmodell wirkt sich ebenfalls durch einen höheren Anteil der Erneuerbaren Energien in der Region, aber auch durch die Partizipation der Bevölkerung in Form einer höheren Teilnahme an Energiegenossenschaften u. ä. positiv auf den umweltbedingten und den gesellschaftlichen Wandel aus.

www.westfalenwind.de

2.3.4.9 Younicos AG

Younicos ist ein technologieoffener Systemintegrator und arbeitet an einer Zukunft, in der Energie CO₂-frei und erneuerbar erzeugt wird. Unsere einzigartige Steuerungs- und Energiemanagementsoftware ermöglicht die sichere und wirt-

schaftliche Integration von Wind- und Sonnenenergie in bestehende Stromnetze. Wir entwickeln, planen und steuern vollautomatisierte Batteriekraftwerke, die entweder in einem Verbundnetz oder in Inselsystemen Versorgungssicherheit und Systemstabilität garantieren.

Dabei liegt unsere Kernkompetenz an der Schnittstelle zwischen Speichern (egal welcher Technologie) und Netzen (mit einem hohen, bzw. stark wachsenden Anteil von fluktuierender erneuerbarer Erzeugung).

Wir haben unsere Lösungen komplett auf die Bedürfnisse einer erneuerbaren Energieversorgung, bzw. dem Umstieg dahin entwickelt - ohne auf bestehende Produkte oder Geschäftsmodelle Rücksicht nehmen zu müssen ("legacy-free"). Der Kern unserer Dienstleistung ist die Entwicklung, Anpassung und Implementierung intelligenter Steuerungssoftware. Unsere Software für die Netz- und Systemintegration ist modular aufgebaut und gewährleistet so höchste Sicherheit, Effizienz und Verfügbarkeit. Unter anderem verlängert unsere Steuerungstechnik das Lebensalter der von uns genutzten Zellen deutlich. Deshalb gewähren international führende Zellhersteller eine einzigartige 20jährige Garantie auf Zellen, die mit unserer Software betrieben werden kann. Einzigartig ist auch, dass unsere Software den Betrieb "hybrider" Batterien aus unterschiedlichen Technologien ermöglicht. Das ermöglicht wiederum passgenauere und auch sicherere Lösungen.

Auf Kundenwunsch übernehmen wir überdies die Projektentwicklung, Systemintegration, Projektentwicklung, Engineering (elektrisch, thermisch, Sicherheit), Projektbezogene Dienstleistungen (Machbarkeits- und Fallstudien) und agieren als Generalunternehmer.

www.yunicos.com

2.3.4.10 ZIM Plant Technology GmbH

Die ZIM Plant Technology GmbH hat einen automatischen „Durstmesser“ für Pflanzen entwickelt. Mithilfe einer magnetischen Sonde wird der Wasserhaushalt von Pflanzen überwacht. Eine nicht-invasive Sensorik-Lösung misst den Zellinnendruck der Blätter (Turgor) und überträgt diese Daten in Echtzeit auf einen Server der ZIM Plant Technology GmbH. Diese Informationen werden für die Auftraggeber aufbereitet, sodass die Bewässerung exakt am tatsächlichen Bedarf der Pflanzen ausgerichtet werden kann. Auf diese Weise werden zum einen durch bedarfsgerechte Bewässerung die Qualität der Nutzpflanzen und die Erträge der Anbauflächen gesteigert, zum anderen ist der effiziente Umgang mit der vielerorts knappen Ressource Süßwasser sichergestellt. Die ZIM-Sonden sind bereits in Deutschland, Brasilien, Chile, Portugal, Israel, Australien, Tunesien und Spanien erfolgreich im Einsatz. In spanischen Olivenhainen hat die bedarfsgerechte Bewässerung den Wasserverbrauch um bis zu 40% gesenkt, aber auch hier in Deutschland wurde die ZIM-Technologie zum Beispiel an Kirschen und Weinreben erfolgreich zur Bewässerungsoptimierung eingesetzt. 2011 wurde das Unternehmen aus Hennigsdorf (Oberhavel) mit dem Innovationspreis Berlin Brandenburg ausgezeichnet und war Finalist des Deutschen Innovationspreises 2012 in der Kategorie Startup.

Durch ihre Sensorik-Lösung ist die ZIM Plant Technology GmbH in der Lage, mit einem innovativen Geschäftsmodell auf den Markt zu gehen, das die nicht-invasiven Sonden zur Fernüberwachung des Wasserhaushalts als völlig neues Produkt anbietet (Leistungskonzept). Diese Geschäftsmodellinnovation generiert einen nachhaltigen Kundennutzen: Die Eigentümer bzw. Pächter der Anbauflächen können die Qualität und den Ertrag ihrer Nutzpflanzen steigern. Gleichzeitig reduziert die bedarfsgerechte Bewässerung den Wasserbedarf deutlich. Dadurch wirkt sich der automatische „Durstmesser“ positiv auf die Ressourceneffizienz aus (umweltbedingter Wandel): Eine effiziente und sparsame Bewässerung ist angesichts der Süßwasser-Knappheit in vielen Regionen der Erde dringend geboten. Hinzu kommt, dass der Wassermangel künftig durch den Klimawandel noch zunehmen wird, während der Bedarf an bewässerten Anbauflächen ebenfalls wächst: Gerade in Gegenden, in denen die Wasserversorgung bereits heute problematisch ist, werden die Bevölkerungszahlen – und damit der Bedarf an Süßwasser und Nahrungsmitteln – weiter steigen. Insofern kann die ZIM-Sonde zu den sogenannten nachhaltigen Überlebens-technologien gerechnet werden: Die Sensorik-Lösung als Enabler für eine effiziente Bewässerung spielt eine wichtige Rolle als Maßnahme zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Das Geschäftsmodell der ZIM Plant Technology GmbH fördert auch den technologischen Wandel als Treiber der grünen Transformation, weil hier die enge Verzahnung mit den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten an Hochschulen sichtbar wird: Das Verfahren wurde vom Unternehmensgründer Prof. Ulrich Zimmermann, ehemals Leiter des Lehrstuhls für Biotechnologie an der Universität Würzburg, in Hennigsdorf entwickelt. Die Weiterentwicklung der Techno-

logie sowie die Gründung der Firma wurde vom HighTech Gründerfonds aus Bonn und vom Land Brandenburg (ZukunftsAgentur und InvestitionsBank des Landes Brandenburg) unterstützt.

yara.zim-plant-technology.com

2.4 Schlussfolgerungen – politische Optionen für Unterstützung bei der Umstellung auf grüne Geschäftsmodelle

Die vorliegende Studie hat den Anspruch, die Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte und ihre Bedeutung für die Wirtschaft und den Umweltschutz zu untersuchen sowie Vorschläge und Handlungsstrategien auf unternehmerischer und staatlicher Ebene zu entwickeln. Als ein Beitrag zu diesem Ziel sollen an dieser Stelle die Erkenntnisse der vorangehenden Abschnitte zu Schlussfolgerungen verdichtet werden. Zunächst werden noch einmal die zentralen Aussagen von Kapitel 2.1 (Mark- und Transformationsanalyse) und Kapitel 2.2 (Deutschlands Position auf den grünen Zukunftsmärkten) rekapituliert.

Die Analyse hat fünf wesentliche Dynamiken und Trends auf den grünen Zukunftsmärkten herausgearbeitet (vgl. Kapitel 2.1.2.2):

- ▶ Der Blickwinkel auf die grünen Zukunftsmärkte hat sich verändert – Themen wie Energieeffizienz rücken in den Fokus
- ▶ Schwellenländer etablieren sich als neue Anbieter
- ▶ Es kristallisieren sich technologische Schwerpunkte bzw. Stärken in einzelnen Ländern und Regionen heraus
- ▶ Das Wachstum der grünen Zukunftsmärkte hat die Prognosen übertroffen
- ▶ Einige Technologien bzw. Submärkte wachsen in Zukunft besonders dynamisch

In der vorliegenden Studie wurden sechs Technologien bzw. Submärkte identifiziert, die das Kriterium „besonders dynamisches Wachstum“ erfüllen:

- ▶ Alternative Antriebstechnologien
- ▶ Erneuerbare Energien und umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe
- ▶ Effizienztechniken im industriellen Sektor
- ▶ Speichertechnologien
- ▶ Energieeffizienz von Gebäuden
- ▶ Stoffliche Abfallverwertung

Diese sechs Submärkte weisen zentrale gemeinsame Merkmale auf: Es werden Produkte, Dienstleistungen und Verfahren angeboten und nachgefragt, die zum Klimaschutz und zur Ressourceneffizienz beitragen. Die Submärkte werden von Schlüsseltechnologien geprägt, die ein besonders hohes Umweltentlastungspotenzial aufweisen. Aufgrund dieser Eigenschaften tragen die identifizierten Submärkte erheblich dazu bei, den Wandel in Richtung einer Green Economy zu beschleunigen.

In Bezug auf die Faktoren, die die Grüne Transformation maßgeblich beeinflussen, wurden vor allem folgende Treiber identifiziert:

- ▶ Technologischer Wandel
- ▶ Ökologischer Wandel
- ▶ Gesellschaftlicher Wandel
- ▶ Wirtschaftlicher Wandel
- ▶ Institutioneller Wandel

Nicht immer lassen sich diese Treiber trennscharf voneinander abgrenzen. In einigen Teilbereichen kommt es zu Überlappungen. Außerdem besteht eine Wechselwirkung zwischen diesen Prozessen.

Innovationen sind ein wesentlicher Teilbereich des technologischen Wandels, der immense Auswirkungen auf die anderen Treiber der Green Transformation hat. Wie die in Abschnitt 3 dargestellten Beispiele zeigen, sind Innovationen in

der Regel die Basis für neue „grüne“ Geschäftsmodelle, die auf dem Entwicklungspfad zur Green Economy entstehen und dabei die Grüne Transformation auf Ebene der Unternehmen beschleunigen. Vor diesem Hintergrund haben Innovationen im Kontext der Green Transformationen und Green Economy einen herausragenden Stellenwert. Darüber hinaus ist die Schlüsselrolle von Innovationen für die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften und Unternehmen unstrittig. Dementsprechend große Relevanz haben die Instrumente der Innovationspolitik, die die Innovationsfähigkeit sowohl auf der makroökonomischen als auch auf der mikroökonomischen Ebene stärken sollen. Diese Zusammenhänge machen die Innovationspolitik zu einem wesentlichen Handlungsfeld der Green Transformation. Insofern scheint es legitim, diesen Themenkomplex im Rahmen dieser Schlussfolgerungen herauszugreifen und im folgenden Abschnitt auf einige Besonderheiten und Anforderungen von Innovationspolitik unter „grünen“ Vorzeichen einzugehen.

2.4.1 Innovationspolitische Schlussfolgerungen

2.4.1.1 Innovationen als Wegbereiter der Grünen Transformation

Den weiteren Ausführungen liegt folgendes Verständnis von Innovation zugrunde: „Unter ‚Innovation‘ soll hier die Umsetzung einer neuen, nützlichen Idee von ihrer Entstehung (‚invention‘) bis zur erfolgreichen Anwendung am Markt (‚Kundennutzen‘, exploitation) verstanden werden. Dies bringt einen Prozess und die Orientierung am Markt zum Ausdruck.“ (Hotz-Hart/Rohner 2013: 26).

Innovationen sind nicht auf die Technik-Dimension beschränkt; sie können sich auf andere Dimensionen beziehen, etwa auf betriebliche Verfahren und Prozesse sowie auf das Geschäftsmodell. Den Begriff der Innovation lediglich auf Produkte anzuwenden, griffe demnach zu kurz. Verfahrens- und Dienstleistungsinnovationen haben ebenfalls einen hohen ökonomischen Stellenwert. Nach dem sogenannten Innovationsgrad wird zwischen radikalen und inkrementellen Innovationen unterschieden.

Aus ökonomischer Perspektive betrachtet, ist das Ziel von Innovationen die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit. Diese Aussage trifft sowohl auf der Ebene der Unternehmen als auch für Volkswirtschaften zu. So gilt die Förderung der Innovationsfähigkeit grundsätzlich als wesentliches Ziel staatlicher Innovationspolitik. Im Kern geht es dabei um die Fragestellung, welche Rahmenbedingungen und welche Instrumente die Leistung eines nationalen Innovationssystems (NIS) am besten stimulieren. Dieses besteht aus verschiedenen Institutionen, deren Interaktion Wissen, Fähigkeiten und Kenntnisse hervorbringt (vgl. Hotz-Hart/Rohner 2013: 203f.). Die besondere Herausforderung dieser Interaktion resultiert wesentlich aus der Verschiedenheit der Teilsysteme, die das Innovationssystem als Ganzes bilden. Seine Akteure kommen aus der Wissenschaft (Hochschulen und Forschungsinstitute) und Wirtschaft (Unternehmen).

Die Vernetzung der Teilsysteme Wissenschaft und Wirtschaft im Forschungsverbund gilt als Stärke des deutschen Innovationssystems und als ein wichtiger Grund, dass Deutschland in internationalen Rankings zur Innovationsfähigkeit jeweils auf den vorderen Plätzen rangiert. Beispielsweise behauptet Deutschland im Global Competitiveness Report 2013/2014 des World Economic Forum wie schon im Vorjahr Rang vier (World Economic Forum 2013).

Das European Union Innovation Scoreboard der EU-Kommission analysiert die Forschungs- und Innovationsleistung der Mitgliedsstaaten. Deutschland, Schweden, Finnland und Dänemark bilden hier die Spitzengruppe (Europäische Kommission 2013b).

Aufschlussreich sind die Ergebnisse der Befragung des US-amerikanischen Battelle-Instituts: Es führt jedes Jahr eine groß angelegte Umfrage unter Forschern aus der ganzen Welt durch und veröffentlicht die Ergebnisse in Kooperation mit dem R&D Magazine. Die Teilnehmer dieser Studie werden auch nach ihrer Einschätzung gefragt, in welchen Forschungsbereichen einzelne Staaten besondere Stärken vorweisen können (Battelle 2012). Deutschland gilt demnach als führend im Bereich Umwelt und Nachhaltigkeit.

Die bislang getroffenen Aussagen gelten für alle Innovationen, ungeachtet spezifischer Zielsetzungen oder Anwendungsgebiete. Betrachtet man die Bedeutung von Innovationen als Schrittmacher auf dem Weg zur Green Economy, ergeben sich unter anderem zwei wichtige Fragen: Was sind „grüne Innovationen“? Welchen Anforderungen sollte eine Innovationspolitik genügen, die „grüne Innovationen“ gezielt fördern will?

Im Kontext der Grünen Transformation liegt der Fokus auf Innovationen, die insbesondere die Herausforderungen Klimawandel und Ressourcenknappheit adressieren und Lösungsansätze für die Bewältigung dieser existenziellen Prob-

leme bieten. Aus diesem Verständnis heraus werden hier für „Nachhaltigkeitsinnovationen“ bzw. „grüne Innovationen“ folgende Definition und Anforderungen übernommen: „Nachhaltigkeitsinnovation ist die Entwicklung und Durchsetzung einer neuartigen technischen, organisationalen, institutionellen oder sozialen Problemlösung, die zum Erhalt kritischer Naturgüter und zu global und langfristig übertragbaren Wirtschaftsstile und Konsumniveaus beiträgt. [...] Nachhaltigkeitsinnovationen müssen einen identifizierbaren oder plausibel begründbaren Beitrag zu den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung leisten und zwar in Hinblick auf ein sachlich und zeitlich definiertes Bezugssystem (Region, Ökosystem, Bedarfsfeld, Produktnutzungssystem, Produktlebenszyklus etc.). Diese Begriffsauslegung ist ergebnisbezogen, d.h., das zentrale Abgrenzungskriterium ist der identifizierbare positive Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung, unabhängig davon, ob dieser von den handelnden Akteuren intendiert war.“ (Fichter/Clausen 2013: 38).

Gerade dieses Postulat der Ergebnisbezogenheit stellt bei der Beurteilung von „grünen Innovationen“ eine besondere Schwierigkeit dar, denn die Ungewissheit über die mittel- und langfristigen Auswirkungen gehören zum Wesen der Innovation. Mit diesem Grad der Unsicherheit muss eine an Nachhaltigkeitszielen orientierte Innovationspolitik umgehen können und versuchen, „grüne Innovationen“ zu fördern. Dabei kommen im Prinzip die klassischen Instrumente der Innovationspolitik zum Einsatz, beispielsweise die Förderung des Technologietransfers, Unterstützung von Startup-Unternehmen, Förderung von Forschungsk Kooperationen etc. In Deutschland existiert bereits eine Reihe von Förderprogrammen, die speziell Umwelt- und Nachhaltigkeitsinnovationen unterstützen sollen. Dazu zählen FONA, das Rahmenprogramm Forschung für Nachhaltige Entwicklung des BMBF, und die Förderinitiative Energiespeicher des BMBF. Auf EU-Ebene waren Themen mit Bezug zur Energieeffizienz, Erneuerbare Energien und Klimaschutz im 7. Forschungsrahmenprogramm (FRP) berücksichtigt; sie sollen auch im 8. FRP (Horizon 2020) einen hohen Stellenwert haben.

Gerade im Kontext der Förderung von Nachhaltigkeitsinnovationen ist auf die Bedeutung der Diffusion hinzuweisen: Ihre Wirkkraft als Treiber der Grünen Transformationen können Innovationen erst dann entfalten, wenn sie sich ausbreiten. Folglich liegt ein wichtiger Hebel für die Innovationspolitik in Bezug auf Nachhaltigkeitsinnovationen bei der Unterstützung der Diffusion durch die Stimulierung der Nachfrage.

2.4.1.2 Ansatzpunkte für die Verbesserung der Innovationspolitik auf den grünen Zukunftsmärkten

In der vorliegenden Studie wurden diejenigen „grünen“ Submärkte identifiziert, die künftig ein besonders dynamisches Wachstum versprechen (Alternative Antriebstechnologien, Erneuerbare Energien, Effizienztechniken im industriellen Sektor, Speichertechnologien, Energieeffizienz von Gebäuden, Stoffliche Abfallverwertung). In Abschnitt 2 (Deutschlands Position auf den grünen Zukunftsmärkten) wurden die Stärken und Schwächen sowie die Chancen und Risiken auf diesen sechs Submärkten aus Perspektive der deutschen Anbieter betrachtet. Die Ergebnisse dieser SWOT-Analyse liefern die Basis für die folgenden Aussagen, die Ansatzpunkte für Verbesserungen der Innovationspolitik aufzeigen sollen.

Synergien und Systemkompetenz fördern

Der immens hohe Stellenwert von Synergien und Systemkompetenz für die Innovationsfähigkeit wird insbesondere in den Submärkten Alternative Antriebstechnologien und Energieeffizienz von Gebäuden deutlich. Bei den Alternativen Antriebstechnologien (Hybrid, Plug-in-Hybrid, Range Extended Electric Vehicle, batteriebetriebenes Fahrzeug „Elektroauto“, Brennstoffzellenfahrzeug) sind Kompetenzen in den unterschiedlichen Themenfeldern Batterie, Antrieb, Leichtbau, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) erfolgskritisch. Innovationen lassen sich hier nur erreichen, wenn Unternehmen und Forschungseinrichtungen unterschiedlicher Wirtschaftszweige kooperieren. Nur unter dieser Voraussetzung sind Synergieeffekte von Technologien aus den Bereichen Antrieb, Batterie, Fahrzeugleichtbau, Stromerzeugung und -verteilung und die verstärkte Einbindung der IKT zu erzielen.

Zwar gilt Systemkompetenz als Stärke der deutschen Industrie, allerdings ist diese Fähigkeit im Bereich Alternative Antriebstechnologien, insbesondere bei der Elektromobilität, noch nicht vollständig zur Entfaltung gelangt. Branchenübergreifende Kooperationen zwischen Automobilindustrie, Stromwirtschaft und Batterieherstellern sind ausbaufähig. Ein ähnlicher Befund ergibt sich im Submarkt der Energieeffizienz von Gebäuden: Angesichts der zunehmenden Bedeutung der Gebäudeautomation spielen Digitalisierung und IT-Steuerung eine immer wichtigere Rolle in der Gebäudetechnik. Es zeichnet sich eine Konvergenz unterschiedlicher Technologien ab (Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik, Gebäu-

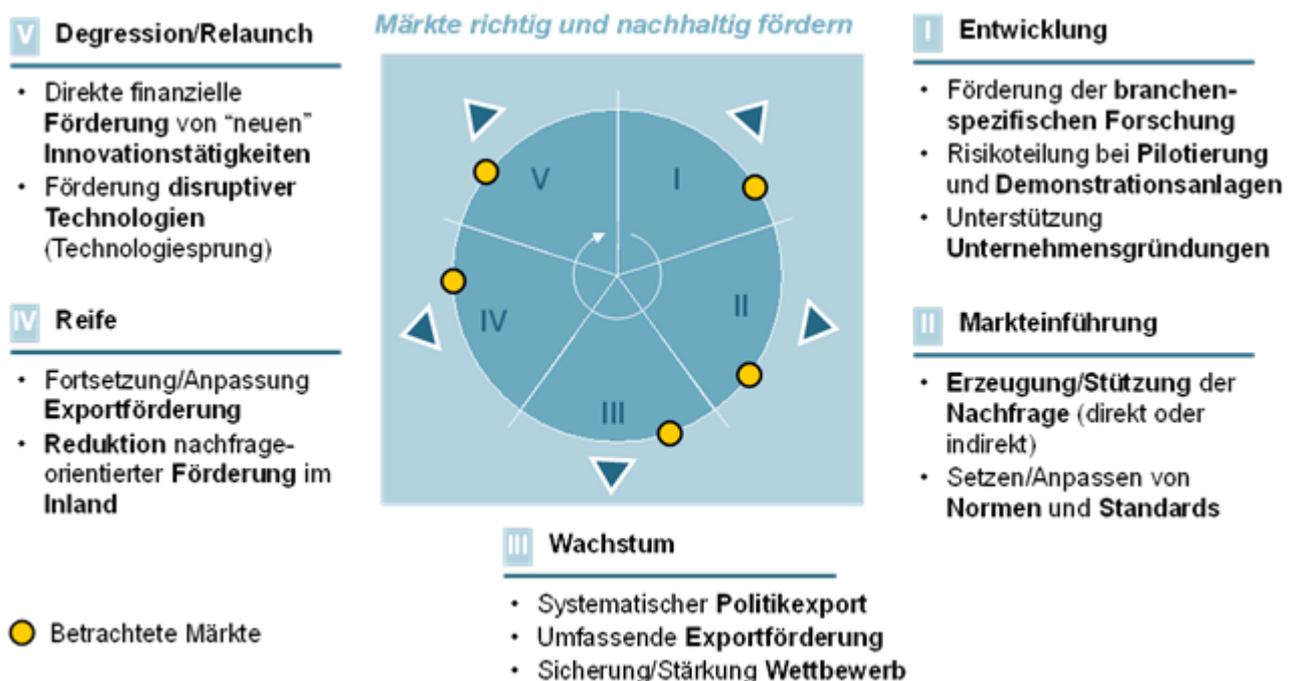
deautomation, Integration ins Smart Grid). Diese Entwicklung begünstigt Anbieter mit einem entsprechend breit aufgestellten Leistungsportfolio. Dementsprechend sind Innovationen gefordert, die integrierte Lösungen unterstützen.

Wichtige Hebel der Innovationspolitik für die Stärkung der Systemkompetenz sind Innovationscluster und der Zugschnitt der Voraussetzungen für die Projektförderung. Bei der Ausschreibung von Projekten kann durch die Festlegung der Förderbedingungen sichergestellt werden, dass Akteure aus verschiedenen Bereichen kooperieren. Innovationscluster bieten einen Rahmen für Akteure aus unterschiedlichen Branchen, um interdisziplinäre Lösungen zu erarbeiten. Neben der Leistungsfähigkeit der einzelnen Beteiligten ist die Interaktion zwischen den Mitgliedern ein entscheidender Faktor für das Netzwerk. Ausschlaggebend für den Innovationserfolg ist es, das Wissens- und Beziehungskapital innerhalb des Clusters zu nutzen. Dabei kommt es wesentlich auf den Professionalisierungsgrad der Netzwerk-Arbeit an. Insbesondere das Informations- und Kommunikationsmanagement spielen hier eine Schlüsselrolle und sind entsprechend zu stärken.

Die richtigen Märkte richtig fördern

Innovationspolitik mit dem Anspruch einer gezielten Unterstützung für „grüne Innovationen“ muss sich bei der Ausgestaltung der Förderpolitik an den Fragen „Was“ und „Wie“ orientieren. Anders ausgedrückt: Es geht darum, die „richtigen“ Märkte mit den jeweils geeigneten Instrumenten zu fördern. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden sechs grüne Zukunftsmärkte mit besonders dynamischen Wachstumsperspektiven identifiziert. Damit ist die Frage, welche Märkte gefördert werden sollen, bereits beantwortet. Bei der Frage nach den geeigneten Maßnahmen und Instrumenten der Innovationspolitik ist eine Differenzierung nach dem Reifegrad des jeweiligen Submarktes bzw. seiner Teilmärkte erforderlich. Eine systematische Steuerung der innovationspolitischen Maßnahmen, die auf die jeweilige Phase abgestimmt ist, führt zu einer hohen Durchschlagskraft des Instrumentenmixes. Die Abbildung 5 zeigt die politische Instrumentenuhr, die bei der Fokussierung politischer Maßnahmen als Orientierungshilfe herangezogen werden sollte. Das Zifferblatt der Darstellung ist in fünf Phasen eingeteilt: Entwicklung, Markteinführung, Marktwachstum, Reife, Degression/Relaunch.

Abbildung 5: Instrumentenuhr zur Steuerung von innovationspolitischen Maßnahmen



Quelle: Roland Berger

Kleine und mittlere Unternehmen gezielt fördern

Charakteristisch für die Umwelttechnik in Deutschland ist ihre Eigenschaft als Querschnittsbranche sowie ihre von zahlreichen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) geprägte Struktur. Auch wenn sich von Beschäftigten- und

Umsatzzahlen nicht automatisch auf die Innovationsfähigkeit schließen lässt, zeigt sich immer wieder eine positive Korrelation zwischen der Innovationsfähigkeit und der Unternehmensgröße. KMU verfügen häufig nur über begrenzte finanzielle und personelle Ressourcen, um Forschungs- und Entwicklungsprojekte im großen Maßstab voranzutreiben. In einigen Submärkten, etwa Speichertechnologie und Stoffliche Abfallverwertung, ist eine Vielzahl von KMU engagiert. Damit sich diese Struktur nicht als Hemmnis für die Innovationsdynamik auf diesen wichtigen grünen Zukunftsmärkten erweist, muss die Innovationspolitik auf die Bedürfnisse von KMU eingehen. Immer wieder erweist sich dabei die Zusammenarbeit in regionalen Innovationsclustern als hilfreiches Instrument.

Die regionale Konzentration von Unternehmen sowie von Bildungs- und Forschungseinrichtungen bietet die Chance, durch die entstehenden Netzwerke die Innovationsleistung zu steigern. In Innovationsnetzwerken kooperieren vielfältige Akteure: Unternehmen verschiedener Größenklassen aus unterschiedlichen Abschnitten der Wertschöpfungskette (Stichwort: „virtuelles Großunternehmen“), Hochschulen und Forschungsinstitute. Der Vorteil funktionierender Innovationsnetzwerke liegt in den Synergieeffekten, die durch die Zusammenarbeit der Netzwerk-Mitglieder entstehen. Eine Schlüsselrolle für die Innovationsfähigkeit der KMU spielt dabei vor allem der Austausch mit wissenschaftlichen Einrichtungen. Durch Wissens- und Technologietransfer können die fehlenden FuE-Ressourcen der KMU zumindest teilweise kompensiert werden. Das Angebot von Wissens- und Technologietransfer-Beratung sollte deshalb insbesondere unter dem Aspekt von Nachhaltigkeitsinnovationen weiter ausgebaut werden.

Die Praxis zeigt, dass viele KMU mit den teilweise sehr komplexen Antragsverfahren für die Bewilligung von Fördergeldern für FuE-Projekte überfordert sind, weil sie nicht die nötigen personellen Ressourcen vorhalten können. Hinzu kommt, dass einige EU-Förderprogramme die Zusammenarbeit mit Partnern aus anderen Mitgliedsstaaten voraussetzen. Die Suche nach Forschungseinrichtungen oder Unternehmen im Ausland, die willig und in der Lage sind, FuE-Kooperationen einzugehen, gestaltet sich für deutsche KMU jedoch sehr schwierig und zeitaufwendig. Deshalb ist der Ausbau von entsprechenden Beratungsangeboten erforderlich, die KMU bei der Suche nach Kooperationspartnern sowie beim Akquirieren von FuE-Fördergeldern unterstützen.

Unternehmensgründungen fördern

Unternehmensgründungen haben erhebliche Relevanz für die ökonomische Dynamik einer Volkswirtschaft: Sie machen etablierten Unternehmen Konkurrenz, erschließen neue Märkte und schaffen neue Beschäftigungsmöglichkeiten. In vielen Fällen entstehen Startups aus Anlass und auf Basis einer Innovation. Dies ist häufig bei Unternehmensgründungen im universitären Umfeld zu beobachten. Dabei handelt es sich nicht selten um radikale Innovationen. Vor diesem Hintergrund ist die Aussage legitim, dass Neugründungen maßgeblich zur Innovationsleistungsfähigkeit einer Volkswirtschaft beitragen. Dies macht die Förderung von Startups zu einem wesentlichen Bestandteil der Innovationspolitik. Ein besonders wichtiger Aspekt ist dabei die Unterstützung bei der Überwindung von Finanzierungshemmnissen. Die Erfahrung zeigt immer wieder, dass viel versprechende Geschäftsmodelle von Startups in der Frühphase der Unternehmensgründung an einer zu schmalen Kapitalausstattung scheitern.

Als Möglichkeit der Gründungsförderung, die auch die Finanzierungsproblematik adressiert, haben sich in anderen Branchen Businessplan-Wettbewerbe erwiesen. Gute Erfahrungen mit diesem Instrument wurden beispielsweise in Nordrhein-Westfalen in der Medizintechnik gemacht. Es wäre ein erfolgversprechender Ansatz, das Konzept der Businessplan-Wettbewerbe verstärkt in die Umwelttechnik zu übertragen.

Für die Überwindung bei Finanzierungshemmnissen sollten Informationsveranstaltungen und andere geeignete Plattformen den Kontakt zwischen Private-Equity-Gesellschaften und Wagniskapital-Gebern auf der einen Seite und (potenziellen) Gründern der Umwelttechnik auf der anderen Seite herstellen bzw. vertiefen.

2.4.2 Unternehmenspolitische Schlussfolgerungen

„Unser Konzept einer Green Economy verbindet Ökologie und Ökonomie positiv miteinander, steigert die gesellschaftliche Wohlfahrt, bekämpft Armut und strebt soziale Gerechtigkeit an.“ (BMBF 2012: 4) – Auf diese Weise wird im Fortschrittsbericht zur Nachhaltigkeitsstrategie die Green Economy als Leitbild für den Standort Deutschland definiert. Dieses Ziel lässt sich nicht durch politische Beschlüsse „top down“ umsetzen; die Schubkräfte und Impulse für die Annäherung an dieses Leitbild müssen „bottom up“ generiert werden. Der privatwirtschaftliche Sektor spielt dabei eine wesentliche Rolle. Eine Grüne Transformation der Unternehmen ist eine Voraussetzung für die Grüne Transformation

von Wirtschaft und Gesellschaft insgesamt. Unternehmen sind zentrale Akteure der Entwicklung zu einer kohlendioxidarmen und ressourceneffizienten Ökonomie. Deshalb befasst sich dieser Abschnitt mit Schlussfolgerungen für die Unternehmenspolitik.

2.4.2.1 Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit leisten –Grüne Transformation als Chance für Unternehmen

Das Greening der Unternehmen ist im Rahmen einer marktwirtschaftlichen Ordnung nicht auf dem Verordnungsweg zu erzwingen. Gefordert ist Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit. Unternehmen muss vermittelt werden, dass die Megatrends Klimawandel und Ressourcenknappheit die gesellschaftlichen, politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen in den nächsten Jahrzehnten stark beeinflussen werden. Das heißt, das Wettbewerbsumfeld von Unternehmen wird von diesen Megatrends maßgeblich geprägt – mit entsprechenden Auswirkungen auf die strategische Ausrichtung von Unternehmen. Wollen sie eine gestaltende Rolle einnehmen und den durch die Megatrends induzierten Wandel nicht passiv erdulden, bleibt den Verantwortlichen in Unternehmen letztlich nur die Option, „eine langfristig erfolgreiche Geschäftsentwicklung zu verbinden mit einem positiven Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der gesamten Gesellschaft“ (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung 2012: 123).

Es geht also nicht um die Gegenüberstellung „Gewinn oder Nachhaltigkeit“, sondern um die Vermittlung der Formel „Gewinn durch Nachhaltigkeit“. Deshalb muss es im Kontext Green Economy ein zentrales Anliegen der Kommunikation mit Unternehmen sein, die Chancen der Grünen Transformation deutlich zu machen. Als hilfreiches Instrument erweist sich dabei der Ansatz der nachhaltigen Unternehmensführung, der alle drei Dimensionen der Green Economy – Ökonomie, Ökologie, soziale Verantwortung – angemessen berücksichtigt und in die Strategie und Prozesse eines Unternehmens integriert.

Als additives Konzept beschreibt nachhaltige Unternehmensführung keine grundsätzlich neue Methode, sondern lässt sich aus vorhandenen Strukturen und Prozessen entwickeln. Im Wesentlichen geht es darum, die Strukturen und Prozesse eines Unternehmens so zu gestalten, dass Geschäftsmodell und Strategie unter den Rahmenbedingungen einer von Klimawandel und Ressourcenknappheit geprägten Ökonomie erfolgreich sein können. Ein zentrales Element dieses ganzheitlichen Konzepts bilden die Identifizierung und Bewertung von Chancen und Risiken, die sich durch die Megatrends entlang der Wertschöpfungskette ergeben. Das Konzept der nachhaltigen Unternehmensführung setzt den Akzent nicht nur auf die Risiken, sondern ebenso auf die Chancen, durch nachhaltige Unternehmensführung Mehrwert zu schaffen und zusätzliche Gewinnquellen zu erschließen. Im Mittelpunkt steht dabei die Fragestellung, wie Unternehmen durch nachhaltiges Management ihre Wettbewerbsposition verbessern können. Die Beispiele in Abschnitt 3 illustrieren, wie dies gelingen kann.

2.4.2.2 Qualifizierung für die Grüne Transformation

Die Kompetenzen der Mitarbeiter spielen eine wesentliche Rolle bei der Grünen Transformation auf Ebene der Unternehmen. Analog zu den Erkenntnissen aus Change-Management-Prozessen lassen sich einige Faktoren identifizieren, die notwendige Bedingungen für das Gelingen der Greenings darstellen. Dazu zählen das Engagement der Führungsebene, Festlegung von Strukturen und Abläufen, klare Zielvorgaben sowie Motivation und Befähigung von Mitarbeitern.

Voraussetzung für die Befähigung der Mitarbeiter ist ein System der Aus- und Weiterbildung, das Kompetenzen und Qualifikationen für die Herausforderungen des Wandels zu einer Green Economy vermittelt. Hier sind zum einen der Staat bzw. die Bundesländer und Kommunen als Bildungsanbieter gefordert. Zum anderen sollten Unternehmen und ihre Verbände als Akteure der beruflichen Aus- und Weiterbildung für die Anforderungen sensibilisiert werden, die die Green Economy an die Qualifizierung von Mitarbeitern stellt.

Im Rahmen des Dualen Berufsausbildungssystems sind Unternehmen gefordert dazu beizutragen, bestehende Berufsbilder und Ausbildungsinhalte so zu verändern, dass das Qualifikationsprofil der Absolventen den Anforderungen des intendierten „grünen Strukturwandels“ entspricht. Auf einigen der identifizierten Submärkte (etwa Alternative Antriebs-technologien, Gebäudetechnik) sind verstärkt Querschnittskompetenzen erforderlich, denen die Ausbildungsordnungen Rechnung tragen sollten.

Ein wichtiges Feld ist die Weiterbildung der Beschäftigten. Es ist nicht davon auszugehen, dass Mitarbeiter, deren Berufsausbildung bereits einige Jahre oder Jahrzehnte zurückliegt, hinreichend für ökologische Belange und andere Heraus-

forderungen der Grünen Transformation sensibilisiert sind. Des Weiteren gilt es, die Systemkompetenz zu fördern. Diese Themen sollten Unternehmen in der Weiterbildung ihrer Belegschaften stärker berücksichtigen. Die Personalverantwortlichen sollten ihre Anstrengungen verstärken, die Beschäftigten zur Wahrnehmung von Weiterbildungsangeboten zu motivieren. Hier gibt es im Bereich Umwelttechnik eine breite Palette, sowohl im akademischen Bereich als auch für beruflich Qualifizierte. Infrage kommen beispielsweise berufs begleitende Studiengänge oder Weiterbildungen (etwa zum Energiemanager) für Techniker, Facharbeiter oder Handwerker.

2.4.2.3 Anreize für die Grüne Transformation

Es wurde im Kontext der Innovationspolitik bereits darauf hingewiesen: Die Diffusion stellt einen erfolgskritischen Faktor dar, ob und in welchem Umfang eine Nachhaltige Innovation ihre Rolle als Treiber der Grünen Transformation ausfüllen kann. Die Diffusion von Innovationen hängt maßgeblich von der Nachfrage auf dem Markt ab. Bei Produkten und Dienstleistungen der Umweltwirtschaft ist die ordnungspolitische Gestaltung der Rahmenbedingungen eine wichtige Determinante der Nachfrage. Da Umwelt und natürliche Ressourcen öffentliche Güter darstellen, hat deren Nutzung zunächst keinen Preis, der sich in den Geschäftszahlen von Unternehmen widerspiegeln würde. Das heißt, die Beanspruchung von Umweltmedien wie Luft oder Grundwasser lässt sich nicht allein über den Marktmechanismus regeln. Die politischen Institutionen sind gefordert, Rahmenbedingungen zu schaffen, die einen grünen Strukturwandel begünstigen. Dabei kann sich der Staat unterschiedlicher Instrumente der Ordnungspolitik bedienen, die sich – vereinfacht – in zwei Kategorien unterteilen lassen: Gebote und Verbote („Command and Control“) auf der einen Seite sowie marktorientierte auf der anderen Seite. Zu den Ansätzen für marktorientierte Instrumente zählen unter anderem Anreize in Form von Subventionen, Steuern und Gebühren für Schadstoffemissionen oder andere umweltbelastende Aktivitäten sowie Emissionszertifikate.

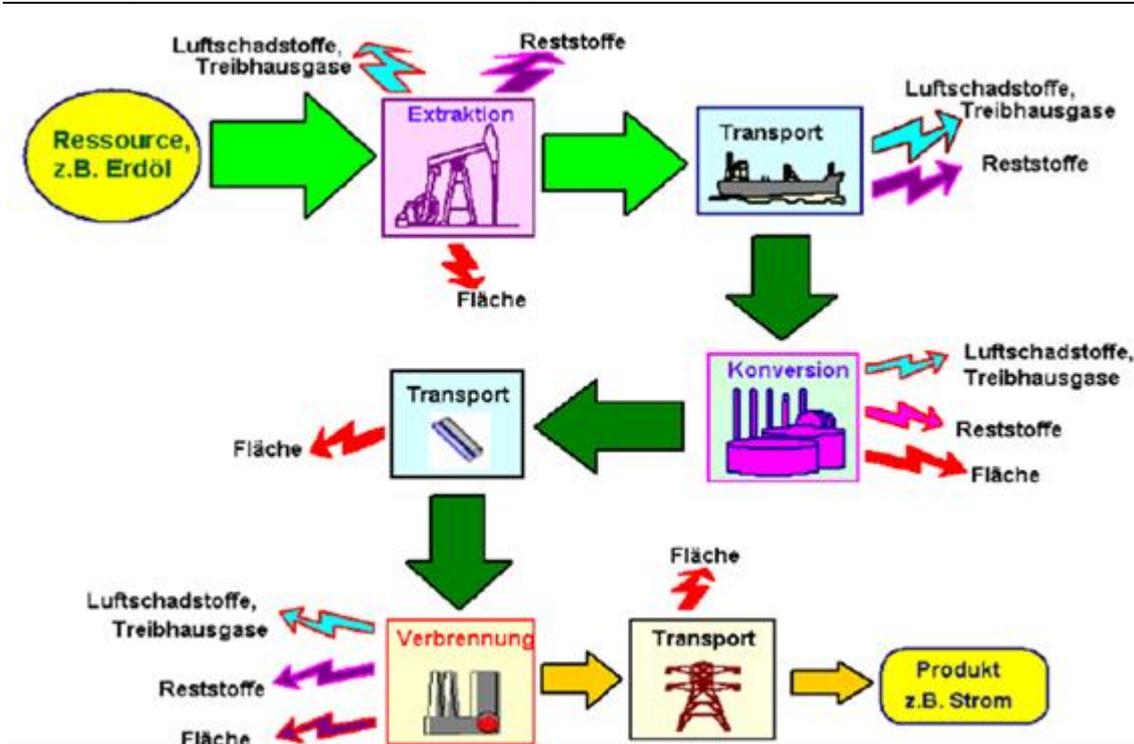
Diese Instrumente dienen dem Ziel, nachhaltiges Handeln von Unternehmen und Konsumenten zu fördern und damit die Grüne Transformation voranzutreiben. Der zentrale Punkt ist dabei die Internalisierung externer Effekte: Ohne angemessenen Preis für CO₂-Emissionen gäbe es keine hinreichenden Anreize für Unternehmen, Technologien zur Reduktion von Kohlenstoffdioxid einzusetzen. Ohne Festlegung von Höchstgrenzen für den Schadstoffausstoß wäre die Nachfrage nach entsprechenden Verfahren und Technologien zur Minimierung von Umweltauswirkungen erheblich geringer.

3 Teil 2: Umweltwirkungen ausgewählter grüner Technologien

3.1 Grüne Zukunftstechnologien und ihre Umweltwirkungen

Neben den eigenständigen ökonomischen Chancen, die grüne Zukunftsmärkte bieten, sind es besonders die Potenziale der Verringerung umweltschädlicher Wirkungen des herkömmlichen Wirtschaftens, die beispielsweise zu einem Ausbau der erneuerbaren Energien, einer Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz oder einem Nachdenken über nachhaltige Mobilität führen. Während die positiven Wirkungen der bisherigen Förderung des Ausbaus erneuerbarer Energien sowohl physisch (für Deutschland zur Treibhausgas-Minderung: BMU 2011c: 12) als auch monetär (Breitschopf et al. 2010) erfasst wurden, sind die positiven Wirkungen anderer Technologielinien weniger systematisch analysiert. Auch liegt das Augenmerk bislang auf dem Umweltnutzen. Demgegenüber stehende Umweltschäden, die sich in den Abbauländern der für die neuen Technologien benötigten Rohstoffe, wie etwa Neodym in Windkraftanlagen (Cleanenergy 2013), ergeben, sind weniger systematisch erfasst. Die vorhandenen Studien konzentrieren sich ferner vor allem auf Einzeltechnologien, sodass die bisher nur verstreut vorliegenden Informationen und Abschätzungen gesammelt und systematisiert werden müssen.

Abbildung 6: Prinzip von Lebenswegen



Quelle: Rausch & Fritsche (2012)

Die Entwicklung grüner Zukunftsmärkte ist abhängig von vielerlei Faktoren und nicht immer werden Technologien nach ihrem Umweltwirkungspotenzial vorangetrieben. Darüber hinaus sind konfligierende Umweltwirkungen denkbar: Während bei der Verbrennung der Biomasse unbestritten weniger CO₂ freigesetzt wird als bei der Verbrennung von herkömmlichen Brennstoffen (z.B. Heizöl), ist das Argument der CO₂-mindernden Wirkung der heimischen Biomassennutzung überwiegend umstritten, wenn man den gesamten Lebenszyklus der Biomasse betrachtet. Für eine umfassende Analyse der Umweltwirkungen von Technologien ist es unerlässlich, nicht nur die direkten Wirkungen – z.B. die THG-Emissionen bei Vergärung von Biomasse – zu erfassen, sondern es müssen komplette „Lebenswege“ berücksichtigt werden. Dazu gehören nicht nur die Nutzung der Technologien, sondern ebenfalls die Rohstoff- und Primärenergiegewinnung, der Materialaufwand zur Herstellung von Anlagen sowie ebenfalls der Transport und die Entsorgung der Technologien, denn schließlich sind auf jeder Stufe der Prozesskette Umweltwirkungen beobachtbar (Rausch & Fritsche 2012).

Wie kompliziert und verschachtelt die Prozessketten sind, wodurch die Analyse von Umweltwirkungen erheblich erschwert wird, zeigt Abbildung 6. Zur Quantifizierung (Bilanzierung) der Umweltwirkungen werden aufgrund des hohen Komplexitätsgrades sogar oftmals computergestützte Hilfsmittel verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Umweltwirkungen jedoch nur qualitativ erfasst.

Als Beispiel zur Verdeutlichung der Berücksichtigung von Umweltwirkungen in der Prozesskette: Je nach Art und Anbaufläche der Biomasse ist sogar der Effekt beobachtbar, dass über den gesamten Lebenszyklus betrachtet bei der Stromerzeugung aus Biomasse mehr CO₂ emittiert wird als bei der Nutzung von anderen Brennstoffen. Darüber hinaus können im landwirtschaftlichen Anbau zukünftig Schäden an Wasserhaushalt, Boden und Biodiversität entstehen. Bei der Windenergie on-shore sind z.B. Lärm und Veränderungen der Landschaft mit in eine Gesamtbetrachtung einzubeziehen. Die off-shore Windenergieerzeugung befindet sich in Deutschland bisher erst in der Testphase. Konflikte mit Naturschutzbelangen sind in Teilen bekannt, werden vielleicht aber auch teils erst in Zukunft offensichtlich. Für die Stromerzeugung mit Geothermie argumentieren z.B. Frick und Kaltschmitt (2009), dass diese Art der Stromerzeugung gegenüber anderen Formen der Stromerzeugung auch umweltseitig vorteilhaft ist. Bei der Elektromobilität spielt die Art der Stromerzeugung eine wichtige Rolle für die Umweltwirkungen. Auch der Einsatz großer Mengen seltener Erden wie Lithium für die Speicherung kann nicht nur zu Knappheit bei anderen Anwendungen, sondern auch zu Umweltwirkungen insbesondere in anderen Teilen der Welt führen.

Generell ist in einer immer weiter globalisierten Welt darauf zu achten, dass Umweltwirkungen (Umweltentlastungswirkungen und Umweltbelastungen¹⁵) über den gesamten Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre in allen Teilen der Erde mitberücksichtigt werden. Die Kernfrage von Teilbericht 2 ist: **Welche Umweltwirkungen sind für verschiedene Teilmärkte und Umwelttechnologien zu erwarten und in welchen Bereichen können Konflikte und Synergien entstehen?**

Die Literaturlauswertung in den folgenden Kapiteln zu den potenziellen Umweltwirkungen ausgewählter konkreter Technologielinien in Deutschland ist Ausgangspunkt für die in AP2 durchgeführten Analysen. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf Technologien gelegt, die laut Teilbericht 1 ein erhebliches Zukunftspotenzial haben. In der Markt- und Transformationsanalyse von AP I wurden unter anderem Dynamik und Trends der grünen Zukunftsmärkte analysiert. Zusammen mit dem Auftraggeber wurden dann sechs Teilmärkte identifiziert, die sich dynamisch entwickeln und ein großes Umweltentlastungspotenzial aufweisen:

- ▶ Alternative Antriebstechnologien (AA)
- ▶ Erneuerbare Energien (EE)
- ▶ Speichertechnologien
- ▶ Effizienztechniken im industriellen Sektor
- ▶ Energieeffizienz von Gebäuden
- ▶ Stoffliche Abfallverwertung

Diese Teilmärkte zeichnen sich durch ihre wachsende Bedeutung innerhalb der grünen Zukunftsmärkte aus und wurden bereits in Kapitel 2.2.2 detailliert beschrieben. In der Portfolioanalyse in Kapitel 2.2.4 wurden Marktattraktivität und die Wettbewerbsposition Deutschlands für jede der Technologien herausgearbeitet. Gerade bei diesen Technologien, die sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf den weltweiten Märkten durchsetzen werden, ist eine Einordnung und Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen besonders wichtig.

Teils wurden bereits Effekte der Technologien auf verschiedene Umweltgüter betrachtet. Im Projekt OPTUM (2011a: 49) werden zum Beispiel verschiedene Parameter genannt, die in eine Analyse von Umweltwirkungen mit einbezogen werden können. Dazu gehören:¹⁶

- ▶ Global Warming Potenzial (Klima)
- ▶ Überdüngungspotenzial (Boden, Wasser)

¹⁵ Umweltentlastungs- und Umweltbelastungswirkungen: Der langfristige und nachhaltige Schutz des jeweiligen Umweltgutes wird gefördert bzw. bedroht (UBA 2007).

¹⁶ In () die Zuordnung zu den Umweltgütern, die hier betrachtet werden.

- ▶ Photochemische Oxidation (Luft)
- ▶ Versauerungspotenzial (Boden, Wasser, Luft)
- ▶ Kumulierter Energieaufwand (Energie)
- ▶ Abiotic Depletion Potential der Primärgewinnung der jeweiligen Elemente (Rohstoffe).

IFEU (2011a) unterscheidet zwischen sechs verschiedenen Umweltwirkungskategorien:

- ▶ Klimawirkung gemessen in CO₂-Äquivalenten (Klima)
- ▶ Kumulierter Energieaufwand in MJ (Energie)
- ▶ Versauerung in SO₂-Äquivalenten (Boden, Wasser)
- ▶ Terrestrische Eutrophierung in Phosphat-Äquivalenten (Boden)
- ▶ Sommersmog in POCP-Äquivalenten (Luft)
- ▶ Feinstaubemissionen in PM₁₀ (Luft).

Die Umweltgüter, die hier für eine nähere Betrachtung ausgewählt wurden sind etwas allgemeiner gehalten: Klima, Energie, Luft, Wasser, Boden, Artenvielfalt und Landschaft, Gesundheit, Rohstoffe (abiotisch), natürliche Ressourcen (biotisch). Jeder Parameter/jede Umweltwirkungskategorie aus OPTUM (2011a) und IFEU (2011a) kann mindestens einem dieser allgemeineren Umweltgüter zugewiesen werden. Zusätzlich gibt es für alle diese Umweltgüter politisch gesetzte Ziele, wie z.B. das Klimaziel einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) um mindestens 40% bis 2020 gegenüber dem Basisjahr 1990. Bis 2050 sollen die THG-Emissionen weiter gesenkt werden, um mindestens 80% gegenüber 1990 (Bundesregierung 2010). Weitere Zielwerte sowie DESTATIS- und EUROSTAT- Indikatoren zur Messung der Güter sind in Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Technologien in jedem Teilmarkt kurz vorgestellt und daran anschließend die Umweltwirkungen betrachtet. Dazu werden sowohl Ergebnisse einer Literaturstudie als auch Einschätzungen von Technologieexperten berücksichtigt. Eine Übersicht zur Vorgehensweise bei den Experteninterviews und deren Ergebnisse, inklusive der Bestimmung der Referenztechnologie für die vergleichende Beurteilung in der Bewertungsmatrix, ist im nächsten Kapitel zu finden. Eine Beschreibung der Ergebnisse der Experteninterviews befindet sich im Anhang (vgl. 275).

Tabelle 3: Umweltgüter, Politische Zielwerte und Indikatoren – Teil I

Umweltgüter	Politische Zielwerte (Deutschland und EU)	Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie zu Umwelt und Ökonomie (DESTATIS)	Eurostat-Indikatoren für nachhaltige Entwicklung
Klima	<p><i>Bundesregierung (2010)</i> Reduzierung Treibhausgasemissionen um mind. 40% bis 2020 gegenüber dem Basisjahr 1990; Reduzierung Treibhausgasemissionen um mind. 80% bis 2050 gegenüber dem Basisjahr 1990.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Treibhausgasemissionen 	<p>Thema 6: Klimawandel und Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Treibhausgasemissionen - Treibhausgasemissionen nach Sektoren - Globale durchschnittliche Oberflächentemperatur
Energie	<p><i>Bundesregierung (2010)</i> Senkung Primärenergieverbrauch um 20% bis 2020 und 50% bis 2050 gegenüber dem Jahr 2008; Senkung Stromverbrauch um 10% bis 2020 und 25% bis 2050 gegenüber dem Jahr 2008; Senkung Wärmebedarf von Gebäuden um 20% bis 2020; Senkung Primärenergiebedarf von Gebäuden um rund 80% bis 2050; Senkung Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich um rund 10% bis 2020 und rund 40% bis 2050 gegenüber dem Jahr 2005 <i>BMU (2008)</i> Verpflichtung auf Niedrigstenergiehausstandard bei größeren energetischen Sanierungen bis 2020; Entwicklung der Wärmeversorgung von Neubauten bis 2020 weitgehend unabhängig von fossilen Energieträgern. <i>BMU, BMELV (2009)</i> Siehe Natürliche Ressourcen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Energieproduktivität - Primärenergieverbrauch - Erneuerbare Energien Anteil am Endenergieverbrauch/ - Stromverbrauch 	<p>Thema 6: Klimawandel und Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch - Inländischer Bruttoenergieverbrauch, nach Brennstoff - Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energiequellen - Anteil erneuerbarer Energien am Kraftstoffverbrauch des Verkehrs - Kombinierte Kraft-Wärme-Kopplung

Luft	<p><i>Bundesregierung (2008)</i> Reduzierung von fünf wesentlichen Luftschadstoffen Schwefeldioxid {SO₂}, Stickstoffoxide {NO_x}, Ammoniak {NH₃}, flüchtige organische Verbindungen {NMVOC} und primären Partikeln (PM_{2,5}) um 70% bis 2010 gegenüber dem Jahr 1990. <i>BMU (2007)</i> Einhaltung der Belastungswerte (critical loads and levels) [...] für Ozon bis zum Jahr 2020, so dass auch empfindliche Ökosysteme nachhaltig geschützt sind. <i>BMU, BMG (1999)</i> Flächendeckende Einhaltung eines vorsorgeorientierten Zielwertes für bodennahes Ozon von 120 µg/m³ (als Mittelwert über 8 Stunden).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stickstoffüberschuss - Schadstoffbelastung der Luft 	<p>Thema 2: Nachhaltige Produktions- und Konsumstrukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schwefeloxidemissionen (SO_x), nach Sektor - Stickstoffoxidemissionen (NO_x), nach Sektor - Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC), nach Sektor - Ammoniakemissionen (NH₃), nach Sektor
-------------	--	--	---

Tabelle 4: Umweltgüter, Politische Zielwerte und Indikatoren – Teil II

Umweltgüter	Politische Zielwerte (Deutschland und EU)	Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie zu Umwelt und Ökonomie (DESTATIS)	Eurostat-Indikatoren für nachhaltige Entwicklung
Wasser und Boden	<p><i>Europäisches Parlament und Rat der EU – Wasserrahmenrichtlinie (2000) und Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (2008)</i> Erreichung des „guten Zustandes“ aller Gewässer (Übergangs-, Küstengewässer, Flüsse, Seen) bis zum Jahr 2015: Keine Salz- oder andere Intrusionen (Nachweis über Leitfähigkeit); die Ziele für verbundene Oberflächengewässer werden nicht gefährdet und die ökologische oder chemische Qualität dieser Oberflächengewässer wird nicht signifikant verringert; abhängige Landökosysteme werden nicht signifikant geschädigt. <i>Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2009)</i> Europäisches Parlament und Rat der EU (2006) – Grundwasserrichtlinie Ein flächendeckend qualitativer guter Grundwasserzustand bis 2015: keine Salz- oder andere Intrusionen (Nachweis über Leitfähigkeit); die Werte der Qualitätsnormen und der relevanten Schwellenwerte</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stickstoffüberschuss - Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche 	<p>Thema 8: Natürliche Ressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anteil der Oberflächen- und Grundwasserentnahmen an verfügbaren Vorkommen - Biochemischer Sauerstoffbedarf in Flüssen

werden an keiner Messstelle im Grundwasserkörper überschritten.

BMU (2007)

Begrenzung der Flächeninanspruchnahme auf 0 ha pro Tag bis zum Jahr 2050 durch konsequentes Flächenrecycling; Erhaltung des derzeitigen Anteils der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume (UZVR) > 100km²; Reduzierung der Stickstoffüberschüsse auf 80 kg pro ha und Jahr bis 2010, angestrebt wird eine weitere Verringerung bis 2015; Einhaltung der Belastungswerte (critical loads und levels) für Versauerung (luftgetragene Schwefel- und Stickstoffeinträge) und Schwermetall- und Nährstoffeinträge (Eutrophierung) bis 2020, so dass auch empfindliche Ökosysteme nachhaltig geschützt sind.

BMU (2008)

Keine Schadstoffanreicherungen in landwirt. genutzten Böden mehr ab 2020.

BMU (2007)

Zurückführung der bewirtschaftsbedingten Schadstoffeinträge in land- und forswirt. genutzten Böden, z.B. durch Verschärfung der Grenzwerte des Düngemittelrechts, ab 2020; Überprüfung und ggf. Konkretisierung und effiziente Umsetzung der guten fachlichen Praxis nach § 17 BBodSchG und § 5 BNatSchG zur Sicherstellung einer standortangepassten Bodennutzung. Zur Minimierung schädlicher Bodenveränderungen durch Erosion werden im Rahmen des landwirtschaftlichen Fachrechts (Cross Compliance) die landwirtschaftlichen Flächen nach ihrer Erosionsgefährdung klassifiziert und erosionsmindernde Maßnahmen vorgeschrieben.

Tabelle 5: Umweltgüter, Politische Zielwerte und Indikatoren – Teil III

Umweltgüter	Politische Zielwerte (Deutschland und EU)	Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie zu Umwelt und Ökonomie (DESTATIS)	Eurostat-Indikatoren für nachhaltige Entwicklung
Artenvielfalt und Landschaft	<p><i>Bundesregierung (2008)</i> Anstieg des Indikators der Artenvielfalt auf den Indexwert 100 bis 215.</p> <p><i>BMU (2007)</i> Verbesserung der Gefährdungssituation für den größten Teil der Rote Liste Arten bis 2020; Erreichen überlebensfähiger Populationen von Arten, für die Deutschland eine besondere Eigenverantwortung trägt, bis 2020; Wiederherstellung und Sicherung der Lebensräume der Arten, für die Deutschland eine besondere Verantwortung hat bis 2020; Aufhalten des Rückgangs der heute vorhandenen Vielfalt wildlebender Arten bis 2010. Danach Trendwende hin zu einer höheren Vielfalt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Artenvielfalt und Landschaftsqualität - Ökologischer Landbau - Stickstoffüberschuss 	<p>Thema 8: Natürliche Ressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Index weit verbreiteter Vogelarten - Angemessenheit der designierten Gebiete unter der EU-Habitats-Richtlinie - Totholz (noch nicht verfügbar) - Bebaute Gebiete (Daten werden zurzeit überarbeitet) - Waldwachstum und Holzeinschlag - Durch Verlichtung geschädigte Waldbäume
	Gesundheit	<p><i>BMU, BMG (1999)</i> Begrenzung der maximalen Radonkonzentration in Innenräumen durch Maßnahmen an den Gebäuden auf die von der Europäischen Kommission empfohlenen Werte von 200Bq/m³ für Neubauten und langfristig 400 Bq/m³ für Altbauten.</p>	
<p><i>SRU (2008)</i> Flächendeckende Reduzierung der Lärmgrenzwerte für Wohnnutzungen kurzfristig auf 65 dB(A) tagsüber und auf 55 dB(A) nachts, mittelfristig auf tagsüber 62 dB(A) und auf 52 dB(A) nachts und langfristig auf tagsüber 55 dB(A) und auf 45 dB(A) nachts (für einen wirksamen Gesundheitsschutz).</p>			<p>Thema 5: Öffentliche Gesundheit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anteil der in Haushalten lebenden Bevölkerung mit der Ansicht, unter Lärm zu leiden

<p>Natürliche Ressourcen (biotisch/nachwachsend)</p>	<p><i>BMU, BMELV (2009)</i> Weiterer Ausbau der Nutzung von Bioenergie in den drei Bereichen Wärme, Strom und Kraftstoff unter besonderer Berücksichtigung von Speicher- und Verteilungsfragen; Begrenzung und weitgehende Vermeidung von Umweltbelastungen bei der Produktion von Biomasse durch geeignete Regelungen (Einhaltung, Prüfung und Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis in Land- und Forstwirtschaft, Düngemittel- und Pflanzenschutzrecht).</p>		
<p>Rohstoffe (abiotisch)</p>	<p>BMU (2010) Recyclingquote von 65% von Siedlungsabfällen (Papier, Metall, Kunststoff und Glas) bis 2020; Stoffliche Verwertungsquote von 80% für Bau- und Abbruchabfälle bis 2020. BMU (2008) Verdopplung der Ressourceneffizienz (Faktor 2=300kg/1000 Euro) als Mindestanforderung; mittelfristig Anstreben von Faktor 4 (=150kg/1000 Euro). <i>BMU (2010)</i> Minimierung der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus von Ressourcen: Wiedernutzung – werkstofflich – rohstofflich – energetisch – Deponierung. Recyclingquote von 65% von Siedlungsabfällen bis 2020.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Rohstoffproduktivität 	<p>Thema 2: Nachhaltige Produktions- und Konsumstrukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ressourcenproduktivität - Aufkommen nicht-mineralischer Abfälle - Komponenten des inländischen Materialverbrauchs - Inländischer Materialverbrauch, nach Materialien - Erzeugte und deponierte kommunale Abfälle, nach Behandlungsmethode - Erzeugung von gefährlichem Abfall, nach wirtschaftlicher Tätigkeit

3.2 Bewertungen der Umweltwirkungen ausgewählter grüner Zukunftstechnologien

Ausgangspunkt für die Bewertung der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien war eine Literaturlauswertung. Es wurden für jeden Teilmarkt Studien recherchiert, die einzelne oder mehrere Technologien untersuchen und Erkenntnisse zu ihren Umweltwirkungen liefern. Dabei wurden sowohl Fachartikel aus Zeitschriften als auch die Ergebnisse relevanter Vorgängervorhaben (Projektberichte) berücksichtigt. Die Erkenntnisse aus der Literaturlauswertung wurden zunächst in den Bericht eingearbeitet und darüber hinaus zur besseren Übersichtlichkeit in einer Hypothesenmatrix zusammengefasst. Neben der Literaturlauswertung wurden in einem zweiten Arbeitsschritt insgesamt 24 Interviews mit Experten im Bereich der in dieser Arbeit zu untersuchenden Teilmärkte durchgeführt. Das Ziel der Experteninterviews war es, eine Bewertung der Effekte der einzelnen untersuchten Technologien auf jedes Umweltgut vorzunehmen. Den Experten wurden dazu zunächst einige allgemeinere Fragen gestellt, um einen Gesamtüberblick zu bekommen. Im zweiten Teil des Interviews wurden spezifische technologiebezogene Fragen diskutiert. Die Grundlage für die Diskussion in beiden Interviewteilen bildete die Hypothesenmatrix und es wurde den Experten die Möglichkeit gegeben, die Erkenntnisse aus der Literatur zu bestätigen bzw. möglicherweise auch zu falsifizieren. Fragestellungen, die aufgrund des Fehlens wissenschaftlich fundierter Informationen für einzelne Teilmärkte und Umweltgüter durch die Literaturrecherche offen blieben, konnten während der Interviews durch die Experten beantwortet werden.¹⁷ Während der Interviews wurden die Experten aufgefordert, schrittweise (Umweltgut für Umweltgut) die Effekte des Teilmarktes einzuschätzen und zu bewerten. Die Bewertungen der Umweltwirkungen erfolgte dabei zweidimensional: Zum einen wurde die Richtung bestimmt, positiv (+) oder negativ (-), und zum anderen die Stärke (leicht/stark) des Effektes:

- ▶ Die Richtung der Effekte sollte relativ zur aktuell eingesetzten Technologie (die von den Experten als Referenztechnologie definiert wurde) in dem Teilmarkt bestimmt werden, d.h. ist die neue Technologie umweltfreundlicher als die alte Technologie (+) oder umweltschädlicher (-)?
- ▶ Die Stärke der Effekte sollte absolut gemessen werden und das Potenzial der Technologie widerspiegeln, welches bei dem geplanten Ausbau zu erwarten ist. Stark (++/--): der erwartete Effekt ist signifikant für das Umweltgut; Leicht (+/-): Es gibt einen Effekt, der aber auf das gesamte Umweltgut kaum einen Einfluss hat.

Die subjektive Einschätzung der Umwelteffekte seitens der Experten führte dazu, dass die Bewertungen teilweise bzgl. Effektstärke, aber auch bzgl. der Richtung, voneinander abwichen. Letzteres war insbesondere im Teilmarkt der „Speichertechnologien“ zu beobachten, da die Experten zwar umfassende Kenntnisse im Bereich der Energiespeicher besitzen, jedoch nicht so stark auf einzelne Technologien spezialisiert sind, wie es bei den anderen hier betrachteten Teilmärkten der Fall ist. Aufgrund der Tatsache, dass der Erforschung der Stromspeicher erst in jüngerer Zeit größere Aufmerksamkeit geschenkt wird, standen Experten, die sich detailliert mit einer einzelnen Speichertechnologie beschäftigen, nicht zur Verfügung. Darüber hinaus sind viele Effekte der Speichertechnologien noch nicht ausreichend erforscht, so dass die Experten mitunter nur eine vage Vorstellung von möglichen Effekten hatten und die Bewertungen fallweise sehr unterschiedlich ausfielen. Ein weiteres Problem war die Unsicherheit der Experten bzgl. der Stärke eines Effektes, so dass einige Effekte zweifach (z.B. + und ++) bewertet wurden.

Bei Vorliegen unterschiedlicher Bewertungen für eine Teilmarkt/Umweltgut Kombination wurde unter Hinzunahme der Erkenntnisse aus der Literatur eine finale Bewertung gewählt, um diejenige Bewertung, die am zutreffendsten erscheint, in die zusammenfassende Bewertungsmatrix aufzunehmen.

Anzumerken ist, dass in vielen Technologien Rohstoffe verarbeitet werden, die hauptsächlich im Ausland abgebaut werden, z.B. Seltene Erden. Viele dieser Rohstoffvorkommen befinden sich in China oder in anderen Schwellen- und Entwicklungsländern, in denen es häufig keine oder nur geringe Umweltschutzvorgaben gibt. Während des Abbaus der Rohstoffe kann es zu signifikant negativen Effekten auf verschiedene Umweltgüter kommen. Davon sind insbesondere die Güter Luft, Wasser, Boden und Gesundheit betroffen. Bei letzteren handelt es sich um Effekte, die aufgrund von Lärm- oder Schadstoffemissionen negativ auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen wirken. Diese nega-

¹⁷ Das Anschreiben sowie der Gesprächsleitfaden für die Interviews sind im Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zu finden.

tiven Umweltwirkungen sollten in der Gesamtbewertung unbedingt berücksichtigt werden. Da diese jedoch am Anfang der Produktionskette und dazu fast ausschließlich in den häufig wenig entwickelten Abbauländern entstehen, sind sie bisher nicht gut dokumentiert und nur schwer quantifizierbar. Daher konnten sie nicht direkt in die Bewertung mit aufgenommen werden. Damit die im Text eingebauten Informationen in der Matrixdarstellung nicht verloren gehen, werden die Zellen für die betroffenen Umweltgüter und Technologien dunkel hinterlegt.

Aus der relativen Bewertung der Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung hat sich umgekehrt meist ein positiver Effekt in Deutschland, aber auch ein indirekter positiver Effekt in den Abbauländern von Metallen und fossilen Rohstoffen ergeben. Dieser indirekte positive Umweltentlastungseffekt durch Vermeidung von Primärgewinnung von Metallen und fossilen Rohstoffen spielt hauptsächlich für die Umweltgüter Wasser, Boden, Artenvielfalt und Landschaft sowie Gesundheit (meist im Ausland) eine Rolle. Um diesen Effekt zu kennzeichnen, werden die entsprechenden Felder in der Tabelle schraffiert.

Die Bewertungen erfolgen relativ zu einer Referenztechnologie, d.h. der aktuell eingesetzten Technologie. Diese wurde für jeden Teilmarkt von den Experten festgelegt:

- ▶ Alternative Antriebe: die Referenztechnologie ist der herkömmliche Verbrennungsmotor (Benzin, Diesel, Biokraftstoffe);
- ▶ Erneuerbaren Energien: die Referenztechnologie ist der aktuelle deutsche Strommix;
- ▶ Speichertechnologien: die Referenztechnologie ist „kein Speicher“;
- ▶ Effizienztechniken in der Industrie: die Referenztechnologien für Effizienztechniken der Metallerzeugung sind die „klassischen“ Produktionsverfahren der Metallerzeugung; die Referenztechnologie für die Querschnittstechnologien ist „klassische“ Erzeugung von Kälte oder Wärme durch separate Prozesse;
- ▶ Energieeffizienz von Gebäuden: die Referenztechnologie ist „keine Sanierung“;
- ▶ Stoffliche Abfallverwertung: die Referenztechnologie ist die Primärgewinnung/-erzeugung von Metallen und Kunststoffen.

Auf die Auswahl dieser Referenztechnologien wird in den Teilkapiteln nochmal genauer eingegangen.

Um eine möglichst vollständige Bewertung der Umweltwirkungen der betrachteten Technologien zu präsentieren, werden die Ergebnisse der Literaturlauswertung und der Experteninterviews in den nachfolgenden Unterkapiteln für jede Technologie und jedes Umweltgut zusammenfassend dargestellt.

3.2.1 Alternative Antriebstechnologien

Der Teilmarkt „alternative Antriebstechnologien“ (AA) wurde aufgrund des weltweit steigenden Verkehrsaufkommens (einer möglichen Verdreifachung der Personenkilometer im Zeitraum 2000 bis 2050), welches zurzeit noch größtenteils auf fossilen Brennstoffen basiert, ausgewählt, siehe Kapitel 2.2.2. In Deutschland ist der Verkehrssektor aktuell für 20% aller energiebedingten THG-Emissionen verantwortlich, den überwiegenden Teil davon macht der motorisierte Individualverkehr aus. In dieser Studie werden vier alternative Antriebstechnologien genauer untersucht.¹⁸

Batterieelektrische Fahrzeuge¹⁹ (BEV) werden mit einem Elektromotor angetrieben, der den notwendigen Strom aus einer Batterie bezieht. Die Batterie wird über ein Ladekabel (oder auch kabellos) aufgeladen.

Brennstoffzellenfahrzeuge (BSZF) erzeugen den Strom, der für den Elektroantrieb notwendig ist, aus Wasserstoff, Methan oder Erdgas mit der im Auto eingebauten Brennstoffzelle. Hier wird nur die Wasserstofftechnologie näher betrachtet.

¹⁸ Biokraftstoffe werden hier nicht betrachtet, weil die Antriebstechnologie sich nicht von den herkömmlichen Verbrennungsmotoren unterscheidet, nur der Treibstoff ist ein Anderer. Biokraftstoffe basieren nicht auf Mineralöl, sondern werden aus Biomasse gasförmig oder in flüssiger Form hergestellt und können von den neueren Verbrennungsmotoren genutzt werden. Die direkten Treibhausgasemissionen, die während der Verbrennung bei Nutzung des Autos entstehen, sind deutlich niedriger als die Emissionen bei vergleichbarer Nutzung von Ottokraftstoffen. Die Umweltwirkungen von Biomasse werden in Kapitel 3.2.2 näher betrachtet.

¹⁹ Battery electric vehicles (BEV).

Hybridantriebe kombinieren verschiedene Antriebstechnologien in einem Fahrzeug. Hier werden Hybridantriebe mit einem Verbrennungsmotor und mit einem Elektroantrieb betrachtet. Der für den Elektroantrieb benötigte Strom wird durch anfallende überschüssige Energie, z.B. beim Bremsen durch Bremsenergie, generiert, in einem Akku gespeichert und steht dann zur Verfügung, um den Verbrennungsmotor zu unterstützen. Dies wirkt sich positiv, d.h. reduzierend, auf den Kraftstoffverbrauch aus. Ein entsprechendes Konzept wird in Microhybrid-, Mildhybrid- als auch in Vollhybrid-Fahrzeugen angewendet.

Plug-In-Hybrid-Antriebe entsprechen im Wesentlichen Hybridantrieben, allerdings kann die Batterie zusätzlich am Stromnetz aufgeladen werden und weist im Allgemeinen eine deutlich höhere Kapazität auf.

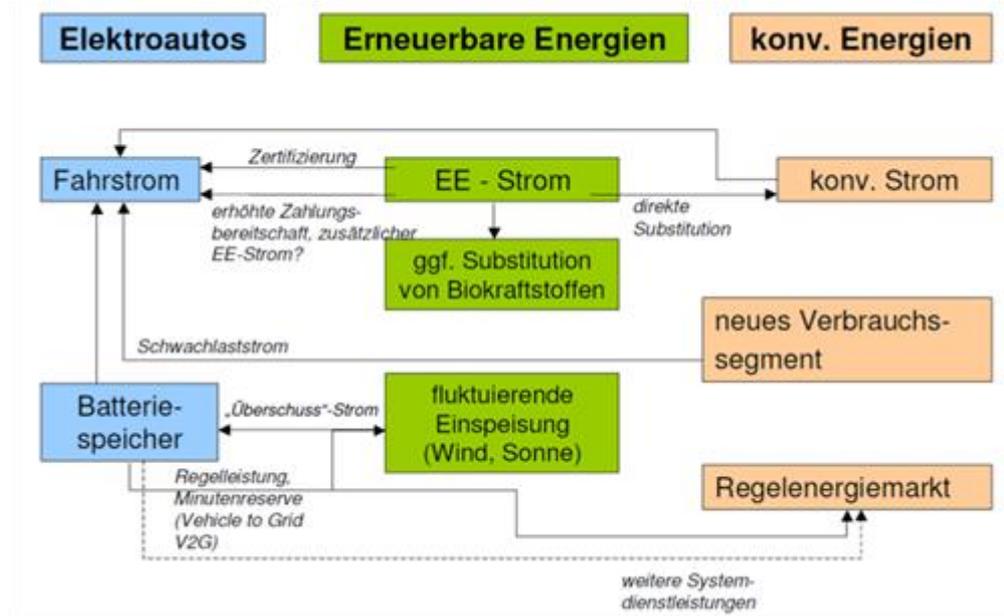
Zur Bewertung der Effekte der vier dargestellten Technologien auf die in dieser Arbeit untersuchten Umweltgüter wurden, wie erwähnt, Technologieexperten hinzugezogen, die in rund 45-minütigen Interviews um ihre Einschätzung gebeten wurden. Notwendig war dabei die Definition der gegenwärtig eingesetzten Technologie als Referenz mit der die Zukunftstechnologien verglichen werden sollten. Im Falle der alternativen Antriebe wurde der herkömmliche Verbrennungsmotor (Diesel, Benzin, Biokraftstoffe) als Referenztechnologie und dementsprechend als Bewertungsgrundlage für die Effekte auf die Umwelt (siehe Tabelle 7) gewählt.

Die Umweltentlastungspotenziale alternativer Antriebstechnologien sind eine mögliche Reduzierung der THG-Emissionen, ein geringerer Schadstoffausstoß, vor allem in den Ballungsgebieten, und eine niedrigere Lärmbelastung bei der Nutzung der Fahrzeuge. Negative Wirkungen auf die Umwelt entstehen durch die höhere Belastung bei der Herstellung der Batterien/Akkus oder der Brennstoffzellen. Die Ökobilanz der Elektrofahrzeuge bspw. hängt stark von der Technologie und dem verwendeten Batteriesystem ab. Die Umweltbelastungen während der Produktion der Elektrofahrzeuge liegen aufgrund der benötigten Batteriesysteme um den Faktor 1,5 bis 2 höher als bei den Fahrzeugen mit herkömmlichen Antrieben (ISI 2011). Effizienzverbesserungen bei der Produktion aller anderen Bestandteile der Autos, wie z.B. Leichtbau oder Reduktion der Fahrwiderstände kommen sowohl den Fahrzeugen mit klassischem Verbrennungsmotor als auch den Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien zugute. Die Umweltwirkungen unterscheiden sich daher in diesem Bereich der Herstellung nicht (IFEU und WI 2007). Aufgrund der niedrigeren negativen Klimawirkungen beim Betrieb des Elektrofahrzeugs kann bezogen auf die Lebensdauer des Fahrzeugs inklusive Herstellung, Betrieb und Entsorgung jedoch erwartet werden, dass die Umweltentlastungspotenziale die Umweltbelastungen im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellen Verbrennungsmotoren mehr als ausgleichen.

Negative Umweltwirkungen des Straßenverkehrs, die auch durch Elektroantriebe nicht vermieden werden können sind: Lärmbelastung bei Fahrgeschwindigkeiten oberhalb von 50 km/h durch Rollgeräusche, Landschaftszerschneidung, Verkehrssicherheitsaspekte und Verkehrsfluss. Diese Punkte können nur durch eine Neugestaltung des gesamten Verkehrssektors beeinflusst werden.

Die Umweltwirkungen, sowohl positive wie auch negative, werden hier für die verschiedenen Umweltgüter beschrieben. Die Technologien und damit die Umweltwirkungen dieses Teilmarktes überschneiden sich teilweise mit denen anderer Teilmärkte, wie zum Beispiel EE, Speichertechnologien und Effizienztechniken im industriellen Sektor. Der Teilmarkt EE hat einen Einfluss auf die Emissionsintensität der Stromproduktion, die bei batterieelektrischen Fahrzeugen eine wesentliche Rolle für die Klimawirkung der Nutzung der Fahrzeuge spielt. Abbildung 7 bietet einen Überblick über die Wechselwirkung von AA- und EE-Technologien. Die Umweltwirkungen der Speichertechnologien sind sowohl für batterieelektrische als auch für Brennstoffzellenfahrzeuge, durch den Einsatz eben dieser Technologien, relevant. Effizienztechniken im industriellen Sektor sind insbesondere für die Herstellung von Metallen, aber auch von Batterien, wichtig.

Abbildung 7: Wechselwirkung zwischen EE und Elektromobilität



Quelle: IFEU, WI (2007)

Klima

Am höchsten sind die Umweltentlastungspotenziale bei der Nutzung von Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen für die Umweltgüter Klima und Luft, wenn der für die Nutzung von Elektrofahrzeugen zusätzlich benötigte Strom zu 100% aus emissionsfreien Energietechnologien kommt. In diesem Fall gehen Schadstoffausstoß und somit auch Klimawirkung während des Fahrbetriebs der Autos gegen Null (OPTUM 2011b; IFEU 2011b). Allerdings ist anzumerken, dass die höheren Umweltbelastungen, die aufgrund der Batterie bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen entstehen, erst ab einer gewissen, relativ hohen Fahrleistung kompensiert werden können. Hieraus lässt sich ableiten, dass die individuelle Nutzung von Elektromobilen gegenwärtig in Megacities aufgrund einer geringen Fahrleistung ökologisch nicht sinnvoll ist. Diesbezüglich schneidet das Plug-In-Hybrid-Fahrzeug besser ab und übertrifft unter den gemachten Annahmen²⁰ bei einer Fahrleistung von 9000 km bereits die Ökobilanz von Dieselfahrzeugen (Fraunhofer ISI 2011a). Auch Brennstoffzellenfahrzeuge haben dieses Potenzial, wenn der Wasserstoff aus emissionsfreiem Strom hergestellt wird. Bei der Herstellung fallen Elektrofahrzeuge hinsichtlich der CO₂-Bilanz deutlich hinter herkömmliche Fahrzeuge zurück. So wird bspw. bei der Produktion des smart fortwo electric drive mit 7,4 t CO₂ Äquivalent pro Auto doppelt so viel CO₂ emittiert wie bei der Herstellung des smart fortwo micro hybrid drive (3,6 t CO₂). Sollte es in Zukunft möglich sein, den smart fortwo electric drive mit 100% regenerativen Energien zu betreiben, liegt die CO₂-Einsparung, über den ganzen Lebenszyklus betrachtet, bei einer Nutzungsphase von 120.000 km bei rund 60 % gegenüber einem Benzin (Daimler AG 2012). Somit wird deutlich, wie wichtig die regenerative Stromerzeugung für die Klimabilanz eines Elektroautos ist. Khan & Kushler (2013) berechnen für konkrete Fahrzeuge die gesamten jährlichen CO₂-Emissionen, die bei der Produktion, dem Transport und der Nutzung der Brennstoffe anfallen. Der Ford Focus mit einem konventionellen Antrieb emittiert mit 4,5 t CO₂ fast doppelt so viel CO₂ wie der Ford Focus Electric mit 2,5 t CO₂. Das Hybridfahrzeug Toyota Prius C folgt mit 3,0 t und der Chevrolet Volt als Plug-In-Hybrid Fahrzeug mit 3,2 t CO₂.

Die Unterschiede, die zwischen konventionell und alternativ angetriebenen Fahrzeugen hinsichtlich ihrer Emissionen bei Produktion und Fahrvorgang bestehen, werden in Tabelle 6 deutlich, in der die Ergebnisse der von Khan & Kushler (2013) durchgeführten „full-fuel-cycle“ Analyse zusammengefasst sind.

²⁰ Folgende Annahmen werden in ISI (2011) getroffen: Die Jahresfahrleistung beträgt 14.300 km, die Fahrzeuglebensdauer 12 und die Batterielebensdauer 8 Jahre. Der Fahrzeugverbrauch wurde dem ADAC EcoTest (inkl. Nebenverbraucher) entnommen und die Emissionsprofile CV nach Handbook Emission Factors For Road Transport 3.1.

Tabelle 6: Jährlicher "full-fuel-cycle" Emissionen in t CO₂ (2013)

	In-Use GHG (metric tons CO ₂ equivalent)	Upstream GHG (metric tons CO ₂ equivalent)	Total GHG (metric tons CO ₂ equivalent)
Ford Focus FWD	3.6	0.8	4.5
Toyota Prius C	2.4	0.5	3.0
Chevrolet Volt	1.2	2.0	3.2
Ford Focus Electric	0.0	2.5	2.5

Quelle: Khan & Kushler (2013)

Während des Fahrvorgangs sind die CO₂-Emissionen des konventionellen und des Hybrid-Fahrzeugs deutlich höher als die Emissionen des Plug-In-Hybrid Fahrzeugs und des Elektroautos (3,6 bzw. 2,4 t CO₂ gegenüber 0 bzw. 1,2 t CO₂). Betrachtet man allein die Produktion und die Vorketten, so emittieren hingegen sowohl das Plug-In-Hybrid Fahrzeug als auch das Elektroauto mehr CO₂ als das konventionelle und das reine Hybridfahrzeug (2,0 bzw. 2,5 gegenüber 0,8 bzw. 0,5 t CO₂) (Khan & Kushler 2013).

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Bewertung der Effekte der alternativen Antriebe auf das Klima im Vergleich zur Referenztechnologie – dem herkömmlichen Verbrennungsmotor. Die Ergebnisse der Literaturstudie werden von unseren Experten bestätigt, da sie generell die Wirkungen der alternativen Antriebe auf das Klima als positiv einschätzen, solange der im Bereich der BEV, Brennstoffzellen und Plug-In-Hybrid Fahrzeugen benötigte Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt.

Fahrzeuge mit alternativen Antrieben wurden entwickelt bzw. werden weiter erforscht, um in erster Linie zur Schonung des Klimas THG-Emissionen zu reduzieren. Die einzelnen Technologien wurden dabei zusammengefasst mit einem einfachen und nicht einem doppelten + bewertet, da die Herstellung der Fahrzeuge, wie auch in der Literaturzusammenfassung herausgestellt, mitunter deutlich energieaufwendiger ist als die Herstellung herkömmlicher Fahrzeuge. Bei den Hybrid- und Plug-In-Hybridfahrzeugen wird weniger Energie aufgewandt als bei den BEV – dafür fahren sie aber ab einer bestimmten Fahrleistung auch mit einem Verbrennungsmotor. Auch einen indirekten positiven Effekt machten einige Experten für Fahrzeuge mit begrenzten Reichweiten aus: Aufgrund der begrenzten Reichweiten würden Besitzer dieser Autos bei längeren Fahrten auf den Bahnverkehr zurückgreifen, was dem Klima zugutekäme.

Energie

Der Wirkungsgrad vom bereitgestellten Strom bis zur benötigten Antriebsenergie für Batterieelektrische Fahrzeuge beträgt 90%, wohingegen dieser im Falle von Brennstoffzellenfahrzeugen nur 26% ist (IFEU 2011b). Bei konventionellen Fahrzeugen (Benzin, Diesel und auch Biokraftstoffe) ist der Wirkungsgrad tank-to-wheel jedoch noch niedriger (IFEU 2011a).

Die verschiedenen Technologien schneiden, wie in Tabelle 7 dargestellt, bei einer Bewertung der Effekte sehr unterschiedlich im Vergleich zur Referenz ab. Aufgrund eines sehr hohen Wirkungsgrades wurden BEV von den Experten mit ++ bewertet, während der Wirkungsgrad von Brennstoffzellenfahrzeugen bedingt durch Umwandlungsverluste geringer ist als bei Fahrzeugen mit einem herkömmlichen Antrieb.

Beide Hybridtechnologien wurden hinsichtlich des Umweltgutes Energie besser bewertet als herkömmliche Antriebe, allerdings weniger positiv als BEV. Somit erfolgt eine Bewertung mit nur einem +.

Tabelle 7: Bewertung der Auswirkungen von AA auf ausgewählte Umweltgüter

	Klima	Energie	Luft	Wasser & Biodiversität	Gesundheit	Ressourcen	Abfall (abio)
--	-------	---------	------	------------------------	------------	------------	---------------

Technologie \ Umweltgut	Umweltgut					Schadstoffe	Lärm		
Batterieelektrische Fahrzeuge	+	++	++	-	0	++	++	+	--
Brennstoffzellenfahrzeuge	+	-	++	-	0	++	++	+	-
Hybridfahrzeuge	+	+	+	-	0	+	+	+	-
Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge	+	+	+	-	0	+	+	+	-

Referenz für alle Technologien: Der herkömmliche Verbrennungsmotor.

Legende:	
++/--	Starke Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
+/-	Leichte Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
0	Kein relevanter Effekt des Technologie auf das Umweltgut
	Lokal negative Umweltwirkungen (in Abbauländern)
	Lokal positive Umweltwirkungen (in Abbauländern)

Luft

Durch den Einsatz von zentral produziertem Strom werden Schadstoffausstöße während der Nutzung des Elektroautos lokal fast vollständig vermieden. Es findet eine Verlagerung der Luftverschmutzung aus den Städten hin zu den Stromproduktionsorten statt. Wenn der Strom hauptsächlich durch EE zur Verfügung gestellt werden kann, wird der Schadstoffausstoß insgesamt gesenkt (IFEU 2011b, IFEU und WI 2007, Hacker et al. 2009). Das Sommersmogpotenzial von Elektrofahrzeugen entspricht ungefähr dem von Dieselfahrzeugen und ist somit erheblich geringer als das von Brennstoffzellenfahrzeugen (Nutzung von Platingruppenmetallen bei der Herstellung der Brennstoffzelle) und Benzinfahrzeugen (IFEU 2011a). Selbst bei einer moderaten Technologieentwicklung, z.B. durch die Nutzung von Sekundär-Platingruppenmetallen, wird jedoch eine Halbierung des Sommersmogpotenzials bis 2030 erwartet. Problematisch ist, dass für die Herstellung der Batterien oder Brennstoffzellen Seltene Erden verwendet werden müssen. Schon allein die Batterie eines Hybridfahrzeugs benötigt 20 kg Seltene Erden (Cleanenergy 2013). Der Abbau dieser Metalle geht mit erheblichen Eingriffen in die Umwelt einher. Die Volksrepublik China, die zurzeit eine Monopolstellung beim Abbau der Seltenen Erden besitzt und rund 90% des Bedarfs an Seltenen Erden beliefert, hat berechnet, dass jährlich rund 20 Mio. t toxische Abwässer durch den Abbau der Seltenen Erden anfallen. In den betroffenen Regionen ist nach Informationen von Umweltgruppen das Risiko für chronische Lungenerkrankungen gestiegen, was darauf hinweist, dass das Schutzgut Luft in den Abbaugebieten indirekt negativ durch den Ausbau der alternativen Antriebe beeinflusst wird (Handelsblatt online 2012).

Die Experten haben sich hinsichtlich der Wirkung der alternativen Antriebe auf das Umweltgut Luft auf die Betriebszeiten der Fahrzeuge konzentriert und die Herstellung für die Bewertung in Tabelle 7 nicht beachtet. Hinsichtlich des Abbaus der Rohstoffe, die für die Herstellung der alternativen Antriebe (AA) benötigt werden, und potenzieller Wirkungen auf die Luft in den Abbaugebieten, waren die Experten sich einig, dass negative Effekte auf die Luft denkbar sind. Dass negative Effekte wahrscheinlich sind, wird durch die dunkle Einfärbung der Zellen zum Ausdruck gebracht.

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb sind die Effekte der AA auf das Umweltgut Luft während des Betriebs durchgehend positiv, wobei BEV und Brennstoffzellenfahrzeugen mit ++ eine noch positivere Wirkung auf Luft zugesprochen wird als beiden Hybridtechnologien. Dies ist dadurch zu begründen, dass bei letzteren die Auswirkungen von den Fahranteilen (Verbrennungsmotor zu alternativen Antrieben) abhängen. Bei längeren Distanzen werden die Fahrzeuge durch konventionelle Verbrennungsmotoren angetrieben, die die positiven Wirkungen auf die Luft (Feinstaubausstoß etc.) wieder etwas reduzieren.

Wasser und Boden

Die Versauerung und Eutrophierung von Boden und Wasser von Elektrofahrzeugen über den ganzen Lebenszyklus hinweg ist deutlich niedriger als von Benzinfahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen (auch hier spielen die Platingruppenmetalle wieder ein Rolle), geringfügig niedriger als von Dieselfahrzeugen und Fahrzeugen, die mit Biokraftstoffen angetrieben werden (IFEU 2011b, Helms et al. 2011). Allerdings sollte dabei nach Herstellung und Betrieb der AA differenziert werden.

Die Gewinnung von Rohstoffen, z.B. von Seltenen Erden, durch den Einsatz giftiger Chemikalien verursacht starke lokal beschränkte Umweltverschmutzungen in den Abbaugebieten (OPTUM 2011a, Stamp et al. 2012). Beispielsweise kann für den Kobaltabbau im Kongo gezeigt werden, dass viele Kobalterze mit Schwermetallen wie Blei und Uran vergesellschaftet sind, so dass von diesen eine radioaktive Strahlung ausgeht (bis zu 24mSv pro Jahr), die über das Wasser oder Staub auch dem Menschen schaden kann (Manhart 2012).

Auch von den Experten wurden die Effekte, die mit dem Abbau der nötigen Rohstoffe für die Herstellung der AA einhergehen, durchgehend als negativ bewertet (-), wobei deutlich wird, dass in diesem Bereich noch ein erheblicher Forschungsbedarf besteht. Zwar waren sich die Experten einig, dass negative Effekte in den Abbauländern bestehen, sie waren sich aber nicht sicher, wie stark diese Effekte ausgeprägt sind. Darüber hinaus wurde auf das Problem hingewiesen, dass im Falle der Aufbereitung der in den Antrieben enthaltenen Stoffe verunreinigte Schlämme entstehen, die bei einem Dambruch Wasser und Boden kontaminieren würden.

Als positiv wurde für BEV angemerkt, dass im Falle eines Unfalls, anders als bei Fahrzeugen mit herkömmlichen Antrieben, keine Stoffe wie Öl oder Benzin austreten. Dieser positive Effekt überwiegt jedoch nicht die negativen Auswirkungen, die durch den Rohstoffabbau in den Abbauländern auftreten.

Artenvielfalt und Landschaft

Umweltwirkungen auf Artenvielfalt und Landschaft sind vergleichbar mit denen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Durch die Umstellung auf AA werden bspw. keine zusätzlichen Straßen gebaut, die ohne Existenz der AA nicht gebaut worden wären. Daher wird der Effekt von allen Technologien auf Artenvielfalt und Landschaft als nicht vorhanden (0) eingestuft. Ein nennenswerter Punkt ist der Vergleich von Elektroantrieben mit Biokraftstoffen in Helms et al. (2011): Für die Herstellung von Strom aus EE (ausgenommen Biomasse) wird wesentlich weniger Landfläche benötigt als für die Herstellung von Biokraftstoffen. In den Abbaugebieten der Seltenen Erden sind negative Effekte auf die Landschaft zu beobachten, da diese bspw. in großen Bergwerken gefördert werden (Handelsblatt online, 2012). Dieser Effekt wird durch die dunkelfarbige Hinterlegung der Zellen in Tabelle 7 berücksichtigt.

Gesundheit

Sowohl lokale Lärm- als auch lokale Schadstoffbelastungen verringern sich bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen im Vergleich zur Nutzung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren deutlich (IFEU und WI 2007, Hacker et al. 2009). Die Geräusche des Fahrzeugbetriebs gehen bei niedrigen Geschwindigkeiten und beim Beschleunigen innerhalb der Städte zurück. Bei höheren Geschwindigkeiten sind hauptsächlich Rollgeräusche und Windwiderstand für eine Lärmbelastung verantwortlich und treten somit auch bei Fahrzeugen mit AA auf. Auch wenn das Ziel von einer Million Elektroautos in Deutschland bis zum Jahr 2020 erreicht wird, ist insgesamt nicht mit einer signifikanten Lärminderung im Straßenverkehr zu rechnen, da Elektroautos lediglich einen geringen Anteil der Kraftfahrzeuge auf den deutschen Straßen stellen (UBA 2013). Schadstoffbelastungen der Luft entstehen durch AA nicht mehr lokal in den Städten, sondern werden an die Stromproduktionsstätten verlagert. Durch den Abbau der Seltenen Erden entstehen Schadstoffbelastungen in den Abbaugebieten. So wird von Umweltgruppen darauf hingewiesen, dass in diesen Gebieten das Risiko der Krebserkrankungen, Gen-Defekte und chronischen Lungenleiden zugenommen haben (Handelsblatt online 2012). Gleiches gilt bspw. für die Abbaugebiete von Kobalt (Manhart 2012).

Hinsichtlich der Wirkung auf die menschliche Gesundheit konnten die Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, wie in Tabelle 7 dargestellt, von den Experten positiv im Vergleich zur Referenz bewertet werden. Dabei gelten die gleichen Argumente wie bereits in der Literaturzusammenfassung dargestellt. Insbesondere BEV und Brennstoffzellenfahrzeuge wurden als sehr positiv im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen bewertet, wobei gleiche Begründungen vorgebracht werden wie beim Umweltgut Luft. Der Effekt der beiden Hybridtechnologien wird als etwas weniger positiv eingeschätzt, was damit zu begründen ist, dass die Fahrzeuge, wie bereits erwähnt, je nach zurückgelegter Distanz gegebenenfalls mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor angetrieben werden. Die Emissionen unterscheiden sich in dem Fall nicht von jenen der konventionell angetriebenen Fahrzeuge, der Umfang ist jedoch weitaus geringer. Die negativen Auswirkungen des Rohstoffausbaus in den Abbaugebieten werden ebenfalls durch die dunkle Einfärbung der Zellen zum Ausdruck gebracht.

Auch hinsichtlich des Lärms schätzen die Experten Fahrzeuge mit alternativen Antrieben als deutlich positiv gegenüber der Referenztechnologie ein. Allerdings bemerkten sie, dass sich aufgrund der geringeren Geräuschemissionen die Unfallgefahr erhöht, da BEV oder Brennstoffzellenfahrzeuge von anderen Verkehrsteilnehmern leichter überhört werden. Da die beiden Hybridtechnologien zeitweise mit Verbrennungsmotor fahren, ist der Lärmreduktionseffekt nicht so groß wie bei den erst genannten Technologien, jedoch positiv im Vergleich zu herkömmlichen Antrieben. Betrachtet man den Gesamtfuhrpark in Deutschland und den geringen Anteil der AA, insbesondere der Elektroautos, fällt der Gesamteffekt,

wie erwähnt, eher gering aus. Auf der Ebene der einzelnen Fahrzeuge wurde der Effekt jedoch von den Experten als positiv bzw. sehr positiv bewertet.

Natürliche Ressourcen (biotisch)

Durch einen vermehrten Einsatz von Elektrofahrzeugen ergeben sich Umweltentlastungseffekte durch eine niedrigere Nachfrage nach Biomasse (OPTUM 2011b), wenn angenommen wird, dass herkömmliche Fahrzeuge durch fossile sowie erneuerbare Brennstoffe angetrieben werden. Dies Argument wird durch die Experten bestätigt. Allerdings kann Wasserstoff für den Brennstoffzellenantrieb auch durch Biomassevergasung hergestellt werden, was den Effekt wieder ausgleicht. Insgesamt schätzen sie den Effekt für jede Technologie leicht positiv ein (+).

Rohstoffe (abiotisch)

Auch im Bereich der Rohstoffe sollte hinsichtlich der Effekte der Förderung der alternativen Antriebe nach Herstellung und Betrieb differenziert werden. Eine sinkende Nutzung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zieht bspw. weniger Nachfrage nach Mineralölprodukten nach sich, welches für den Betrieb des Fahrzeugs benötigt wird. Dies ist ein positiver Effekt.

Negative Auswirkungen auf die Rohstoffe entstehen hingegen bei der Herstellung der Fahrzeuge, da zwar einerseits weniger Materialien verwendet werden, die zur Herstellung von Verbrennungsmotoren erforderlich sind (OPTUM 2011b), andererseits aber die Nachfrage nach Rohstoffen steigt, die zur Herstellung von Batterien und zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren-Energien-Technologien (EET) benötigt werden (OPTUM 2011b, Stamp et al. 2012). So werden bspw. für Elektromotoren Neodym und Dysprosium verwendet und für die Batteriesysteme Kobalt und Graphit (Fraunhofer ISI 2011a). Da es sich dabei u.a. auch um Elemente der Seltenen Erden handelt, deren weltweites Vorkommen äußerst begrenzt ist, ist der resultierende Effekt als negativ zu bewerten. Durch die Förderung von Technologien, die auf diese Metalle angewiesen sind, wird das Knappheitsproblem verschärft.

Die Experten haben trotz der Tatsache, dass bei der Nutzung von alternativen Antrieben weniger Öl, Benzin etc. als bei der Nutzung von konventionellen Antrieben genutzt wird, die Auswirkungen auf das Umweltgut Rohstoffe, wie in Tabelle 7 dargestellt, als negativ bewertet. BEV verzeichnen dabei die am stärksten negative Bewertung (--), da zur Herstellung von Batterien mehr Seltene Erden verwendet werden als bei den anderen Antrieben. In der Diskussion sind häufig Umweltstandards, die in den Abbauländern eingehalten werden sollten. Dies wird aber auch durch politische Fragestellungen erschwert. Chinas bereits erwähnter Besitzanteil an Seltenen Erden und die relativ geringen lokalen Umweltauflagen, lassen einen nachhaltigen Abbau der Rohstoffe gegenwärtig noch unrealistisch erscheinen. Die Bewertung der Effekte wird zusätzlich dadurch erschwert, dass berücksichtigt werden muss, in welchem Land die Technologien betrieben werden. „Tanken“ Elektroautos bspw. in Frankreich Atomstrom, werden weniger Rohstoffe abgebaut, als wenn Elektroautos Strom aus fossilen Energieträgern beziehen.

Fazit

Das Umweltentlastungspotenzial von Elektrofahrzeugen bezieht sich im Wesentlichen auf die Umweltgüter Klima und Luft und hängt in erster Linie von der Stromerzeugung ab. Wenn der zusätzlich benötigte Strom aus fossilen Energieträgern gewonnen wird, wird die Umwelt eher stärker belastet als entlastet. Daher ist es unbedingt notwendig, den zusätzlich benötigten Strom aus THG-emissionsfreien EE herzustellen. Dabei muss allerdings zusätzlich beachtet werden, dass bei dem Abbau der Rohstoffe (z.B. Seltener Erden) für die Herstellung EET und Batterien/Akkus Umweltverschmutzungen und gesundheitsgefährdende Effekte in den Abbaugebieten auftreten. Jedoch gehen alle Umweltbelastungen, die durch die Gewinnung und den Transport von Mineralöl entstehen, in dem Maße zurück, in dem Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ablösen. Anzumerken ist, dass nur wenige Informationen bzgl. etwaiger Umweltwirkungen in der Vorleistungskette zur Verfügung stehen. Dies bezieht sich in erster Linie auf den Abbau der Seltenen Erden im Ausland. Die wenig verfügbaren Informationen wurden in der Bewertung der Umweltwirkungen berücksichtigt, jedoch sollte es im Rahmen der Nachhaltigkeit als wichtig erachtet werden, an anderer Stelle Forschung in diesem Bereich zu fördern.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Umweltentlastungspotenziale von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen am größten sind. Bei Hybridfahrzeugen hängt das Potenzial von dem relativen Anteil der Fahrleistung im Elektrobetrieb ab. Bei Brennstoffzellenfahrzeugen sind zurzeit die negativen Effekte, die durch die Nutzung von Platingruppenmetallen bei

der Herstellung der Zellen entstehen, dominierend. Der Betrieb der Fahrzeuge hingegen besitzt ein großes Entlastungspotenzial, da die Möglichkeiten, Wasserstoff aus 100% emissionsfreien Energiequellen herzustellen, schon jetzt gegeben sind. Ein weiterer Vorteil des Wasserstoffs sind seine fast verlustfreien Lagerungs- und Transportmöglichkeiten. Insgesamt wird deutlich, dass die Umweltentlastungspotenziale in diesem Teilmarkt stark von den Umweltentlastungspotenzialen und der allgemeinen Entwicklung in den Teilmärkten EE und Speichertechnologien abhängen.

3.2.2 Erneuerbare Energien

Stromproduktion verursacht den größten Anteil der energiebedingten Emissionen (OECD 2008), da sie zurzeit noch zu zwei Dritteln auf fossilen Energieträgern beruht. Das Umweltentlastungspotenzial dieses Wirtschaftsbereiches, insbesondere für das Klima, ist enorm, da es auch heute schon technisch möglich ist, Strom aus erneuerbaren Energiequellen nahezu CO₂ frei zu produzieren. Die Technologien, die hier näher betrachtet werden, sind die für Deutschland wichtigsten stromerzeugenden EET Windkraft, PV und Biomasse.

Windkraft: Bei den Windenergieanlagen (WEA) unterscheidet man zunächst nach Onshore- und Offshore-WEA. Bei ersteren wird der Strom durch WEA auf dem Land erzeugt und es handelt sich um die gegenwärtig dominierende Form der Stromerzeugung durch Wind, bei letzteren wird der Strom durch WEA auf dem offenen Meer erzeugt. Aufgrund der unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten, die an Land und auf dem Meer herrschen und der Exponiertheit der WEA auf dem offenen Meer, unterscheiden sich die Technologien der On- und Offshore-WEA. Aber auch unter den verschiedenen WEA-Typen einer Gruppe finden sich unterschiedliche Technologien. Die Gondeln der WEA können bspw. getriebelos sein oder ein Getriebe besitzen (LLA 2012). Die Umwelteffekte bei On- und Offshore WEA fallen gleich aus.

Photovoltaik: Bei der Photovoltaikenergie wird Sonnenenergie mittels Solarzellen in elektrische Energie umgewandelt. Ähnlich der Windenergietechnologie, sind auch bei der PV-Technologie unterschiedliche Technologien verbreitet. In Deutschland und auch weltweit dominiert die Silizium-Wafer Technologie, bei der über einen Wechselrichter Gleich- in Wechselstrom umgewandelt wird, der dann in das Stromnetz eingespeist werden kann. Eine weitere Technologie mit hohem Materialeinsparpotenzial ist die Dünnschicht-Photovoltaiktechnologie, die gegenwärtig einen Marktanteil von 12% in Deutschland zu verzeichnen hat (NABU 2013).

Biomasse: Mithilfe von Biomassekraftwerken oder Biogasanlagen besteht die Möglichkeit, aus Biomasse Strom zu erzeugen. Im Bereich der Biomasse gibt es unzählige Technologien, die sich in drei Hauptgruppen einteilen (Abfall-, Reststoff- und Anbaubiomasse) lassen²¹. Bei der Stromerzeugung aus Biomasse gibt es, im Unterschied zu den Windkraft- und Photovoltaiktechnologien hinsichtlich der Effekte auf die in dieser Arbeit untersuchten Umweltgüter mitunter deutlich voneinander abweichende Ergebnisse je nach Biomasse-Technologie. Aus diesem Grund erfolgt in dieser Studie eine getrennte Bewertung von Anbau- und Reststoffbiomasse.

Tabelle 8: Externe Kosten der Stromerzeugung in der EU (in EUR-cent pro kWh)

	In cent/kWh	Schäden durch Treibhausgase	Schäden durch Luftschadstoffe	Internalisierung durch CO ₂ -Zertifikate	Summe (gewichtete Anteile bei BM)
Strom	Wasserkraft	0,04	0,14		0,18
	Windenergie	0,09	0,17		0,26
	Photovoltaik	0,56	0,62		1,18
	Biomasse*	1,07	2,78		3,84
	Erdgas	3,90	1,02	0,48	4,91
	Heizöl	5,56	2,41	0,78	8,06
	Steinkohle	7,38	1,55	1,03	8,94

²¹ Einen guten Überblick hierüber bieten bspw. Rausch & Fritsche (2012).

	Braunkohle	8,68	2,07	1,36	10,75
Wärme	Solarthermie	0,55	0,54		1,10
	Biomasse*	0,25	1,63		1,88
	Oberflächen-Geothermie	1,75	0,39		2,13
	Erdgas Haushalt	2,02	0,26		2,28
	Heizöl Haushalt	2,52	0,80		3,32
	Fernwärme Haushalt	2,60	0,88	0,37	3,48
	Stromheizung mit Netzverl. (HH)	5,15	1,14	0,71	6,29

Quelle: Breitschopf & Memmler (2012)

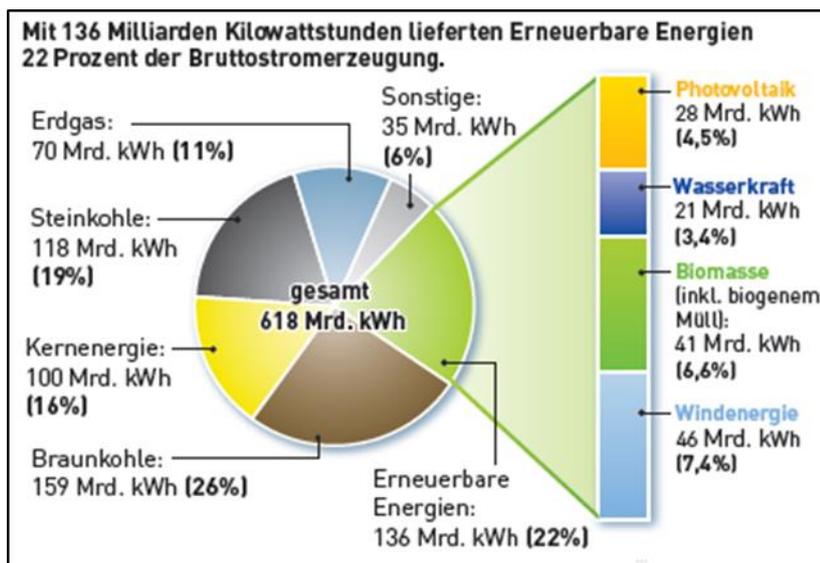
* Nach dem jeweiligen Beitrag zur Strom- bzw. Wärmeerzeugung gewichteter Durchschnittswert für Biomasse (BM) gasförmig, flüssig und fest (Haushalte und Industrie), Bandbreite von 0,3 bis 3,2 Cent/kWh (Wärme), 1,9 bis 7,2 Cent kWh (Strom).

Geothermie wie auch Solarthermie spielen in Deutschland mit nur 0,5% am Endenergieverbrauch eine untergeordnete Rolle, die sich trotz des erwarteten leichten Zubaus (vgl. z.B. BMU 2012a) über die nächsten Jahre nicht signifikant ändern wird. Da die Akzeptanz derzeit aufgrund verschiedener Zwischenfälle (z.B. Basel 2010) gering ist und die Szenarien der Bundesregierung keinen Ausbau der geothermischen Stromerzeugung in größerem Umfang vorsehen (z.B. Leitszenario 2011 nur ein Zubau von jährlich 20MW installierter Leistung bis 2020 bei einem Zubau von bis zu 8000MW erneuerbar insgesamt: BMU 2012) wird die Geothermietechnologie in dieser Arbeit hinsichtlich der Umweltwirkungen nicht untersucht.

Frick und Kaltschmitt (2009) vergleichen den Verbrauch erschöpflicher Energieressourcen (Umweltgüter Energie und Rohstoffe), THG-Emissionen (Umweltgut Klima) und Versauerungswirkung (Umweltgüter Boden und Wasser) von fossilen Energieträgern (Braunkohle, Steinkohle, Erdgas) mit den EET Geothermie, Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik und Biomasse über den gesamten Lebensweg der Produktionsanlagen. Andere Studien heben zudem die Umweltgüter Artenvielfalt und Landschaft durch EET als betroffen hervor. In Tabelle 8 ist ersichtlich, dass – abgesehen von Biomasse – alle EE bei der Stromproduktion in Deutschland externe Kosten von weniger bzw. leicht mehr (PV) als 1 Cent pro kWh verursachen. Die fossilen Energieträger jedoch verursachen externe Kosten zwischen 4-11 Cent pro kWh (Breitschopf & Memmler 2012).

Die Umweltwirkungen der EET sind vielfältig und haben durch die Strombereitstellung u.a. auch Auswirkungen auf Technologien in anderen „grünen“ Teilmärkten, wie z.B. Elektrofahrzeuge oder Speichertechnologien.

Abbildung 8: Der Strommix in Deutschland im Jahr 2012



Quelle: AG Energiebilanzen, BMU (Stand 03/2013)

Zur Bewertung der Effekte der EET auf die Umweltgüter definierten die Experten zu Beginn der Interviews als Referenztechnologie den Strommix, der in Deutschland gegenwärtig in die Stromnetze eingespeist wird. Im Jahr 2012 setzte sich der deutsche Strommix wie in Abbildung 8 dargestellt zusammen: Braunkohle trug mit einem Anteil von rund 26 % zur Stromerzeugung bei, gefolgt von Steinkohle mit 19 %. Der Anteil der Kernenergie lag bei rund 16 % und jener von Erdgas bei rund 11 %. Heizöl, Pumpspeicher und Sonstige erzeugten rund 6 % des Stroms in Deutschland und die erneuerbaren Energien trugen im Jahr 2012 mit einem Anteil von rund 22 % zum Strommix bei (BDEW 2013).

Klima

Bei der Stromerzeugung durch Windkraft werden im Vergleich zur Stromerzeugung durch PV und Biomasse mit Abstand am wenigsten Treibhausgase emittiert. Photovoltaik sowie Biomasseverbrennung/-vergasung haben einen höheren THG-Ausstoß als Erdgas, jedoch immer noch deutlich geringer als Stein- und Braunkohle. Von der PV-Industrie werden bei der Herstellung und Reinigung innerhalb des Produktionsprozesses von PV-Modulen Fluorverbindungen (CF₄, C₂F₆, SF₆ und das sehr schädliche NF₃ – es ist 17.200 Mal so schädlich wie CO₂ (CO₂-Handel 2012)) eingesetzt. Obwohl diese Stoffe bei der Produktion aufgefangen werden, werden dennoch weltweit bspw. rund 4500 t Stickstofftrifluorid (NF₃) freigesetzt (Behrendt et al., 2010). Dies entspricht rund 12 Mio. t Kohlenstoff. Zum Vergleich wurden in Deutschland im Jahr 2010 rund 937 Mio. t THG-Emissionen (darunter 819 Mio. t CO₂-Emissionen) freigesetzt (UBA 2012). So dauert es bei Siliziumdünnschichtmodulen rund zwei Jahre, „bis die Module so viel Kohlendioxid vermieden haben, um den NF₃-Verlust wieder aufzuwiegen“ (Photon 2008). Trotz der Minderungssysteme (Abatement-Systeme), die in den meisten Produktionsanlagen, welche die angeführten Gase einsetzen, zur Filterung installiert sind, bestehen bei den F-Gasen ca. 5 bis 15 % Verluste der produzierten Gasmengen. Dies entspricht einer Emissionsrücklaufzeit von fünf Monaten bis zwei Jahren unter deutschen Einstrahlungsverhältnissen (Photon 2008). Laut UBA (2009) konnten im Jahr 2007 104 Mio. t CO₂ (ca. 1/8 der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland) plus 2,7 Mio. t CO₂-Äquivalente Methan und Lachgas durch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen in den Sektoren Strom- und Wärmeerzeugung sowie dem Verkehrssektor eingespart werden. Im Jahr 2012 waren es bereits 146 Mio. t, wobei der Strombereich gut 100 Mio. t dazu beitrug (BMU 2013). Die größten Beiträge im Strombereich leisteten dabei Windenergie (36%), Biomasse (28%) und PV (20%). Das große Potenzial der Windkraft kommt daher, dass Energieverbrauch und Emissionen, die bei der Herstellung entstehen, nach ca. drei bis sechs Monaten Stromproduktion ausgeglichen werden und die Windräder dann noch ca. 20-25 Jahre fast emissionsfreien Strom produzieren (EWEA 2010). Nur „fast“ emissionsfrei, da bei der Wartung von der Menge her zu vernachlässigende Emissionen, z.B. durch Transportaktivitäten, anfallen. Stromproduktion aus Anbaubiomasse und biogenen Reststoffen ist laut Rettenmaier (2011),

der die Umweltwirkungen mit Hilfe von Ökobilanzen quantifiziert, über den Lebenszyklus der Pflanzen hinweg betrachtet, CO₂-neutral.

Hinsichtlich der THG-Emissionen ist jedoch nicht nur die Nutzung der EET von Bedeutung, sondern darüber hinaus – in EWEA (2010) schon angedeutet – auch sämtliche Faktoren, die über den Zeitraum der Nutzung hinausgehen. Hierunter versteht man bspw. die Errichtung der Anlagen (PV, Windenergie, Bioenergie) oder die Gewinnung der Biomasse. Gerade in der Gewinnung der Biomasse zeigt sich, dass trotz der positiven Effekte, die durch die eingesparten CO₂-Emissionen im Vergleich zur Energieerzeugung aus fossiler Energie entstehen können, die Technologie der Biomasse nicht als per se nachhaltig bezeichnet werden kann. Eine erfolgreiche Reduzierung der THG-Emissionen liegt nur vor, wenn die CO₂ Erzeugung bei Gewinnung und Nutzung von Biomasse geringer ausfällt als beim Einsatz fossiler Energieträger. Ob dies gegeben ist, orientiert sich stark an der Herkunft der Biomasse (Biomasseanbau, Rest- oder Abfallstoff) und an der Technik zur energetischen Nutzung. Um überhaupt Biomasse produzieren zu können, müssen Felder bestellt und bearbeitet werden. Ebenso müssen Dünge- und Pflanzenschutzmittel zur Anwendung auf den Feldern hergestellt werden. All diese Aktivitäten erfordern Energie und erzeugen THG-Emissionen. Demnach müssen sie in eine abschließende Betrachtung einfließen (SRU 2007). Negative Effekte im Hinblick auf das Klima können auch auftreten, wenn zum Anbau von Biomasse Grünland zur Neugewinnung von Ackerland umgebrochen oder Moorböden entwässert werden. Nach Janssens et al. (2005) speichert Grünland 60 g Kohlenstoff pro m², Ackerland setzt allerdings 70 g Kohlenstoff pro m² frei, so dass bei einem Grünlandumbruch ein Zuwachs von jährlich 130 g Kohlenstoff pro m² zu verzeichnen ist. Würden nur 5 % der Speicher des Jahres 2005 in Deutschland reduziert werden, bedeutet dies eine Kohlenstofffreisetzung, die jener der Verbrennung fossiler Energieträger innerhalb eines Jahres auf dem gesamten europäischen Kontinent entspricht (Janssens et al. 2005). Als problematisch zu bewerten ist ebenfalls die Verwendung von Holz als Biomasse, da Wälder weltweit rund 75% des fixierten Kohlenstoffs speichern und sie auch in Deutschland eine wichtige Senkenfunktion innehaben. Durch die Holzentnahme nimmt die Kohlenstoffeinlagerung permanent ab – so allein zwischen 1993 und 2004 um ein Drittel (Statistisches Bundesamt 2006). In Niedersachsen hat sich die Entnahme zur Energieerzeugung im Zeitraum von 1992 bis 2010 verdreifacht (LSKN 2011). Kritisch betrachtet werden kann Biomasse, wenn der Anbau unter nicht naturschutzverträglichen Rahmenbedingungen stattfindet. Beispielhaft ist hier der Anbau von Palmöl, das verstärkt im südostasiatischen Raum angepflanzt und bspw. als Grundstoff zur Erzeugung von Biokraftstoff genutzt wird. Da für den Anbau von Palmöl bereits weitflächig Primärregenwald abgeholzt wurde und wird, werden in großem Umfang CO₂ freigesetzt und Speichermöglichkeiten verringert (SRU 2007). Wie bereits in EWEA (2010) für die Windenergie herausgestellt, sind auch im Bereich der Biomasse die gewählten Transportmittel und die Transportwege zwischen Anbaufläche und Nutzungsfläche zu berücksichtigen (BfN 2005; Ramesohl et al. 2006).

Tabelle 9: Bewertung der Auswirkungen der EE auf ausgewählte Umweltgüter

Umweltgut \ Technologie	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
						Schadstoffe	Lärm		
Windkraft	++	++	+	+	+	+	-	0	++
PV	++	+	+	+	++	+	+	0	+
Biomasse (Anbau)	+	0	-	-	-	0	-	-	++
Biomasse (Reststoff)	+	0	-	+	++	0	-	0	++

Referenz für alle Technologien: Der deutsche Strommix.

Legende:	
++/--	Starke Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
+/-	Leichte Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
0	Kein relevanter Effekt des Technologie auf das Umweltgut
	Lokal negative Umweltwirkungen (in Abbauländern)
	Lokal positive Umweltwirkungen (in Abbauländern)

In Tabelle 9 ist dargestellt, wie die einzelnen Technologien im Hinblick auf die Effekte auf das Umweltgut Klima bewertet werden. Alle drei Technologien haben einen positiven Einfluss auf das Klima, dieser fällt jedoch bei PV und Windenergie stärker aus (++) als bei der Biomasse (Anbau und Reststoff). Dabei führten die Experten die gleichen Argumente an, die bereits in der Literaturzusammenfassung dargestellt wurden. Bewertet wurde dabei der langfristige Effekt. Trotz der THG Emissionen, die bei Herstellung der PV- oder Windenergieanlagen (WEA) entstehen, ist der Klimaeffekt signifikant positiv. Dies relativiert sich bei der Biomasse, da wie bereits kurz erwähnt, unterschiedliche Arten der Biomasse, je nach Biomasserohstoff und Erzeugungstechniken, auch neutrale oder sogar negative Effekte verursachen können. Die einzelnen Rohstoffe der Biomasse und die unterschiedlichen Energieerzeugungstechniken hier detailliert zu betrachten, geht über den Umfang der vorliegenden Untersuchung hinaus.

Energie/energetischer Ressourcenverbrauch

Zur Herstellung der EE Technologien werden nicht nur Rohstoffe, Arbeit und Kapital, sondern auch Energie eingesetzt. Der Energieverbrauch resultiert bei der Windenergie hauptsächlich aus dem Bau der Windenergieanlagen und verbraucht von den in dieser Arbeit untersuchten EET am wenigsten Energie. Ein im Durchschnitt leicht höherer Energieverbrauch ist bei der Biomasse-Technologie zu verzeichnen, wobei die Energie – anders als bei den WEA – nicht bei der Errichtung der Anlagen benötigt wird, sondern durch die Brennstoffbereitstellung. Deutlich mehr Energie wird für den Bau von PV-Anlagen bzw. der PV-Module benötigt. Dennoch ist der Bedarf der PV-Technologien an Energie und energetischen Ressourcen deutlich geringer als derjenige der drei fossilen Energieträger (Frick und Kaltschmitt 2009). Wie unter dem Punkt Klima schon erwähnt, wird die Energie, die zur Herstellung von Windrädern benötigt wird, innerhalb von drei bis sechs Monaten durch diese wieder erzeugt (EWEA 2010; GWEC 2012). Die energetische Amortisationszeit von PV-Anlagen ist mit ca. zwei Jahren (EPIA 2011) zwar deutlich höher als die der Windkraftanlagen, bei einer Lebenszeit von ca. 30 Jahren dennoch gering.

Windkraft und PV wurden entsprechend ihrer Amortisationszeit bewertet. Da diese bei PV deutlich länger ist als bei der Windkraft wurde letztere mit ++ bewertet, PV mit einem einfachen +. Hinsichtlich der PV ist noch zu ergänzen, dass wie im Falle der WEA der Energieträger (Sonne und Wind) kostenlos und in unbegrenzten Mengen vorhanden ist. Die Energiedichte ist jedoch bei PV recht gering. Die Wirkungsgrade von Biomasse und fossilen Energieträgern sind vergleichbar, so dass der Effekt als neutral bewertet werden kann. Aus diesem Grund wurde Biomasse im Hinblick auf das Umweltgut Energie mit (0) bewertet.

Luft

Über die potenziellen Auswirkungen der EET auf das Umweltgut Luft liegen in der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Literatur keine Informationen vor. Insgesamt bewerteten die Experten die Effekte von Windkraft und PV auf das Umweltgut Luft, wie in Tabelle 9 dargestellt, als positiv (+). Zwar emittieren weder PV- noch Windenergieanlagen schädliche Stoffe während des Betriebs, der Effekt kann aber dennoch nicht als signifikant positiv (++) im Vergleich zu den Emissionen des Strommix bewertet werden, da während der Herstellung der WEA und PV-Module schädliche Gase entstehen können. In der EU werden zwar Gase, die bspw. bei der Herstellung der PV-Module entstehen, aufgefangen, da hier bestimmte Umweltstandards gelten. Dies trifft aber wahrscheinlich nicht auf die Produktion in anderen Ländern (z.B. China) zu. Darüber hinaus werden in PV- wie auch in Windenergieanlagen Seltene Erden verwendet. Die Abbau-problematiken sind bereits im Kapitel der alternativen Antriebe aufgegriffen worden. Um auf die negativen Effekte in den Abbauländern hinzuweisen, sind die Zellen dunkel eingefärbt.

Durch die Stromproduktion aus Biomasse entsteht zum einen eine Versauerungswirkung der Luft, zum anderen sind Feinstaubemissionen zu verzeichnen. Die Effekte sind von der Art der Biomasse abhängig, zusammengefasst ist der Effekt der Biomassenutzung zur Stromerzeugung auf die Luft jedoch als leicht negativer (-) im Vergleich zur Referenz zu bewerten.

Wasser und Boden

Frick und Kaltschmitt (2009) messen die Umweltwirkungen auf Boden und Gewässer durch die Versauerungswirkung in SO₂-Äquivalenten. Wieder sind Wasser- und Windkraft die umweltfreundlichsten, aber auch die anderen EET schneiden in diesem Vergleich deutlich besser ab als die Fossilen. Allerdings sind einige Windkraftanlagentypen mit Dauermagnet-Rotoren ausgestattet. Zur Herstellung des Magneten und der Generatoren werden bei einigen Windradtypen mit Dysprosium und Neodym Metalle der Seltenen Erden verwendet. Auf die negativen Auswirkungen, die der Abbau der Seltenen Erden in den Abbaugebieten hat, ist bereits im Abschnitt über die Umweltwirkungen der alternativen Antriebstechnologien eingegangen worden. Die gleiche Argumentation gilt somit auch für die Windenergie-technologie. Von den in PV-Modulen verwendeten Stoffen sind bspw. Blei und Cadmium sowie auch einige andere in sehr geringen Mengen verwendete Stoffe toxisch. Blei kann jedoch vollständig durch unbedenkliche Materialien ersetzt werden. Bei den Dünnschichtmodulen ist ein Ersatz von Cadmium nur durch Technologien auf Basis von amorphem Silicium- oder Kupfer-Indium-Selenid möglich, von denen Selen wiederum toxisch ist (Wirth 2012). Hier ist anzumerken, dass die Freisetzung von Cadmium und die dadurch entstehende Gefährdung des Menschen ausgeschlossen sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Cadmium im Werkstoff unlöslich eingebunden ist. Die Verbindung Cadmiumtellurid (CdTe) beginnt im Brandfall erst bei Temperaturen über 1000°C zu brennen und die Bestandteile werden somit im früher schmelzenden Glas eingeschlossen. Darüber hinaus werden beschädigte oder nicht mehr benötigte CdTe-Module von Herstellern zurückgenommen und recycelt (ARGE 2007). Laut Fthenakis (2008) gelangen vornehmlich durch die Gewinnung und Herstellung der leitenden Schicht rund 20 mg Cadmium pro GWh in die Umwelt. Somit ist die Freisetzung von Cadmium auch in der Vorstufe der Nutzung sehr gering.

Die Tabelle 9 macht ersichtlich, dass trotz der mitunter toxischen Stoffe, die in den PV- und Windenergieanlagen enthalten sind, die Auswirkungen der Stromerzeugung durch PV und Windenergie auf die Umweltgüter Wasser und Boden dennoch positiv (+) im Vergleich zur Referenztechnologie ausfallen. Schadhafte Austritte dieser Stoffe sind sehr unwahrscheinlich und es herrschen Umweltstandards in der EU, die die Schädigung von Wasser und Boden ausschließen. Erwähnt werden sollte, dass bspw. bei WEA auch die Möglichkeit besteht, dass durch ein Leck im Antrieb Öl austritt. Im Vergleich zu den Gefahren, die für Wasser und Boden durch bspw. Strom aus Atomkraft und fossilen Energieträgern entstehen können, fällt dieser Effekt jedoch marginal aus. Ein Dossier über Deutschlands Steinkohleimporte (mehr als drei Viertel der in Deutschland benötigten 34 Mio. t Steinkohle pro Jahr werden importiert) bspw. fasst Ergebnisse der Recherche der Lieferwege der importierten Steinkohle zusammen. Die Bedingungen unter denen Steinkohle gefördert wird, werden dabei als desaströs im Hinblick auf ökologische und soziale Aspekte bewertet (Ganswindt et al. 2013). Zudem gibt es auch in diesem Bereich bestimmte Standards, die verhindern, dass bspw. WEA in Gewässerschutzgebieten errichtet werden. Die dunkle Einfärbung der Zellen macht auch in diesem Bereich darauf aufmerksam, dass negative Effekte in den Ländern zu verzeichnen sind, in denen die Rohstoffe abgebaut werden.

Der Vorgang der Nutzung von Biomasse an sich hat darüber hinaus nicht nur den positiven Effekt, dass THG-Emissionen im Vergleich zur Referenztechnologie eingespart werden, sondern führt im Vergleich zu fossilen Brennstoffen teilweise zu höheren Emissionen von Gasen, die für die Versauerung von Böden und Eutrophierung der Gewässer verantwortlich sind (SO₂, NO_x etc.) (Nitsch et al. 2005). Hinzu kommen Verschmutzungen durch Gülle- und Gärnutzung (Bioökonomierat 2012), so dass zusammengefasst beim Anbau von Energiepflanzen (nicht bei der Nutzung von Reststoff- oder Abfallbiomasse) erhebliche Umweltbelastungen festgestellt werden konnten (Reinhardt et al. 2006). Dabei lassen sich hinsichtlich des Belastungsgrades von Boden/Wasser Abstufungen vornehmen: Mehrjährige Anbauverfahren, wie bspw. bei der Gewinnung von Holz und Grünschnitt haben weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt als einjährige Anbauverfahren. Bei ersteren ist die aus der Bearbeitung resultierende Bodenerosion geringer wie auch der Pestizid- und Nährstoffbedarf (EEA 2006; Winkelmann 2006; Splechna und Glatzel 2005). Allerdings sind hinsichtlich einer Bewertung des Biomasseanbaus regionale Gegebenheiten zu berücksichtigen, nach denen sich auch der Anbau der Pflanzen richten sollte. Der Anbau wasserverbrauchsintensiver Pflanzen ist in niederschlagsreichen Regionen anders zu bewerten als in niederschlagsarmen Regionen (SRU 2007). Als problematisch einzustufen ist nicht nur der

Anbau von Energiepflanzen, sondern mitunter auch die intensive Nutzung von land- oder forstwirtschaftlichen Reststoffen. Da bspw. Stroh eine wichtige Rolle für die Humusbildung einnimmt, ist eine intensive Nutzung kritisch zu bewerten. Auch sind negative Effekte auf die Waldböden zu beobachten, wenn man Reststoffe wie Altholz, Rinde und Reisig den Wäldern entnimmt. Durch die ausbleibende Verwitterung dieser Stoffe wird die Nährstofflieferungskette unterbrochen und die Böden drohen zu versauern (Rode et al. 2005). Staiß et al. (2007) wiederum sehen voraussichtlich keine Beeinträchtigungen von Boden durch die Nutzung der landwirtschaftlichen Reststoffe. Sie argumentieren, dass immer eine gewisse Menge von Ernterückständen auf dem Acker verbleibt und hierdurch keine negativen Auswirkungen auf den Humusgehalt zu erwarten sind. Der Gesamteffekt von Biomasse auf Boden und Wasser ist in Tabelle 9 einem (-) für die Anbaubiomasse bewertet. Dabei muss allerdings herausgestellt werden, dass der Effekt von Abfall- und Reststoff-Biomasse auf diese Umweltgüter positiv ist (+). Der alleinige Anbau von Energiepflanzen kann jedoch sehr negative Effekte haben.

Artenvielfalt und Landschaft

Entgegen der vielfach in den Medien vertretenen Meinung, dass Windräder insbesondere das Leben von Vögeln und Kleintieren in der Umgebung der Räder bedrohen, wird durch Vorschriften sichergestellt, dass genau dieses nicht passiert. Vor dem Bau eines Windparks (20 und mehr Windenergieanlagen) ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) verpflichtend, damit gewährleistet wird, dass der negative Einfluss auf die Umweltgüter Artenvielfalt und Landschaft minimal ist. Umfasst ein Windpark drei bis 19 Anlagen wird eine Vorprüfung unternommen, um daraufhin behördenintern zu entscheiden, ob eine UVP notwendig ist. (EWEA 2010; GFN 2012). Das Ziel einer UVP ist es, die direkten und indirekten Auswirkungen der Errichtung von Windenergieanlagen auf:

1. Menschen, Tiere und Pflanzen,
2. Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
3. Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie
4. die Wechselwirkungen zwischen den vorgenannten Schutzgütern

zu untersuchen und bewerten (GFN 2012).

Diembeck (2006) nennt als negative Folgen von Off-Shore Windparks eine Beeinträchtigung der marinen Flora und Fauna (Fische, Meeressäuger und Seevögel) durch Lärm, Versiegelung des Meeresbodens, veränderte Strömungsverhältnisse, elektrische und magnetische Felder um die Kabel. Es entstehen jedoch auch positive Effekte durch Fischereiverbot und künstliche Riffe, d.h. Siedlungsfläche auf Hartsubstrat für sessile Organismen und Fische, und damit auch für Seevögel, die sich davon ernähren. Neben den Off-Shore Windparks geht jedoch auch die Errichtung von On-Shore Windanlagen mit negativen Begleitumständen einher. Auch hier führen die räumlich begrenzte Flächeninanspruchnahme und die Erschließungswege zur Beeinträchtigung von Tieren, Pflanzen, Boden und Wasser. Nachgewiesen ist, dass zahlreiche Rastvögel Windparks zur Nahrungssuche meiden und eine Gewöhnung nicht zu verzeichnen ist. Beobachtungen, dass allmählich bei einigen Vogelarten eine Gewöhnung einsetzt, können statistisch nicht nachgewiesen werden (Staiß et al. 2007). Noch nicht geklärt ist ebenfalls das Ausmaß der Bedrohung von Fledermauspopulationen durch WEA (Brinkmann et al. 2009). Weitere Forschung in diesem Bereich ist notwendig. In Tabelle 9 sind einige Zellen dunkel hinterlegt, was, wie in den vorherigen Kapiteln, die negativen Effekte in den Abbaugebieten der Seltenen Erden auf die Landschaft zum Ausdruck bringt (Handelsblatt online 2012).

Eine größere Belastung der Umweltgüter Artenvielfalt und Landschaft ist durch den Anbau von Biomasse wie z.B. Mais erwarten, wenn dafür Wälder und natürliche Grasländer in Anbauflächen umgewandelt werden und nur wenige Energiepflanzen zum Einsatz kommen („Vermaisung der Landschaft“) (Bioökonomierat 2012). So gehen dadurch Lebensräume für wildlebende Tiere und Pflanzen verloren (Staiß et al. 2007). Dass das Dauergrünland trotz Umbruchverbot in einigen Bundesländern immer mehr abnimmt, führt insbesondere in der Vogelwelt zu einem Artenschwund. Der entsprechende Indikator bei EUROSTAT²² ist jedoch zwischen 2000 und 2010 nur um 0.02% zurückgegangen. Der negativen Bewertung in Tabelle 9 liegt die gleiche Argumentation wie bei dem Effekt auf Boden und Wasser zugrunde.

²² [tsdnr100] - Index weit verbreiteter Vogelarten - Index (2000 = 100)

Eine positive Wertung hingegen erfährt die Biomasetechnologie aus Reststoffen, da durch die Nutzung der Reststoffe die hohen Belastungen u.a. der Landschaft aus der Rohstoffbereitstellung wegfallen (++) (Meyer et al. 2007).

Die Errichtung von PV-Anlagen ist weit weniger konfliktreich als die Gewinnung von Biomasse oder die Errichtung von WEA. Vorausgesetzt, es wird ein geeigneter Standort gewählt (Staiß et al. 2007). Die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen unterliegt der Genehmigungspflicht des Bundeslandes, so dass hierdurch abgesichert wird, dass die Anlagen nicht in Rast- oder Nahrungshabitaten von Vögeln errichtet werden. Problematisch ist jedoch eine zu großflächige Ausdehnung, da aufgrund der Einzäunung von PV-Anlagen Lebensräume zerschnitten werden können. Werden PV-Anlagen an weniger wertvollen Standorten (Ackerflächen, vorbelastete Konversionsstandorte) errichtet, ist das Konfliktpotenzial sehr gering (Staiß et al. 2007).

Diesen negativen Punkten stehen jedoch die Auswirkungen des Abbaus fossiler Energieträger gegenüber, der einen großen Einfluss auf die Landschaft und die dort lebenden Tiere hat. In den Kohleförderregionen, nicht nur in Deutschland, sind die Menschen allerdings an den Anblick großer Tagebauegenden u. ä. gewöhnt.

Ein signifikant positiver Effekt (++) ist bei der PV Technologie im Hinblick auf die Artenvielfalt und Landschaft zu beobachten. Dabei handelt es sich im Vergleich zu Atom- oder Kohlekraftwerken nicht nur um ein ansprechenderes – da wenig auffälliges, insbesondere wenn auf Dächern gebaut – Landschaftsbild. Darüber hinaus wirken PV-Anlagen auch indirekt über die Klimaschonung und eine Verringerung des Schadstoffausstoßes positiv auf Artenvielfalt und Landschaft ein (z.B. weniger Waldsterben durch Reduzierung des sauren Regens). Das letzte Argument gilt ebenfalls für die WEA, allerdings wurde der Effekt nur mit einem einfachen + bewertet, da Artenvielfalt und Landschaft tendenziell das am stärksten belastete Umweltgut ist. Da es sich jedoch bei der Einschätzung um eine subjektive Wahrnehmung handelt und WEA landschaftlich ansprechender sind als Atom- oder Kohlekraftwerke, wird der Effekt als leicht positiv eingeschätzt (+).

Gesundheit

Im Hinblick auf die Geräuscentwicklung von WEA wird immer wieder argumentiert, dass Anwohner und Erholungssuchende durch Lärm gestört werden können. Um einer möglichen Belästigung durch Lärm zu entgehen, kommt die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) zur Anwendung. In dieser findet man Vorgaben zum Geräuschpegel in Wohn-, Misch- und Gewerbegebieten, die eingehalten werden müssen. So ist bspw. bei der Errichtung nahe Wohngebieten ein Mindestabstand einzuhalten. Indirekte negative Effekte auf die menschliche Gesundheit können in den Abbaubereichen der Seltenen Erden beobachtet werden. Weitere Diskussionspunkte sind der Schattenwurf der Windräder, Infraschallemissionen und die Gefahr von Eiswurf. Auch hinsichtlich dieser Aspekte haben WEA keine negativen Effekte auf die menschliche Gesundheit. Infraschallemissionen liegen bspw. unter der für Menschen hörbaren Frequenz, die Gefahr von Eiswurf ist nicht höher als bei anderen hohen Gebäuden – zudem gibt es eine Schutzzone von 350m rund um das Windrad. Überschreitet der bewegte Schattenwurf eine bestimmte Grenze, schalten sich die WEA automatisch ab (Staiß et al. 2007). Diese Aussage wurde auch von den Experten in den Interviews bestätigt.

Entsprechend dieser Argumentationen wurde die Windenergie-technologie im Hinblick auf den Lärm als negativ (-) bewertet. Signifikant positiv (++) ist der Effekt der PV-Technologie im Vergleich zur Referenz, da von den PV-Anlagen keinerlei Geräuscentwicklung ausgeht. Generell werden bei der Biomasseproduktion (Anbau, Ernte etc.) in gleichem Umfang Geräusche emittiert wie bei der Produktion anderer landwirtschaftlicher Produkte. Aus diesem Grund wurde der Effekt von Biomasse als negativ bewertet. Bei der Bewertung der Schadstoffentstehung schneiden PV und WEA positiv ab (+), während der Effekt der Anbau- sowie der Reststoffbiomasse neutral im Vergleich zur Referenz ist (0). Potenzielle Gesundheitsrisiken, die für die Menschen in den Abbauländern der für die PV- und WEA- Technologien benötigten Rohstoffe bestehen, kommen durch die dunkle Einfärbung der Zellen zum Ausdruck.

Natürliche Ressourcen (biotisch)

In Bezug auf die PV- und Windenergie-technologie verändern sich die Wirkungen im Vergleich mit der Nutzung des Referenzstrommixes nicht (0). Hinsichtlich der Anbaubiomasse lässt sich feststellen, dass durch die Stromerzeugung durch Biomasse natürliche Ressourcen stärker beansprucht werden als bei der Stromerzeugung durch Atomkraft oder aus fossilen Energieträgern. Darüber hinaus kann es zur Flächenkonkurrenz kommen, so dass zusammengefasst der Effekt der Biomasse auf die natürlichen Ressourcen, wie in Tabelle 9 dargestellt, als negativ eingestuft wird. Als neutral ist

hingegen der Effekt der Reststoffbiomasse auf die natürlichen Ressourcen zu bewerten (0), da es sich um Reststoffe handelt, die als Nebenprodukte anfallen und nicht extra angebaut werden müssen. Somit werden nicht mehr oder weniger natürliche Ressourcen beansprucht als bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern.

Rohstoffe (abiotisch)

Die Vorkommen fossiler Brennstoffe für die Energieerzeugung werden weniger schnell ausgebeutet (Reitberger 2006), wenn EE Technologien fossilbasierte Energieerzeugung ersetzen. Andererseits werden Edelmetalle und Seltene Erden verstärkt für die EET nachgefragt. Das könnte ein Problem für die Verfügbarkeit von Neodym und Dysprosium werden, welches in Windrädern eingesetzt wird. Bei den Materialien, die für PV Module verwendet werden (Silicium, Aluminium und Silber) werden keine Engpässe erwartet (Wirth 2012). Am kritischsten ist die Verfügbarkeit von Silber einzustufen, welches aber auch durch Kupfer ersetzt werden kann.

Wie in Tabelle 9 dargestellt, können die Effekte der Stromerzeugung aus Biomasse und Windenergie auf das Umweltgut Rohstoffe, der Argumentation der Literatur folgend, als signifikant positiv angesehen werden (++). Zwar sind in WEA in sehr geringem Umfang Seltene Erden enthalten, doch dies schwächt nicht den äußerst positiven Effekt der Entlastung der fossilen Energieträger bei verstärkter Stromproduktion durch Windenergie. PV-Module hingegen enthalten in einem größeren Umfang Seltene Erden, so dass der Effekt dieser Technologie lediglich mit einem einfachen + bewertet wurde. Zwar besteht gegenwärtig noch keine eklatante Knappheit bei den Seltenen Erden. Sollte die Nachfrage nach den Rohstoffen durch den Ausbau der PV-Anlagen steigen, könnte dies ernsthafte Probleme nach sich ziehen. Positiv herauszustellen ist, dass im Bereich der WEA bereits ein umfassendes Recycling stattfindet, indem bspw. Altanlagen in Deutschland demontiert und in anderen Ländern wieder aufgebaut werden. Auch im Bereich der PV-Technologien hat man sich bereits früh mit dem Recycling auseinandergesetzt. Hieran wird permanent geforscht.

Fazit

Die Umweltgüter, die am stärksten von der Erzeugung von Strom mit EE profitieren, sind Klima und Energie – mit einer Einschränkung bei Biomasse, wenn diese nicht nachhaltig angebaut wird und mehr CO₂ freigesetzt als durch die Stromproduktion im Vgl. zur Referenz eingespart wird. Des Weiteren gibt es auch positive Effekte auf Boden, Wasser, Rohstoffe, sowie Artenvielfalt und Landschaft. Erneut gilt eine Einschränkung hinsichtlich der Biomasse. Die größten Umweltentlastungspotenziale bieten die Technologien Windkraft und PV. Für letzteres stellt Roloff (2011) heraus: PV Anlagen „benötigen keine beweglichen Teile und verbrauchen keinerlei Brennstoff. Von daher ist der Betrieb extrem wartungsarm und ruft auch keine Umweltbelastungen hervor“. Das Umweltentlastungspotenzial von Biomasse ist eher gering (Bioökonomierat 2012). Wenn nicht sorgsam alle möglichen Umweltwirkungen beachtet werden, überwiegen die negativen Umweltwirkungen: „Dies kann, in Abhängigkeit von Standort und Management, erhebliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, den Boden- und Gewässerschutz sowie die Klimabilanz haben“ (BfN 2010). Hinsichtlich der Windenergie-technologie sind indirekte negative Effekte auf Boden/Wasser, Landschaft und Gesundheit in den Abbaugebieten der Seltenen Erden zu konstatieren, auf die im vorherigen Kapitel bereits eingegangen wurde.

Eine gute Zusammenfassung zu den Entlastungspotenzialen des Umweltgutes Klima gibt der IEA (2011b) Deploying Renewables Bericht: In einem Szenario ohne EE würden die THG-Emissionen in 2030 in den OECD und BRICS Ländern doppelt so hoch sein, wie mit dem Ausbaupfad EE, der für das 450ppm Szenario des IEA World Energy Outlook 2010 nötig ist.

3.2.3 Speichertechnologien

Eine gute Einleitung zu der Literaturübersicht der Umweltwirkungen von Speichertechnologien geben Hacker et al. (2009) auf S. 134: „*Today, only few studies consider the impact on global raw material demand and supply and potential environmental impacts of a large-scale battery production, recycling and disposal.*“

Speichertechnologien sind unabdingbar für die Nutzung von Strom aus EE im großen Maßstab, da die Stromproduktion von Sonne und Wind zeitlich nicht unbedingt mit der Nachfrage nach Strom zusammenfällt. Zudem braucht man Speichertechnologien für mobile Geräte (u.a. Fahrzeuge, Mobiltelefone, Laptops). BMU, UBA (2007a) z.B. unterscheidet zwischen sieben Speichertechnologien: Druckluftspeicher, Wasserstoff, REDOX-Flow Batterien, Blei-Akkumulatoren, Natrium-Schwefel-Batterien, Pumpspeicherkraftwerke und Super Kondensatoren. Von diesen Technologien werden insbesondere die ersten drei als „aussichtsreiche Zukunftstechnologien“ bezeichnet. Die befragten Exper-

ten haben jedoch angemerkt, dass zumindest mittelfristig nur Pumpspeicher als Großspeicher für Elektrizität zur Verfügung stehen. Allerdings sind die Ausbaumöglichkeiten dieser Technologie in Deutschland begrenzt. Druckluftspeicher sind eine zukunftsfähige Möglichkeit für kurzfristige Großspeicher, aber auch diese unterliegen geologischen Restriktionen. Der Fokus der nachfolgenden Analyse liegt, wie in AP I herausgearbeitet, auf den elektrochemischen Speichertechnologien, d.h. Batterien und Akkumulatoren sowie Wasserstoffspeichern.

Wasserstoffspeicher und Brennstoffzellen: Um die Energie, die in Wasserstoff durch Elektrolyse gespeichert wurde, weiter zu nutzen, gibt es verschiedene Möglichkeiten: u.a. Brennstoffzellen und die Umwandlung in Strom oder Methanisierung und eine weitere Nutzung als Erdgassubstitut. Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf der Rückverstromung des Wasserstoffs durch Brennstoffzellen²³. Für verschiedene Anwendungsbereiche gibt es verschiedene Arten von Brennstoffzellen. Die wohl bekannteste Anwendung ist die Nutzung von Wasserstoff in PEM-FC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) Brennstoffzellen in Fahrzeugen. Dieser Typ, wie auch die meisten anderen Typen von Brennstoffzellen, wird auch zur Hausversorgung, in Blockheizkraftwerken oder Kleinkraftwerken genutzt. Eine Ausnahme ist die Alkaline Fuel Cell, die in der Raumfahrt und in U-Booten eingesetzt wird.²⁴ Die Speicherung von Wasserstoff in bspw. Salzlagern hat das Potenzial, große Mengen Energie über einen längeren Zeitraum zu speichern, um zum Beispiel saisonale Schwankungen im Großwetterbereich auszugleichen (VDE 2012).

Redox-Flow-Batterien: Zur Energiespeicherung werden zwei Flüssigkeiten (meistens Salzlösungen) elektrisch aufgeladen, die eine mit einer positiven und die andere mit einer negativen Ladung. Diese beiden Flüssigkeiten können unabhängig voneinander gelagert und auch transportiert werden. Bei der Zusammenführung der Flüssigkeiten fließt elektrischer Strom. (Bundesregierung 2012a)

Natrium-Schwefel-Batterien: In der Natrium-Schwefel-Batterie wird als Elektrolyt natriumhaltiges Aluminiumoxid verwendet. Die Anode besteht aus geschmolzenem Natrium und flüssiger Schwefel dient als Kathode. Die Zellen sind mechanisch geschützt, um heftige Reaktionen des Natriums mit Wasser zu verhindern. Die Natrium-Schwefel-Batterie wird wie die Natrium-Nickel-Chlorid-Batterie als Hochtemperaturbatterie bezeichnet, da eine Betriebstemperatur von 270 bis 350 °C erforderlich ist, um die eingesetzten Medien flüssig zu halten. Die Akkus vertragen mehrere tausend Ladezyklen. Zurzeit werden Natrium-Schwefel-Batterien in einigen Großprojekten in Japan eingesetzt. In stationären Batterien werden sie als große Cluster zusammengeschaltet und zentral beheizt, so dass sie Solar- und Windstrom als Puffer für Leistungsspitzen im Netz speichern. Hauptsächlich produziert werden die Batterien in den letzten Jahren in Japan. Mittlerweile funktioniert die Technologie der Natrium-Schwefel-Batterien bereits bei Raumtemperatur (Batterie-zukunft 2012). Aufgrund dessen und der günstigen Herstellungspreise sowie des geringen Gewichts, sind sie für Anwendungen in Elektrofahrzeugen zukünftig interessant (Strom-Speicher 2012).

Natrium-Nickelchlorid-Batterien („Zebra“-Batterien – Zero Emission Battery Research Activities): Die negative Elektrode besteht bei der Natrium-Nickelchlorid-Batterie aus Natrium, die positive Elektrode aus im Betrieb flüssigem Nickelchlorid. Der keramische Elektrolyt besteht aus β Alumina und darüber hinaus kommt ein Hilfselektrolyt aus flüssigem NaAlCl_4 zum Einsatz. Ähnlich wie bei der NaS-Batterie wandert eine Na^+ -Ion durch die Elektrolyte zur positiven Elektrode und reagiert dort mit dem Nickelchlorid zu Kochsalz und Nickel. „Zebra“-Batterien sind für stationäre Anwendungen geeignet und sie umfassen ca. 1000 Ladezyklen. Trotz Forschung in diesem Bereich sind sie für die Nutzung in Fahrzeugen jedoch umstritten (ISEA 2012).

Lithium-Ionen-Batterien: In Lithium-Ionen-Batterien besteht die Kathode aus einer Lithiumverbindung (aus Kobalt-, Mangan-, oder Nickel-Oxyd). Die Anode besteht aus einer Kupferfolie, die mit einer Graphitverbindung oder Kohle beschichtet ist. Gelöstes Lithiumsalz fungiert als Elektrolyt. Es existieren unterschiedliche Arten von Lithium-Ionen-Akkus, die sich hauptsächlich im Kathodenwerkstoff, der Kobalt, Mangan, Nickel-Kobalt, Nickel-Kobalt-Mangan (NKM), Eisenphosphat oder Titanat sein kann, unterscheiden. Die verschiedenen Kathodenwerkstoffe bewirken unterschiedliche Energiedichten, Leistungsdichten, Nennspannungen und Ladezyklen. Die Lebensdauer von Lithium-

²³ Eine Alternative stellt die Speicherung im Erdgasnetz mit anschließender Rückverstromung in Gaskraftwerken mit KWK dar. Denkbar ist auch eine Methanisierung des Wasserstoffs mit anschließender Speicherung im Gasnetz. Informationen hierzu finden sich bspw. in UBA (2010b).

²⁴Siehe http://www.diebrennstoffzelle.de_für detaillierte Informationen zu den verschiedenen Brennstoffzellentypen.

Ionen-Akkus umfasst ca. 20.000 Ladezyklen. Sie werden als Energiequellen z.B. in Notebooks, Handys und Elektromotoren eingesetzt (ITWissen 2012²⁵).

Herauszuheben ist, dass es sich bei den aufgeführten Speichertechnologien um unterschiedliche Möglichkeiten zur Stromspeicherung handelt, wobei keine davon als alleinige Methode Bestand hätte. Sollen kurzfristige Engpässe ausgeglichen werden, bestehen Ersatzbedarfe von bis zu einem Tag, oder ist die Nutzung in Elektrofahrzeugen vorgesehen, so sind Batterien und Brennstoffzellen die besten Alternativen. Sollen jedoch langfristige Reserven geschaffen werden, ist von den oben angeführten Beispielen nur die Redox-Flow-Batterie geeignet (Bundesregierung 2012a). Wasserstoff an sich ist auch ein geeigneter Langzeitspeicher, bei der Rückverstromung wirken sich jedoch die niedrigen Wirkungsgrade negativ aus.

Bei den Speichertechnologien ist nicht die Speicherung selbst, sondern hauptsächlich die Umwandlungstechnologie entscheidend für die Umweltwirkungen. Dabei spielt zum einen der Wirkungsgrad der Technologie eine Rolle und zum anderen (häufig toxische) Materialien und Energieaufwand, die zur Herstellung der Batterien/Akkumulatoren/Brennstoffzellen benötigt werden, sowie die Entsorgung der Batterien (EP 2009). Die Umweltentlastungspotenziale durch Speichertechnologien betreffen die Umweltgüter Klima und Energie, indem sie zum einen die mobile Nutzung fossiler Brennstoffe ersetzen und zum anderen dafür sorgen, dass der Anteil EE im Strommix durch die Speicherung erhöht werden kann. Eine genaue Quantifizierung ist mit der zurzeit vorhandenen Literatur nicht möglich. Die aktuelle Förderinitiative des BMU²⁶ zu Speichern zeigt, dass hier noch viel Grundlagenforschung geleistet werden muss.

Um die Speichertechnologien zu bewerten, wurde von den Experten in den Interviews als gegenwärtige Technologie bzw. Referenztechnologie „kein Speicher“ gewählt. Dies hat zur Folge, dass häufig indirekte Effekte bewertet werden – also Effekte, die entstehen, wenn EE-Strom durch fehlende Speichermöglichkeiten verloren geht und stattdessen bei einem temporären Unterangebot von EE-Strom die Stromnachfrage durch Strom aus fossilen Energieträgern befriedigt wird.

Klima

Alle Technologien dieses Teilmarktes tragen zu einer Emissionsminderung bei, wenn durch die Speicherung von emissionsfrei erzeugter Energie die Energie aus fossilen Brennstoffen ersetzt werden kann. Allerdings wird auch viel Energie zur Herstellung der Speicher benötigt. Für die Herstellung einer Lithium-Ionen-Batterie werden bspw. 88 – 90 MJ Energie pro kg verbraucht. Dies bedeutet, dass ca. 1,6 kg eines Öl-Äquivalents pro kg produzierter Batterie benötigt werden. Jedes kg einer Lithium-Ionen-Batterie emittiert rund 12,5 kg CO₂E (EC 2012).

Trotz des mit der Herstellung der Speicher einhergehenden hohen Energieverbrauchs, bewerten die Experten die Speichertechnologien langfristig als positiv (+), allerdings nur dann, wenn die EE in Deutschland weiter ausgebaut und ausschließlich diese Energie in den Speichern gespeichert wird. Von einigen Experten ist angemerkt worden, dass der Klimaeffekt negativ sein kann, wenn der Ausbau der EE nicht mit der Entwicklung und Errichtung der Speicher Schritt hält, da theoretisch in diesem Fall auch Energie aus fossilen Energieträgern abgespeichert werden kann. Dies wäre dann eine doppelte Klimabelastung, da zum einen die Speicher sehr energieaufwendig und unter hohen CO₂-Emissionen hergestellt werden und in diesen dann eine CO₂ belastete Energie aus fossilen Energieträgern abgespeichert wird. Ein Experte weist darauf hin, dass seinem Kenntnisstand nach keine signifikanten Effekte von Batteriespeichern im Hinblick auf THG-Emissionen festgestellt werden konnten. Dennoch bewertete auch dieser Experte die (indirekten) Effekte als positiv für das Klima, da, wie erwähnt, die Möglichkeit zur Speicherung von emissionsfreier Energie ermöglicht wird.

²⁵Eine ausführliche Beschreibung findet sich auch in Lowe et al. (2010).

²⁶Siehe hierzu : <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/energiewende/foerderinitiative-energiespeicher/>

Tabelle 10: Bewertung der Auswirkungen von Speichertechnologien auf ausgewählte Umweltgüter

Technologie \ Umweltgut	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
						Schadstoffe	Lärm		
Elektrolyse-Wasserstoff-Brennstoffzelle	+	+	+	+	++	++	++	0	-
Redox-Flow-Batterien	+	++	+	+	++	++	++	0	-
Lithium-Ionen-Batterien	+	++	++	+	++	++	++	0	-
Natrium-Schwefel-/Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien	+	++	+	+	++	++	++	0	-

Referenz für alle Technologien: Kein Speicher.

Legende:

- ++/-- Starke Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
- +/- Leichte Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
- 0 Kein relevanter Effekt des Technologie auf das Umweltgut
-  Lokal negative Umweltwirkungen (in Abbauländern)
-  Lokal positive Umweltwirkungen (in Abbauländern)

Energie

Die Nutzung aller Technologien wirkt sich positiv auf die Nutzung der schon erzeugten Energie aus, da diese fast verlustfrei gespeichert werden kann (Bundesregierung 2012a). Durch den Einsatz von Speichertechnologien ist es möglich, Strom (aus Überkapazitäten bzw. stark fluktuierender Stromerzeugung) kurz- oder langfristig (je nach Speichertechnologie) zu lagern und später zu nutzen. Die höchsten Wirkungsgrade haben die Lithium-Ionen-Batterie sowie die Hochtemperaturbatterien von 90 bis 95 %. Der Wirkungsgrad der Redox-Flow-Batterie liegt bei rund 75 %. Wasserstoff an sich kann verlustfrei z.B. in Salzkavernen gelagert oder auch transportiert werden. Des Weiteren kann Wasserstoff nicht nur wieder in Strom (mit Umwandlungsverlusten und einem Wirkungsgrad von 26%), sondern auch mit Hilfe von Kohlendioxid in Methan umgewandelt (Wirkungsgrad 40%) oder direkt ins Erdgasnetz eingespeist werden, momentan maximal bis zu 5 Vol.-%. Die Brennstoffzelle hat lediglich einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 40 %, wobei Werte zwischen 30 und 80% berichtet werden.

Entsprechend den aus der Literatur bekannten Wirkungsgraden haben die Experten den Effekt auf das Umweltgut Energie wie folgt eingeschätzt: Aufgrund des geringen Wirkungsgrades der Brennstoffzelle wurde diese Technologie mit einem einfachen +, die anderen Technologien aufgrund deutlich höherer Wirkungsgrade mit einem ++ bewertet wurden.

Luft

Informationen zu den Auswirkungen der Speichertechnologien auf das Umweltgut Luft waren in der Literatur nicht zu finden. Dementsprechend schätzten einige Experten, dass Speichertechnologien keinerlei direkte Auswirkungen auf die Luft haben. Der Großteil schätzte den Gesamteffekt jedoch als signifikant positiv (++) bei Lithium-Ionen-Batterien) und positiv (+ bei den restlichen Technologien) ein. Dabei wurden indirekte Effekte betrachtet: Im Falle eines Fehlens von Speichermöglichkeiten „verpufft“ die durch regenerative Energieträger erzeugte Energie und bei schwankender Stromnachfrage müsste Strom aus fossilen Energieträgern oder aus Atomkraftwerken in die Netze eingespeist werden. Mit dieser Referenz tragen Speichertechnologien somit indirekt dazu bei, dass die Auswirkungen auf den Faktor Luft positiv sind im Vergleich zu fossiler Energie. Allerdings betonten alle Experten, dass in den in dieser Arbeit untersuchten Speichern toxische Stoffe enthalten sind, die im Fehlerfall negative Auswirkungen auf die Luft haben können. Da die Fehlerwahrscheinlichkeit jedoch sehr gering ist und die Speichereinheiten verhältnismäßig klein und dezentral stationiert sind, wird dieser Effekt in der Bewertungsmatrix vernachlässigt.

Nicht vernachlässigt werden dürfen hingegen Effekte, die beim Abbau der Rohstoffe zur Herstellung der Speicher in den Abbauländern auftreten und dort vor Ort negative Auswirkungen auf das Umweltgut Luft haben können. Aus diesem Grund sind die Zellen dunkel eingefärbt. Eine Quantifizierung der Effekte ist nicht leicht, so dass sich die Experten hinsichtlich der Stärke des negativen Effektes nicht sicher waren. Dass diese Effekte bestehen, ist jedoch unumstritten.

Wasser und Boden

Die Nutzung von Platingruppenmetallen bei der Herstellung von Brennstoffzellen hat eine Versauerungswirkung auf Boden/Wasser beim Abbau der Metalle. Bei Redox-Flow Batterien kommen toxische Säuren zum Einsatz, die Boden und Wasser vergiften können, wenn keine Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Zusätzlich muss bei der Entsorgung aller Batterien darauf geachtet werden, dass diese die Umwelt nicht zusätzlich verschmutzen. Eine Förderung der Kreislaufwirtschaft bei Metallen kann diese negativen Umweltwirkungen eindämmen. Negative Effekte können insbesondere beim Abbau der Rohstoffe zur Herstellung der Speicher entstehen. Lithiumminen weisen bspw. eine deutlich erhöhte Toxizität auf (EC 2012). Die leicht positive Bewertung von Redox-Flow-Batterien ist auf die unbegrenzte Anzahl von Ladezyklen zurückzuführen, da somit durch den Betrieb kein Problem mit toxischen Abfällen entsteht (EP 2007: 15). Ein Fehlerfall ist eine Ausnahme und kann daher als negativer Effekt vernachlässigt werden. Die gleiche Argumentation wird auch im Kontext von Atomkraftwerken gebracht. Der signifikante Unterschied jedoch ist, dass im Fehlerfall bei Batterien die Schäden lokal sehr begrenzt sind, während es bei einem Fehlerfall im Atomkraftwerk zu weltweiten negativen Auswirkungen kommen kann.

Wie beim Umweltgut Luft, muss auch im Bereich Wasser und Boden nach Umweltwirkungen während des Betriebs und bei der Herstellung differenziert werden. Die Effekte für den Betrieb schätzen die Experten als positiv ein. Dabei handelt es sich um indirekte Effekte, bei denen die gleiche Argumentation gilt wie beim Umweltgut Luft. Durch den Ersatz von fossilen Energieträgern durch EE, was durch die Speicherung des überflüssigen EE-Stroms ermöglicht wird, werden Boden und Wasser entlastet. Trotz der indirekten positiven Effekte auf Wasser und Boden wurde von einem Experten ergänzt, dass im Falle der Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen diese vor Gebrauch ausgesolt werden. Bei dieser Aussolung wären negative Effekte auf Wasser und Boden denkbar. Da dem Experten zu wenige Informationen hierüber vorlagen, wurden diese Effekte in der Bewertung nicht berücksichtigt.

Von allen Experten wird der Abbau der zur Herstellung der Speichertechnologien notwendigen Rohstoffe in den Abbauländern als kritisch betrachtet. Um diese Einschätzung auszudrücken, sind die Zellen dunkel eingefärbt. Allerdings besitzen die Experten keine Kenntnisse darüber, wie stark dieser Effekt ausgeprägt ist. Fakt ist jedoch, dass die Speichertechnologien trotz der durchweg positiven Einschätzung der Effekte hierzulande nicht unstrittig zu betrachten sind. Um die Umweltgüter in den Abbauländern zu schützen, ist es erstens notwendig, weitere Forschung diesbezüglich zu betreiben und bestimmte Umweltstandards in den Ländern durchzusetzen und zweitens, Metalle wie Seltene Erden in den Speichertechnologien zu ersetzen. Mehrere Experten bestätigten, dass es bereits Forschungsanstrengungen in diese Richtung gibt, dass diese jedoch in Zukunft intensiviert werden sollten.

Artenvielfalt und Landschaft

EP (2007: 15) nennt als negative Umweltwirkung auf die Landschaft, dass Lagertanks für Elektrolyte von Redox-Flow-Batterien mitunter viel Platz in Anspruch nehmen können. Positiv zu werten ist hingegen der dezentrale Charakter der untersuchten Speichertechnologien, da die Verbreitung der Speicher möglicherweise zur Folge hat, dass der Stromnetzausbau begrenzt wird. Zu den Effekten der Speichertechnologien auf die Artenvielfalt lagen keine Informationen in der Literatur vor.

Die Experten bewerten die Auswirkungen der Speichertechnologien auf die Landschaft der Argumentation aus der Literatur folgend als signifikant positiv (++). Die dezentrale Errichtung der Speicher (mit Ausnahme des Wasserstoffspeichers bspw. in Salzkavernen) beeinflusst die Landschaft nicht nur im Vergleich zu Pumpspeicherkraftwerken positiv, sondern auch indirekt im Vergleich bspw. zum Braunkohletagebau, zu Kohlekraftwerken oder Atommeilern.

Im Bereich der Umweltgüter Luft, Wasser und Boden sind bereits negative Effekte in den Abbauländern erwähnt worden. Die gleiche Argumentation gilt auch für die Umweltgüter Artenvielfalt und Landschaft. Obwohl von einigen Experten erwähnt, wurde die Stärke der Effekte jedoch nicht eingeschätzt. Dass diese negativen Effekte bestehen, ist jedoch unumstritten, so dass in der Bewertungsmatrix auch diese Zeile dunkel eingefärbt wird, um auf die Gegebenheiten in den Abbauländern hinzuweisen und herauszustellen, dass diese bei einer Bewertung nicht vernachlässigt werden dürfen.

Gesundheit

Zu den Wirkungen der Speichertechnologien auf die menschliche Gesundheit sind, ebenso wie beim Faktor Luft, keine Informationen in der Literatur vorhanden.

Die Experten schätzten die Effekte in Deutschland hinsichtlich Schadstoffen und auch Lärm als signifikant positiv ein (++), wobei es sich erneut um indirekte Effekte handelt. Die Speicherung von Strom aus EE, die dafür sorgt, dass EE-Strom jederzeit genutzt werden kann (Ausbau und weitere Entwicklung der Speichertechnologien vorausgesetzt), führt zu einem Rückgang der Stromproduktion in Kohle- und Atomkraftwerken. Insbesondere durch Kohlekraftwerke werden täglich Schadstoffe emittiert, die die menschliche Gesundheit schädigen können. Potenziert würde das Schadenspotenzial im Falle eines Atomunfalls. Wie stark der positive Effekt von Speichertechnologien ausfallen könnte, zeigen die jüngsten Luftverschmutzungen in China, die in der energiehungrigen Volkswirtschaft in erster Linie durch die Energieproduktion in Kohlekraftwerken verursacht werden. Der über den nördlichen Teilen des Landes liegende Smog wurde zeitweilig als „gesundheitsgefährdend“ und sogar „gefährlich“ eingestuft. In der mittleren Frist könnte der massive Ausbau der EE und von Speichertechnologien solche Gefährdungen reduzieren. Negative Effekte können dahingehend entstehen, dass in Fehlerfällen toxische Bestandteile aus den Speichern austreten und die menschliche Gesundheit gefährden. Wie erwähnt, ist die Wahrscheinlichkeit hierfür sehr gering, so dass der Effekt nicht in der Matrix berücksichtigt wird.

In dieser Studie werden hinsichtlich der menschlichen Gesundheit nur die Faktoren Schadstoffe und Lärm betrachtet. Im Hinblick auf die Lithium-Ionen-Batterien sollte jedoch erwähnt werden, dass Vorfälle existieren, die die menschliche Gesundheit gefährden und die nicht in Zusammenhang mit Schadstoffen oder Lärm stehen. So sind Fälle bekannt, in denen Lithium-Ionen-Batterien in Laptops und Elektroautos in Brand gerieten. Lowe et al. (2010) machen in ihrer Studie explizit auf die Problematik aufmerksam, dass in einem Überladungszustand der chemische Zustand von Kathode und Anode zerstört und durch die Flockenbildung der Lithiummetalle Kurzschlüsse und im schlimmsten Fall Explosionen verursacht werden. Ein Beispiel für die Fehleranfälligkeit der Lithium-Ionen-Batterien ist, dass im Januar 2013 alle Dreamliner des Flugzeugbauers Boeing aus dem Verkehr gezogen wurden, da für eine Pannenserie, die die Maschinen teilweise zu Notlandungen zwang, Lithium-Ionen-Batterien verantwortlich gemacht wurden, die in den Dreamlinern für die Elektronik vorhanden sind.

Da durch den Rohstoffabbau im Ausland – wie bereits in der Literatur und/oder in den Experteninterviews erläutert – negative Effekte auf Luft, Wasser und Boden entstehen, wird hierdurch auch die Gesundheit der vor Ort lebenden und arbeitenden Menschen negativ beeinflusst. Diese Thematik wurde zwar von den Experten im Bereich der Speichertechnologien nicht angesprochen, lässt sich aber aus den Antworten der Experten zum Thema AA (Gesundheit) und den Antworten der Speichertechnologie-Experten zu den Bereichen Luft, Wasser und Boden ableiten. Um diese signifikant negativen Effekte in den Abbauländern zum Ausdruck zu bringen, ist die Zelle dunkel eingefärbt.

Natürliche Ressourcen (biotisch)

Weder in der Literatur noch in den Experteninterviews werden Effekte der Speichertechnologien auf das Umweltgut natürliche Ressourcen diskutiert. Effekte sind bisher noch nicht zu beobachten bzw. wurden noch nicht weiter untersucht.

Rohstoffe (abiotisch)

In der Literatur sind gegenwärtig noch keine Beiträge vorhanden, die sich explizit mit den Auswirkungen des Ausbaus der Speichertechnologien auf das Umweltgut Rohstoffe beschäftigen. Allerdings macht schon der Begriff der Seltenen Erden deutlich, dass das Vorkommen dieser Elemente auf der Erde äußerst begrenzt ist. In Konietzko und Gernuts (2011) wurde mithilfe von Szenarioanalysen, in denen der Ausbau der Elektromobilität simuliert wird, ermittelt, ob die weltweite Nachfrage nach Lithium und Kobalt bis zum Jahr 2050 das Angebot übersteigen wird. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Lithium im Prognosezeitraum ausreichend vorhanden sein wird. Je nach Szenario besteht allerdings bei Kobalt die Problematik, dass die weltweite Nachfrage das Angebot in den kommenden Jahrzehnten übersteigen könnte. Bei diesen Ergebnissen ist jedoch darauf hinzuweisen, dass nur der Anstieg der Elektromobilität untersucht wurde. Ein weltweit steigender Absatz von Speichern zur Speicherung von Strom aus EE könnte die Angebotssituation von Lithium und Kobalt verschärfen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen die Experten: Zwar sehen alle Experten zurzeit noch keine eklatante Knappheit, doch diese könnte sehr schnell eintreten, wenn die Nachfrage nach den entsprechenden Metallen bspw. durch den Ausbau der Speichertechnologien ansteigt. Alle Experten betonen diesbezüglich die dringende Notwendigkeit, weiter in die Erforschung von Recyclingmaßnahmen zu investieren, da das Recycling der Seltenen Erden und anderer Metalle von großer Bedeutung auch für das zukünftige Potenzial der Speichertechnologien ist. So ist z.B. das Recycling von Platin (als Bestandteil der Brennstoffzelle) technisch schon möglich. Es ist jedoch so kostspielig, dass es sich (noch) nicht lohnt.

Während der Effekt auf das Umweltgut Rohstoffe im Herstellungsprozess von Speichertechnologien von den Experten eher negativ gesehen wird, sind die mit den Speichertechnologien verbundenen Effekte auf das Umweltgut Rohstoffe während der Betriebszeit der Speicher als positiv zu bewerten. Bewertet wurde von den Experten dabei ein indirekter Effekt, der sich darin manifestiert, dass durch die Möglichkeit zur Speicherung von Strom aus EE Brennstoffe, wie bspw. Kohle oder Erdgas, die bisher die Stromerzeugung dominierten, weniger nachgefragt werden. Dies hat nicht nur die Schonung der Rohstoffreserven zur Folge, sondern auch eine Reduktion der Abhängigkeit Deutschlands von Brennstoffimporten.

In der Bewertungsmatrix in

Tabelle 10 werden die negativen Effekte, die sich auf die Herstellung der Speicher beziehen, berücksichtigt. Es besteht dringender Forschungsbedarf, um zum einen Metalle wie z.B. Seltene Erden in den Speichern durch Metalle oder andere Stoffe zu ersetzen, die weniger knapp sind und zum anderen Fortschritte im Bereich des Recyclings zu machen.

Fazit

Speichertechnologien sind ein relativ junges Forschungsfeld, das erst in den letzten Jahren im Zusammenhang mit der Klimadiskussion und dem Ausbau der EE an Bedeutung gewonnen hat. Diese Tatsache wird zum einen dadurch bewusst, dass in der für diese Arbeit analysierten Literatur Effekte auf bestimmte Umweltgüter bisher nicht untersucht wurden. Zum anderen wurde dies auch durch die Antworten der Experten deutlich. Die Experten bewerteten bestimmte Umweltgüter mitunter unterschiedlich und sogar gegensätzlich, wobei der Bewertungsvorgang sicherlich auch durch die Referenz „kein Speicher“ erschwert wurde, da diese dazu führte, dass schwerpunktmäßig indirekte Effekte bewertet wurden.

Die in

Tabelle 10 dargestellte Bewertungsmatrix macht deutlich, dass Speichertechnologien – mit Ausnahme der Rohstoffe – durchgehend positive Effekte auf die Umweltgüter haben. So werden bspw. durch die Nutzung der Technologien CO₂-Emissionen durch die Erhöhung des Anteils EE am Strommix reduziert, was schließlich Hauptanliegen des EE Ausbaus ist. Weiterhin werden Luft, Wasser und Boden, das Landschaftsbild und die menschliche Gesundheit durch einen Ausbau der Speicher positiv beeinflusst. **Diese positiven Effekte sind jedoch nur in Deutschland zu beobachten** bzw. in dem Land, in dem die Speicher in Betrieb genommen werden. Gegensätzliche Effekte auf die Umweltgüter sind bei der Herstellung der Speicher zu verzeichnen. Durch den steigenden Bedarf an Materialien wie Kupfer oder Platin und Seltenen Erden für die Speicher gibt es beim Abbau der Rohstoffe mitunter negative Effekte in den Abbauländern zu verzeichnen. Wie bei den alternativen Antrieben gilt auch hier, dass nur wenige Informationen bzgl. etwaiger Umweltwirkungen in der Vorleistungskette bzw. des genauen Umfangs der Schädigungen der untersuchten Umweltgüter in den Abbauländern vorliegen. Von allen Experten wurde auf die Umwelt- und Gesundheitsprobleme, die in den Abbauländern bestehen, hingewiesen, so dass diese deshalb bei einer Bewertung der Speichertechnologien nicht vernachlässigt werden dürfen. Es besteht noch großer Forschungsbedarf, um die Effekte letztlich quantifizieren zu können.

Damit die Technologien nicht auch in Deutschland negative Effekte haben, ist eine adäquate Entsorgung der Technologien am Ende des Lebenszyklus überaus wichtig. Inwiefern diese Verschmutzungen in einer Gesamtbilanz durch die positiven Effekte für das Klima ausgeglichen werden, ist von den eingesetzten Extraktions- und Recycling-Techniken abhängig. In den Interviews wurde von den Experten zwar auf diesen Faktor hingewiesen, die negativen Effekte wurden jedoch gegenwärtig wenig gewichtig angesehen, so dass in allen Fällen die Gesamteffekte als positiv bewertet wurden. Aktuell werden Fortschritte in der Forschung gemacht, so dass zukünftig Batterien eingesetzt werden können, in denen z. B. Phosphorsalze statt Metalle und Kohlenwasserstoffe enthalten sind (Die Bundesregierung, 2012). Diese Technik erlaubt eine umwelt- sowie gesundheitsschonende Speicherung von großen Strommengen. Im Moment gibt es noch, zum Teil wirtschaftliche, Restriktionen der möglichen Einsatzgebiete für die verschiedenen Technologien, so dass eine vollständige Substitution der umweltschädlicheren durch die umweltverträglicheren Technologien bisher nicht möglich ist. Starke negative Effekte auf die Umwelt bei der Entsorgung der Batterien können jedoch durch verantwortungsvolles Handeln sowie verbesserte Verfahrensweisen im Teilmarkt Abfallverwertung eingedämmt werden.

3.2.4 Effizienztechniken im industriellen Sektor

Der Teilmarkt „Effizienztechniken im industriellen Sektor“ wurde für diese Betrachtung ausgewählt, da effiziente Produkte und Verfahren weltweit erhebliches Wachstumspotenzial haben (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.2.4). Steigende Energiepreise und der global zunehmende Energiebedarf kurbeln die Nachfrage nach effizienten Maschinen und Verfahren für industrielle Kernprozesse und Querschnittstechnologien an. Bei der Analyse dieses Submarktes stehen deshalb zwei Segmente im Vordergrund: Effizienztechniken im Bereich Metallerzeugung (Eisen- und Nicht-Eisen-Metalle) und Querschnittstechnologien zur Kälte- und zur Wärmeerzeugung. Durch die Auswahl dieser Segmente können die Umweltwirkungen von Effizienztechniken im industriellen Sektor aus zwei Perspektiven abgebildet werden. Zum einen werden die Umweltwirkungen von effizienten Produktionsverfahren bei Kernprozessen einer der energie- und materialintensivsten „klassischen“ Industrien betrachtet (Metallerzeugung), zum anderen die Umweltwirkungen von branchenübergreifenden unterstützenden Produktionsprozessen (Querschnittstechnologien), die Sparpotenziale bieten.

Bis 2020 soll der Energieverbrauch der EU um 20% verringert werden. Die Bundesregierung möchte die Energieproduktivität bis 2050 um durchschnittlich 2,1% pro Jahr steigern, den Primärenergieverbrauch bis 2020 um ein Fünftel und bis 2050 um die Hälfte reduzieren (BMWI/BMU 2010). Dafür müssen in den Verbrauchssektoren (Haushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Verkehr) sämtliche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz umgesetzt werden. Mit 30% des Endenergieverbrauchs in Deutschland spielt dafür besonders der industrielle Sektor eine wichtige Rolle (Pehnt et al. 2009).

Effizienztechniken im Bereich Metallerzeugung: Die Experten definieren als Referenztechnologie die „klassischen“ Produktionsverfahren der Metallerzeugung, zum einen zur Produktion von Eisen-Metallen (Fe-Metallen) und Stahl, zum anderen von Nichteisen-Metallen (NE-Metallen). Von den Experten wurde dabei betont, dass der letzte große Innovationsschub von Technologien mit großem Effizienzpotenzial in der Metallerzeugung schon länger zurückliegt, als dies bei anderen industriellen Bereichen der Fall ist. Seit Anfang der 1980er Jahre haben sich die damals entwickelten Techniken zur Steigerung der Effizienz durchgesetzt. Dies hängt damit zusammenhängt, dass Investitionen in diesem Sektor

sehr langlebig sind und die Diffusion von grundsätzlichen Neuerungen in der Technik erst nach und nach stattfindet, wenn Erneuerungen der Anlagen notwendig werden. Aktuell neu eingesetzte Effizienztechniken betreffen eher kleinere Innovationen in diesem Bereich. In der Eisenmetallerzeugung ist die Erzeugung von Stahl im Hochofen das klassische Produktionsverfahren, bei dem durch den Einsatz von effizienten Gießmaschinen, Erwärmungs- und Warmhaltenanlagen aktuell noch Effizienzsteigerungen erreicht werden können, wobei der Durchdringungsgrad mit diesen Effizienztechnologien aktuell bei ca. 50% liegt (Roland Berger 2011b). Auch die Sekundärproduktion im Elektrolichtbogenofen ist ein Verfahren das Effizienzsteigerungspotenziale im Vergleich zur klassischen Produktion bietet (Fraunhofer ISI 2013). Bei den NE-Metallen sind in Deutschland als klassische Technologien die der Primärerzeugung, hauptsächlich von Aluminium (Elektrolyse) und Kupfer (Laugungsverfahren), relevant (Fraunhofer ISI 2013). Effizienzsteigerungen können hier hauptsächlich durch effizientere Techniken bei der Wärmebehandlung, der Abwärmenutzung, den Einsatz von Querschnittstechnologien sowie durch Sekundärproduktion erreicht werden (RWI 2010b).

Querschnittstechnologien (zur Kältetechnik und zur Wärmeerzeugung): Die Experten definieren als Referenztechnologie „keinen Einsatz“ von Querschnittstechnologien bzw. eine „klassische“ Erzeugung von Kälte oder Wärme durch herkömmliche Prozesse (z.B. durch einen Standard-Erdgas-Brennwert-Kessel), die separat vom restlichen Produktionszyklus erfolgen. Neue Querschnittstechnologien bieten Einsparpotenziale in den unterstützenden Prozessen der Produktion, indem sie durch Verbesserungen bestimmter Module eine Optimierung des Gesamtsystems bewirken. Kältetechnik ist in Industrie und Gewerbe insbesondere für die Klimatisierung von Büros, Fabriken und Lager, die Lebensmittelkühlung sowie zur Erzeugung von Prozesskälte für EDV-Anlagen und Maschinen wichtig. Querschnittstechnologien, die in der Kältetechnik Optimierungsmöglichkeiten bieten, sind z.B. flexibel schaltbare Verbundanlagen, Nutzung von Abwärme (Wärmerückgewinnung) sowie die Verwendung erneuerbarer Energien zur Kälteerzeugung („solare Kühlung“ durch Sorptionskälteanlagen). Insbesondere Querschnittstechnologien zur Abwärmenutzung und Abwärmrückgewinnung spielen bei Effizienzsteigerungen eine wichtige Rolle, z.B. durch Organic Rankine Cycle (ORC)-Systeme, die Abwärme von Maschinen zur Stromerzeugung nutzen, oder durch Sammlung von Abwärmeströmen mithilfe einer Elektro-Wärmepumpe zur Wärmebereitstellung am Standort, sowie durch den Einsatz von Wärmetauschern, der besonders in energieintensiven Branchen lohnenswert zu sein scheint (BMU 2012).

Umweltwirkungen, die sich aus dem Einsatz von Effizienztechniken in der Industrie ergeben, sind per Definition hauptsächlich Energieeinsparungen. In der Metallerzeugung sind Effizienzsteigerungen von bis zu 37% bis 2050 möglich (Roland Berger 2011b). Auf die Subsysteme der Produktion, die zur Erstellung des Endprodukts benötigt werden, entfallen 65% des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland; bis 2020 sind durch den Einsatz von Querschnittstechnologien Stromeinsparungen in Höhe von 150 PJ zu erzielen (Pehnt et al. 2009). Speziell das Einsparpotenzial von Kältetechnik wird auf 32.000 GWh pro Jahr in Deutschland geschätzt (Forschungsrat Kältetechnik). Einsparungen von ca. 30 TWh pro Jahr sind Schätzungen zufolge durch effiziente Wärmeerzeugung zu erreichen (DENA 2011). Diese Energieeinsparungen haben natürlich positive Wirkungen auf das Klima, da viele THG-Emissionen in Deutschland energiebedingt sind. Die qualitative Bewertung der Umweltwirkungen der Effizienztechniken durch die Experten wird in Tabelle 11 übersichtlich dargestellt.

Klima

Da die Metallerzeugung eine der strom- und energieintensivsten Industrien Deutschlands ist, hängt die Umweltwirkung auf das Klima durch Treibhausgasemissionen sehr von der Emissionsintensität der Energieträger und der Stromproduktion ab (Roland Berger 2011b). Die Dokumentation der Energieeffizienz im Rahmen des CO₂-Monitorings der freiwilligen Selbstverpflichtung der deutschen Industrie zur Klimaschutzvorsorge zeigt, dass bedeutende Fortschritte bei der Emission von Treibhausgasen in der Metallerzeugung erreicht wurden: in der Stahlindustrie konnten zwischen 1990 und 2010 durch Effizienzsteigerungen die spezifischen CO₂-Emissionen um 13% gesenkt werden, in der Nichteisen-Metallindustrie sogar um fast 30% (RWI 2010b).

Tabelle 11: Bewertung der Auswirkungen von Effizienztechniken in der Industrie auf ausgewählte Umweltgüter

Umweltaut	Klima	Energie	Luft	Wasser	Boden	falt &	Gesundheit	Res-	Res-	sour	ren	(abi-	(fabri-
-----------	-------	---------	------	--------	-------	--------	------------	------	------	------	-----	-------	---------

Technologie				Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Effizienztechniken in der Metallerzeugung (Eisen)	+	++	+	0	0	0	0	0	0	0	+
Effizienztechniken in der Metallerzeugung (Nichteisen)	+	++	+	0	0	0	0	0	0	0	+
Querschnittstechnologie Kältetechnik	++	++	+	-	-	-	0	+	0	0	+
Querschnittstechnologie Wärmeerzeugung	++	++	+	-	-	-	0	+	0	0	+

Referenz für Effizienztechniken der Metallerzeugung: „klassische“ Produktionsverfahren der Metallerzeugung (Hochofen, Elektrolyse, Laugungsprozess);

Referenz für Querschnittstechnologien: „klassische“ Erzeugung von Kälte oder Wärme durch separate Prozesse.

Legende:

- ++/-- Starke Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
- +/- Leichte Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
- 0 Kein relevanter Effekt des Technologie auf das Umweltgut
-  Lokal negative Umweltwirkungen (in Abbauländern)
-  Lokal positive Umweltwirkungen (in Abbauländern)

Die Stahlindustrie beteiligt sich seit 1990 an der nationalen Klimavorsorgepolitik durch Selbstverpflichtung, die NE-Metallindustrie seit 1996. Auch wenn seitdem laut Aussage der Experten keine großen technologischen Sprünge zu einer massiven Steigerung der Effizienz bei der Primärproduktion stattgefunden haben, stellt die Selbstverpflichtung dieser Industriebranchen einen Treiber für die weitere Verbreitung von Effizienztechniken dar. Insbesondere der Ausbau der Sekundärmetallproduktion, sowohl durch den gestiegenen Anteil der Elektrostahlproduktion als auch durch den Ausbau des NE-Metallrecyclings, ermöglicht die Einsparung von sehr emissionsintensiven Arbeitsschritten, da zur Erzeugung von Rohstahl viel Kohlenstoff und bei Primärverfahren wie z.B. der Elektrolyse zur Produktion von Aluminium viel Strom zum Einsatz kommt (RWI 2010b und Stahl-Zentrum). Von den Experten wurden diese Erkenntnisse bestätigt und die Wirkung von Effizienztechniken auf das Klima sowohl bei der Fe- als auch bei der NE-Metallerzeugung positiv bewertet (+).

Dies beruht nach deren Aussage im Wesentlichen auf den Ausbau der Sekundärproduktion, aber auch teilweise auf Effizienzverbesserungen in den Primärprozessen. Dabei wurde auf das Projekt „ULCOS“ (Ultra-Low CO₂ Steelmaking) aufmerksam gemacht, eine Initiative von europäischen Unternehmen und Organisationen, die Lösungswege zur Reduzierung des Kohlendioxid-Ausstoßes gegenüber den gegenwärtigen Technologien zur Primärerzeugung von Stahl erforscht und umsetzt. Die Experten erwähnten z.B. die Möglichkeit, fossile Energieträger in der Metallerzeugung durch z.B. Biomasse zu ersetzen und bei Strom auf erneuerbaren Strom umzusteigen, allerdings ist dies unter den aktuellen Marktbedingungen nur in sehr begrenztem Rahmen möglich und wird nicht stärker verfolgt.

Querschnittstechnologien bieten ein erhebliches CO₂-Einsparpotenzial. Sie ermöglichen erhebliche Brennstoffeinsparungen bei Prozesswärme (WI 2006 und WI 2008) und durch Abwärmenutzung sowie Abwärmerückgewinnung kann viel Strom eingespart werden, was sich deutlich auf die CO₂-Emissionen auswirkt (BMU 2012). Diese Erkenntnisse wurden von den Experten bestätigt, die im Einsatz von Querschnittstechnologien eine deutliche Entlastung für das Klima sehen

(++). Auch die Kältetechnik bietet laut deren Einschätzung enorme Potenziale, da aktuell noch viele klimaschädliche Kältemittel eingesetzt werden, die durch neue Kältetechnik vermieden werden können.

Energie

Die Metallerzeugung ist ein besonders energieintensiver industrieller Sektor, weshalb Energieeffizienz angesichts der steigenden Energiepreise strategisch wichtig ist. Dies ist ein Treiber für die Verfahrensoptimierung in der metallerzeugenden Industrie: Prozesse des Schmelzens und Gießens von Metall bieten ein Effizienzsteigerungspotenzial, so wie auch effiziente Gießmaschinen und Erwärmungs-/Warmhalteanlagen (Roland Berger 2011b). Seit 1990 zeigt die Dokumentation der Energieeffizienz im Rahmen des CO₂-Monitorings der freiwilligen Selbstverpflichtung der deutschen Industrie zur Klimaschutzvorsorge, dass bedeutende Fortschritte in der Metallerzeugung erreicht wurden: der spezifische Energieverbrauch der Stahlindustrie ist zwischen 1990 und 2008 um 14% je Tonne Rohstahl gesunken, in der Nichteisen-Metallindustrie sogar um ca. 25% (RWI 2010b). Im Fall der Stahlindustrie muss hier zwischen der Erzeugung von Oxygenstahl mit Eisenerz im Hochofen und der Erzeugung von Elektrostahl mit Stahlschrott im Elektroofen (Sekundärerzeugung) unterschieden werden. Letztere ist weniger energieintensiv als die Reduktion von Eisenerz im Hochofen, deshalb ist der steigende Anteil an Elektrostahl an der gesamten Erzeugungsmenge für die Senkung des Energieverbrauchs der Eisen- und Stahlindustrie ausschlaggebend. Wiederum entstehen während des Hochofenprozesses sogenannte Kuppelgase, die als Brennstoff im Produktionsprozess verwendet werden und somit andere Brenngase substituieren können (RWI 2010a). Bei der Erzeugung von NE-Metallen spielt vor allem der Ausbau der Sekundärproduktion in den letzten Jahren eine erhebliche Rolle in der Senkung des Energieverbrauchs (RWI 2010b). Von den Experten wurden diese Erkenntnisse bestätigt und die Wirkung von Effizienztechniken auf Energie sowohl bei der Fe- als auch bei der NE-Metallerzeugung positiv bewertet (+). Dies beruht nach deren Aussage im Wesentlichen auf dem Ausbau der Sekundärproduktion, aber auch teilweise auf den oben genannten Effizienzverbesserungen in den Primärprozessen. Die Herstellung von Sekundär-Aluminium verbraucht z.B. laut Aussage der Experten weniger als 10% der Energie, die zur Primärherstellung notwendig ist.

Querschnittstechnologien bieten ebenfalls große Potenziale zur Energieeinsparung. Im Bereich Wärmeerzeugung liegt der Endenergieverbrauch in Deutschland für Prozesswärme bei ca. 400 TWh pro Jahr (57% des industriellen Endenergieverbrauchs), davon könnten ca. 30 TWh nur durch Nutzung von effizienteren Techniken zur Abwärmenutzung und Abwärmerückgewinnung eingespart werden (BMU 2012 und Prognos 2007). Mögliche Energieeinsparungen durch effizientere Kältetechnik werden in Deutschland auf 32.000 GWh pro Jahr geschätzt, was bis zu 40% des aktuellen Energieverbrauchs ausmacht (Forschungsrat Kältetechnik). Das große Energieeinsparpotenzial von Querschnittstechnologien in der Kältetechnik und zur Wärmeerzeugung wurde von den Experten bestätigt (++). Allerdings wird dabei betont, dass die Potenziale aktuell in der Industrie nicht ausgeschöpft sind, hauptsächlich weil ein Umdenken im Sinne von Lebenszyklus-Kosten und Glaubwürdigkeit von Effizienzvorteilen noch stattfinden muss. Um das Potenzial von Querschnittstechnologien besser auszuschöpfen, müsste laut Aussage der Experten mehr „vernetzt“ gedacht werden: heutzutage lassen sich für verschiedene Anwendungen, wie z.B. Wärme- und Stromerzeugung oder Kälte- und Wärmeerzeugung viele Systeme so einrichten, dass die Komplementarität dieser verschiedenen Funktionen genutzt werden kann und auf diese Weise energiesparsamer beide Funktionen des Systems bedient werden können.

Luft

Begrenzungen der Schadstoffausstöße der Metallindustrie in die Luft sind in Deutschland (und Europa) gesetzlich geregelt, z.B. durch die Richtlinie zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie). Anlagen müssen dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und sich bezüglich ihrer Schadstoffausstöße an den best verfügbaren Techniken orientieren, die in den „Best Available Techniques References Documents“ (BREF-Dokumente) von der Europäischen Kommission veröffentlicht werden (Stahl-Zentrum). Aus diesem Grund ist die Frage nach Umweltwirkungen auf die Luft in Deutschland nicht wirklich relevant, da Schadstoffausstöße immer diese strengen Grenzwerte einhalten müssen. Dies wurde von den Experten bestätigt. Da sich durch die Energieeinsparungen allerdings indirekt auch eine Entlastung des Umweltguts Luft ergeben, wird die Wirkung von Effizienztechniken in der Metallerzeugung mit (+) bewertet.

Zur Umweltwirkung von Querschnittstechnologien auf das Umweltgut „Luft“ finden sich in der hier vorliegenden Literatur kaum Hinweise. Die Experten bewerteten allerdings diese Wirkung positiv (+): ein indirekt positiver Effekt ergibt

sich laut ihrer Aussage dadurch, dass durch den Einsatz von Querschnittstechnologien insbesondere zur Wärmeerzeugung weniger Laufleistung von herkömmlichen Wärmeerzeugern notwendig ist, die mehr Schadstoffe ausstoßen würden als Querschnittstechnologien.

Wasser und Boden

Abwässer aus der Fe-Metallerzeugung, speziell aus Sinteranlagen von Hochöfen, sind verschmutzt und enthalten Spuren von Schwermetallen sowie Zyanide und Fluoride. In den letzten Jahren wurden viele Effizienztechniken entwickelt, die zum Schutz der Gewässer in der Stahlindustrie beitragen, wie z.B. die Mehrfachnutzung von Spülwässern, die Weiterverwendung von Prozesswasser und die Schlackengranulation mittels Prozess-/Kühlwasser (Stahl-Zentrum). Durch diese Effizienztechniken konnten der spezifische Wassereinsatz und die Abwassermenge, die wieder in den Wasserkreislauf gelangt, stark reduziert werden. Heutzutage wird das in der Stahlindustrie eingesetzte Wasser 9,7 Mal genutzt bevor es als Abwasser abgeleitet wird (EC 2008, Stahl-Zentrum). Die Experten bewerteten aber auch hier die Wirkung auf Wasser und Boden mit (0), denn sie sehen aufgrund der strengen Grenzwerte, die bei der Nutzung von Wasser oder bei der Rückführung von Abwasser in der deutschen Metallindustrie eingehalten werden müssen, keine nennenswerten Veränderungen durch Effizienztechniken.

Durch den Einsatz von Querschnittstechnologien zur Kälte- und Wärmeerzeugung ergibt sich mit Sicherheit eine Wirkung auf Wasser und Boden, auch wenn dies in der vorliegenden Literatur nicht Gegenstand weiterer Analysen ist. Beim Einsatz von Querschnittstechnologien wird z.B. Kühlwasser aus Gewässern entnommen und Abwärme wiederum Gewässern oder dem Boden nach dem Prozess zugeführt. Laut Aussage der Experten ist diese Wirkung aktuell nicht als Belastung einzustufen, weil diese Entnahmen und Rückführungen in die Umwelt in Deutschland reglementiert werden. Dennoch wurden sie von den Experten als leicht negativ (-) bewertet, da zu bedenken ist, dass eine breitere Diffusion solcher Technologien mit einer massiveren Nutzung der Umweltgüter Wasser und Boden örtlich problematisch werden könnte.

Artenvielfalt und Landschaft

Zur Wirkung von Effizienztechniken der Metallerzeugung auf dieses Umweltgut sind keine Hinweise in der hier vorliegenden Literatur zu finden. Die Experten bewerten die Wirkung als nicht relevant (0), denn selbst wenn z.B. in einem Stahlwerk eine effizientere Anlage installiert wird, findet keine äußere Veränderung im Sinne von einer Belastung oder Entlastung der Artenvielfalt und Landschaft statt.

Weder in der vorliegenden Literatur noch in den Experteninterviews wird eine relevante Wirkung von Querschnittstechnologien auf Artenvielfalt und Landschaft (0) benannt.

Gesundheit

Auch auf die Gesundheit sind keine Auswirkungen des Einsatzes von Effizienztechniken in der Metallerzeugung erkennbar. Der Ausstoß von Schadstoffemissionen und die Erzeugung von Lärm sind in Deutschland reglementiert, mit strengeren Vorschriften für Gebiete, wo dies besonders relevant ist, z.B. in der Nähe von Wohngebieten. Dies wurde von den Experten bestätigt und die Wirkung als nicht relevant (0) eingestuft.

Durch den Einsatz von Querschnittstechnologien ergeben sich laut Aussage der Experten nur positive (+) Wirkungen für die Gesundheit. Zum einen werden weniger Schadstoffe ausgestoßen, weil klassische Wärmeerzeuger weniger eingesetzt werden müssen, zum anderen sind Anlagen, die Querschnittstechnologien zur Wärmeerzeugung oder zur Kühlung einsetzen, besser abgekapselt als klassische Anlagen, so dass sie weniger Abwärme nach außen abgeben und die Wärmebelastung am Arbeitsplatz sinkt. Im industriellen Bereich, wo durch den Einsatz von Maschinen viel Wärme entsteht, ist dies eine wichtige Verbesserung für das Arbeitsklima.

Natürliche Ressourcen und Rohstoffe

Brenngase, die zur Stahlerzeugung im Hochofen notwendig sind, können durch Nebenprodukte ersetzt werden, die bei der Reduktion von Eisenerz im Hochofen entstehen, sogenannte Kuppelgase. Somit können Ressourcen wie Erdgas geschont werden (RWI 2010a). Bei den NE-Metalle spielt Recycling eine wichtige Rolle: die meisten Metalle lassen sich durch Recycling zurückgewinnen, wie z.B. Recyclingquoten von über 50% bei Kupfer und Aluminium zeigen (RWI 2010b, Stahl-Zentrum). Somit können Metallvorkommen durch den Ausbau von Sekundärproduktion geschont werden. Diese positive Wirkung von Effizienztechniken in der Metallerzeugung wurde von den Experten bestätigt (+).

Zusätzlich wird angemerkt, dass der Einsatz von erneuerbaren Energien bei der Stromproduktion, insbesondere für die NE-Metallerzeugung oder von Biomasse statt fossiler Energieträger bei der Fe-Metallerzeugung ebenfalls Potenziale birgt, um fossile Rohstoffvorkommen zu schonen. Allerdings kann dies hauptsächlich aus Kostengründen aktuell nicht massiv umgesetzt werden.

Eine direkte Wirkung auf natürliche Ressourcen und Rohstoffe wird in der hier vorliegenden Literatur durch den Einsatz von Querschnittstechnologien nicht thematisiert, aber die Experten bewerteten diese Wirkung dennoch als positiv (+), da durch Querschnittstechnologien Energie eingespart wird und somit weniger fossile Rohstoffe benötigt werden.

Fazit

Der Einsatz von Effizienztechniken in der Industrie weist im Wesentlichen positive Umweltwirkungen auf. Sowohl bei den Kernprozessen einer der energie- und materialintensivsten „klassischen“ Industrien (Metallerzeugung) als auch durch branchenübergreifende unterstützende Produktionsprozesse (Querschnittstechnologien) ergeben sich große Einsparpotenziale in Bezug auf Energie und oftmals direkt daraus folgend, CO₂-Emissionen. In der Metallerzeugung ergeben sich wesentliche Einsparungen hauptsächlich aus dem steigenden Anteil der Sekundärmetallerzeugung, sowohl bei Fe- als auch bei NE-Metallen. Die Rolle von Querschnittstechnologien bei Energieeinsparungen spielt in der Industrie in den letzten Jahren eine zunehmende Rolle, allerdings wird von den Experten betont, dass die Potenziale hier noch längst nicht ausgeschöpft sind. Laut ihrer Aussage muss hier ein „Umdenken“ stattfinden, da Unternehmen aktuell oftmals nur die hohen Investitionskosten in solche Querschnittstechnologien sehen und es an Glaubwürdigkeit der daraus folgenden Einsparpotenziale fehlt. Die Vorteile solcher Technologien im Sinne von Lebenszykluskosten sollten weiter betont und beworben werden.

Die Experten bewerten die Umweltwirkungen der in diesem Kapitel betrachteten Technologien als fast durchweg positiv, allerdings wurde in allen geführten Interviews angemerkt, dass der Haupttreiber für die Ausschöpfung dieser Effizienzpotenziale die steigenden Energiepreise sind. Durch Energieeinsparungen können besonders in der Industrie hohe Energiekosten von Seiten der Unternehmen eingespart werden, aber ein Bewusstsein über weitere Umweltwirkungen sei in dieser Branche kaum vorhanden. Mehr Transparenz zum Zusammenhang zwischen Diffusion von Effizienztechniken, kurzfristigen Einsparungen von Energiekosten, aber auch langfristigen Einsparungen allgemeiner Umweltkosten, wäre laut Einschätzung der Experten notwendig, um das Potenzial von Effizienztechniken voll auszuschöpfen.

3.2.5 Energieeffizienz von Gebäuden

Der Teilmarkt „Energieeffizienz von Gebäuden“ wurde für diese Betrachtung ausgewählt, da der Gebäudebereich ein Handlungsfeld mit großem Umweltentlastungspotenzial ist, insbesondere durch die Senkung des Ausstoßes klimaschädlicher THG und die Verbesserung von Energie- und Ressourceneffizienz (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.2.4). Gebäude verbrauchen in ihrer Betriebsphase aktuell in Deutschland ca. 40% der gesamten Endenergie und sie verursachen etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen. Deutschland hat sich deshalb im Bereich der energetischen Gebäudesanierung ambitionierte Ziele gesetzt: Bis 2020 sollen der Primärenergieverbrauch um 20% (bis 2050 um 80%) und der Wärmeenergiebedarf um 20% reduziert werden (BMWi/BMU 2010). Langfristig soll ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden, dessen verbleibender Energiebedarf durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann. Entsprechende Anforderungen werden durch die Einhaltung der Energieeinsparverordnung (EnEV) und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) beim Bau von neuen Gebäuden gestellt. Um langfristig das Ziel eines klimafreundlichen bzw. sogar klimaneutralen Gebäudebestands zu erreichen, stehen diese Aspekte aber im Wesentlichen bei der **energetischen Sanierung von Gebäuden** im Vordergrund. Der größte Anteil des deutschen Gebäudebestands wurde vor der 1. Wärmeschutzverordnung 1979 errichtet und meist noch nicht oder kaum energetisch saniert, sodass dort das größte Potenzial der Energieeinsparung liegt (VDI 2009).

Bei der Analyse dieses Submarktes werden die Umweltwirkungen der energetischen Gebäudesanierung betrachtet. Über die Gesamtbetrachtung dieses Submarkts hinaus wird nach Möglichkeit weiter nach folgenden Teilbereichen der energetischen Gebäudesanierung unterschieden: **Dämmung der Gebäudehülle, Wärmeversorgung und Gebäudeautomation.**

Die Umweltwirkungen der energetischen Gebäudesanierung werden hier für verschiedene Umweltgüter beschrieben und nach Möglichkeit (je nach Verfügbarkeit von Informationen in der Literatur und je nach Aussagen durch die Experten) für einzelne Technologien spezifiziert. Die Referenz-Technologie bei der Betrachtung des gesamten Submarkts „Energieeffizienz von Gebäuden“ ist „keine Sanierung“. Das bedeutet für die Betrachtung der Aspekte zur Dämmung der

Gebäudehülle, dass neue Dämmungsmöglichkeiten der Gebäudehülle durch anorganische, organisch synthetische und organisch natürliche Dämmstoffe hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen mit der Dämmung von nicht-sanierten Gebäuden verglichen werden. Bei der Betrachtung der Aspekte zur Wärmeversorgung werden dementsprechend neue Techniken (z.B. Wärmepumpen) bezüglich ihrer Umweltwirkungen mit dem aktuellen „Standardkessel“ (Erdgas-Brennwert-Kessel) verglichen. Die Umweltwirkungen der Gebäudeautomation werden mit der Referenz „keinen Einsatz“ verglichen.

Die Experten haben zuerst eine Einschätzung des Effektes einer energetischen Gebäudesanierung allgemein auf jedes Umweltgut gegeben. Anschließend sind sie näher auf die zu erwartenden Umweltwirkungen einzelner Technologien der Dämmung, der Wärmeversorgung und der Gebäudeautomation eingegangen. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind Umweltwirkungen bei der Gebäudeautomation hauptsächlich für das Umweltgut „Energie“ zu bewerten.

Klima

Wie bereits beschrieben, ist das zu erwartende Potenzial zur Senkung der THG-Emissionen durch energetische Gebäudesanierung groß. Eine Evaluation der KfW-Programme zur Förderung der energetischen Gebäudesanierung ermöglicht eine Schätzung der bisher erreichten CO₂-Minderungen. Inbegriffen sind hier sowohl Modernisierungen von ganzen Gebäuden zur Erreichung des „KfW-Effizienzhaus I00“-Standards oder Maßnahmenpakete bzw. Einzelmaßnahmen zur energieeffizienten Sanierung im Bereich Wärmeschutz, Fenster, Beleuchtung, Heizung und Raumluftechnik. Die THG-Minderungen entstanden vor allem aufgrund von reduzierten Emissionen der Energieträger durch den Einsatz energieeffizienter Techniken. Diese werden in CO₂-Äquivalenten gemessen und beinhalten die Vor-Ort-Emission in den Gebäuden sowie vorgelagerte Emissionen bei der Gewinnung, dem Transport und der Umwandlung der Energieträger. Eine Evaluationsstudie ergibt insgesamt eine CO₂-Reduktion von ca. 56% pro Jahr gegenüber dem unsanierten Zustand durch die geförderte energetische Sanierung von Gebäuden zwischen 2007 und 2010 (KfW 2011).

Speziell Heizungserneuerungen und Wärmeschutz (Dämmung der Gebäudehülle) spielen eine wichtige Rolle bei der Reduzierung der CO₂-Emissionen im Wohngebäudebestand, wie die Studie des Integrierten Klimaschutzprogramms in Hessen über den Zeitraum 2005 bis 2012 zeigt. Bei einer angenommenen energetischen Modernisierungsrate der Gebäudehülle nach EnEV-Standard von 0,75% pro Jahr und einer Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung um 0,5% pro Jahr in Bestandsgebäuden ist keine bedeutende Verringerung der CO₂-Emissionen möglich (ca. 1 Mio. t CO₂ pro Jahr). Lässt sich die energetische Modernisierungsrate der Gebäudehülle auf 2,5% pro Jahr, mit gegenüber der EnEV leicht erhöhten Dämmstoffstärken steigern, wären im gleichen Zeitraum CO₂-Minderungen von über 2 Mio. t pro Jahr möglich (INKLIM 2007).

Von den Experten wurde bestätigt, dass sich bei sanierten Gebäuden eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber dem unsanierten Zustand ergibt, so dass die allgemeine Umweltwirkung von energetischer Gebäudesanierung auf das Klima mit (++) bewertet wurde.

Wenn man die einzelnen Dämmstoffe betrachtet, die bei einer energetischen Gebäudesanierung eingesetzt werden können, ergeben sich hinsichtlich der CO₂-Emissionen allerdings Unterschiede. Eine Bewertung des Treibhauspotenzials über den Lebenszyklus von in Deutschland aktuell eingesetzten Dämmstoffen ergibt, dass anorganische Dämmstoffe (z.B. Mineralwollen) und organisch synthetische Dämmstoffe (z.B. Polyurethan, Expandiertes Polystyrol usw.) höhere Emissionen in CO₂-Äquivalenten für die Herstellung aufweisen als organisch natürliche Dämmstoffe (z.B. Zellulose, Hanf, Flachs usw.), unter denen manche sogar CO₂-neutral sind. Dies ist im Wesentlichen durch den unterschiedlichen Energieaufwand begründet, der zur Herstellung verschiedener Rohstoff-Typen notwendig ist (VDI Zentrum Ressourcen Effizienz und Klimaschutz, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft Schleswig-Holstein 2003).

Betrachtet man die Emissionen der Herstellungsphase zusammen mit den Emissionen, die durch den Einsatz neuer Dämmstoffe (aller drei Typen) in der Betriebsphase des Gebäudes eingespart werden können, bewerteten die Experten die Umweltwirkung der „Dämmung der Gebäudehülle“ für das Klima im Vergleich zu einem nicht-sanierten Gebäude insgesamt immer als positiv (+). Die Berücksichtigung unterschiedlich hoher Emissionen während der Herstellungsphase von Dämmstoffen könnte in der Bewertung durch die Unterscheidung zwischen einem positiven (+) Effekt für anorganische und organisch synthetische Dämmstoffe und einem sehr positiven (++) Effekt für organisch natürliche Dämmstoffe gespiegelt werden, die in Tabelle 12 allerdings aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht aufgeführt werden.

Die Wirkung von neuen Technologien der Wärmeversorgung (z.B. Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke, Solarthermiekollektoren) auf das Klima im Vergleich zur Wärmeversorgung mit einem „Standardkessel“ wurde von den Experten als positiv (+) bewertet. Allerdings kann dieser Effekt variieren, je nachdem welche Technologien in welcher Kombination eingesetzt werden. An dieser Stelle wird diesbezüglich die Technologie „Wärmepumpe“ tiefergehend betrachtet. CO₂-Emissionen durch Wärmepumpentechnologien sind in der Regel niedriger als Emissionen durch konventionelle Heizkessel und Heizofenanlagen. Da Wärmepumpen mit Strom betrieben werden, ist hier allerdings der zugrunde liegende Strommix ausschlaggebend. Wärmepumpen werden hauptsächlich im Winter eingesetzt, nach Aussage der Experten, wenn der Strommix am klimaschädlichsten ist, weil dieser aktuell nicht nur aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden kann. Dabei ist nach Aussage der Experten hier weiter zwischen Luft- und Erdreich-Wärmepumpen zu unterscheiden, da Luftwärmepumpen technologiebedingt im Winter weniger effizient sind als Erdreichwärmepumpen. Gegenüber einem „Standardkessel“ ermöglichen demzufolge laut Aussage der Experten nur Erdreichwärmepumpen eine wirkliche Reduktion von CO₂-Emissionen. Bei Wärmepumpen entstehen zudem Emissionen durch die Nutzung von Kältemitteln. Ozonschädigende Kältemittel wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind bereits seit 1995 verboten; heutzutage werden für Wärmepumpen z.B. Fluorkohlenwasserstoffe (F-Gase) genutzt, deren Einsatz in der EU durch die F-Gase-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments; EU 2006) stark reglementiert wird. Durch diese Regelungen und den stark Label-orientierten Markt in Europa (z.B. das EHPA-Q Label, EHPA) halten sich laut Aussage der Experten die Umweltwirkungen bei der Herstellung von Wärmepumpen in Grenzen. Eine Gefahr kommt allerdings vom asiatischen Markt, wo es keine vergleichbaren Regelungen oder Labels gibt und nicht wirklich kontrolliert werden kann, inwiefern klimaschädliche Chemikalien im Herstellungsprozess eingesetzt werden. Dies ist insbesondere beim Wachstum des Markts und angesichts der hohen Investitionskosten für Wärmepumpen bei steigender Konkurrenz preiswerterer Produkte vom asiatischen Markt zu berücksichtigen. Um diese potenziell negativen Umweltwirkungen bei der Herstellung im Ausland zu kennzeichnen, wird das entsprechende Feld in der Matrix dunkel hinterlegt.

Tabelle 12: Bewertung der Auswirkungen von Energieeffizienz von Gebäuden auf ausgewählte Umweltgüter

Umweltgut \ Technologie	Klima	Energie	Luft	Wasser		Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
				Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Energetische Gebäudesanierung allgemein	++	++	+	0	0	0	0	+	+	+	+
Dämmung der Gebäudehülle	+	+	-	-	-	-	0	+	+	+	-
Wärmeversorgung	+	+	+	0	-	-	0	0	0	0	0
Gebäudeautomation	0	++	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Referenz für alle Technologien: keine Sanierung.

Legende:

- ++/-- Starke Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
- +/- Leichte Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
- 0 Kein relevanter Effekt des Technologie auf das Umweltgut
-  Lokal negative Umweltwirkungen (in Abbauländern)
-  Lokal positive Umweltwirkungen (in Abbauländern)

Energie

Energieeinsparungen sind die Folge der Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden, die sich aus der energetischen Sanierung ergibt. In der Evaluation der KfW-Programme zur Förderung der energetischen Gebäudesanierung wird die Summe der Endenergie-Einsparung aller Energieträger abgeschätzt, die für die Infrastruktur des Gebäudes zur Beheizung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung und für raumlufttechnische Anlagen eingesetzt werden. Nach der Sanierung ergibt sich die höchste Reduktion des jährlichen Endenergiebedarfs bei Kohle (-100%), Heizöl (-85%), Gas und Strom (jeweils -56%) gegenüber dem unsanierten Zustand (KfW 2011). Die Experten bestätigten, dass sich bei sanierten Gebäuden eine deutliche Einsparung (++) des Energieverbrauchs gegenüber dem unsanierten Zustand ergibt.

Wie schon bei den Wirkungen der energetischen Gebäudesanierung auf das Klima, können die Wirkungen auf den Energieverbrauch je nach eingesetzten Dämmstoff-Typen unterschieden werden. Der Energieaufwand zur Herstellung anorganischer Rohstoffe und organisch synthetischer Rohstoffe ist im Gegensatz zum Energieaufwand zur Gewinnung organisch natürlicher Rohstoffe in der Regel sehr hoch. Wiederum ergeben sich bei der Verwendung der Dämmstoffe Unterschiede bei der Energieeinsparung, die je nach Dämmeigenschaften verschiedener Dämmstoffe variiert. Die Dämmwerte von Mineralwollen (anorganisch) weisen z.B. im Vergleich zu organisch natürlichen und organisch synthetischen Dämmstoffen niedrigere Dämmwerte auf. (VDI Zentrum Ressourcen Effizienz und Klimaschutz, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft Schleswig-Holstein 2003)

Bezüglich der Dämmung bewerteten die Experten die Energieeinsparung in der Betriebsphase durch die Dämmeigenschaften von allen Typen von „neuen“ Dämmstoffen im Vergleich zum unsanierten Zustand als positiv (+), auch wenn der Energieaufwand zur Herstellung verschiedener Typen von Dämmstoffen unterschiedlich hoch ist.

Betrachtet man die Wärmeversorgung, wurde der Energieverbrauch von neuen Technologien im Vergleich zum „Standardkessel“ im Allgemeinen von den Experten ebenfalls als positiv bewertet (+). Man kann z.B. im Falle der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bei Blockheizkraftwerken sagen, dass der Brennstoffeinsatz niedriger ist als bei einem herkömmlichen System der getrennten Wärme- und Stromerzeugung auf Basis von Erdgas und Steinkohle. Im Fall von Wärmepumpen ist der Einsatz von fossilen Energieträgern geringer als bei konventionellen fossilen Heizungen, allerdings gibt es eine Verschiebung zu mehr Stromverbrauch, der wiederum u.a. durch fossile Energieträger erzeugt wird.

Beim Einsatz von Technologien der Gebäudeautomation ergeben sich wesentliche Energieeinsparungen im Vergleich zum nicht-sanierten Zustand. Die Gebäudeautomation ermöglicht u.a. die zentrale Steuerung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen, durch die nicht genutzte Komponenten abgeschaltet oder an die Licht- und Temperaturverhältnisse angepasst werden können (z.B. automatisches Ausschalten der Heizung oder Abschirmung vor unerwünschter Wärme bei Sonneneinstrahlung) (BMU 2012). Die energieeinsparende Wirkung dieser Komponenten wurde von den Experten als sehr positiv (++) gegenüber dem nicht-automatisierten Einsatz von Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungstechnik sowie Beleuchtung in Gebäuden bewertet.

Luft

Eine positive Umweltwirkung der Energieeinsparung aufgrund der Sanierung von Gebäuden ergibt sich neben dem direkten Beitrag zum Klimaschutz durch die Reduzierung von THG-Emissionen (siehe Abschnitt zu Klima) durch eine Reduzierung weiterer Luftverunreinigungen wie Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Schwefeldioxid (Kleeman et al. 2003). Diese Wirkung wurde von den Experten als positiv (+) bewertet.

Für die Bewertung der Umweltwirkung auf die Luft muss allerdings der Herstellungsprozess von Dämmstoffen betrachtet werden, da bei diesem unter Umständen Schadstoffe freigesetzt werden. Dämmstoffe werden nicht immer in Deutschland hergestellt, so dass es schwierig ist, eine Bewertung der Umweltwirkung für die Luft abzugeben. Werden die Dämmstoffe im Ausland angebaut (im Fall von natürlichen Dämmstoffen) oder produziert (im Fall von synthetischen Dämmstoffen), ist davon auszugehen, dass in diesen Ländern auch eine negative Umweltwirkung entsteht. In Tabelle 12 wird aus diesem Grund der Effekt der Dämmung auf die Luft leicht negativ (-) bewertet und zusätzlich dunkel hinterlegt, um auf eventuell weitere negative Effekte hinzuweisen, die beim Anbau oder der Produktion von Dämmstoffen im Ausland entstehen können.

Die Wirkung der neuen Technologien der Wärmeversorgung auf die Luft wurde in der Regel von den Experten als positiv (+) bewertet, z.B. weisen Wärmepumpensysteme im Vergleich zu anderen konventionellen Heizsystemen teilwei-

se einen geringeren Ausstoß von NMVOC, NO_x und Staub auf (UBA 2011b). Dies liegt laut Aussage der Experten auch daran, dass für diese Technologien Filtersysteme notwendig sind und Schadstoffe dementsprechend nicht in die Luft gelangen.

Wasser und Boden

Allgemeine Aussagen zur Wirkung der energetischen Gebäudesanierung auf Wasser und Boden können nach dem aktuellen Kenntnisstand aus der Literatur und der Experten derzeit nicht getroffen werden (0).

Allerdings ermöglicht die spezifische Betrachtung der Umweltwirkungen von Dämmstoffen Aussagen zum Versauerungspotenzial von Gewässern und Boden. Durch den Herstellungsprozess mancher Dämmstoffe entstehen säurebildende Gase, die in Verbindung mit Wasser zur Versauerung von Gewässern und Boden beitragen können. Dies wird durch ein SO₂-Äquivalent (Schwefeldioxid) gemessen (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft Schleswig-Holstein 2003; MaRes 2010).

Die Experten bestätigen, dass bei der Herstellung von Dämmstoffen unter Umständen Gewässer und Böden verunreinigt werden können. Wie auch bei der Bewertung des Effekts auf die Luft gilt hier, dass es schwierig ist, eine Bewertung der Umweltwirkung für Wasser und Boden abzugeben, da die Dämmstoffe nicht immer in Deutschland hergestellt werden. Werden Dämmstoffe in Deutschland hergestellt, hält sich die Verunreinigung jedoch in Grenzen, da die Vorschriften zur Entsorgung von Abfällen bei der Herstellung sehr streng sind und somit das Versauerungspotenzial kontrolliert wird. Werden die Dämmstoffe in Ländern produziert, wo solche Vorschriften weniger streng sind, ist davon auszugehen, dass in diesen Ländern durch die Herstellung von Dämmstoffen eine negative Umweltwirkung entsteht. Wie auch für das Umweltgut „Luft“ wird dieser Effekt bei der Herstellung von Dämmstoffen auf Wasser und Boden wurde von den Experten leicht negativ (-) bewertet und zusätzlich dunkel hinterlegt, um auf potenziell weitere negative Effekte im Ausland hinzuweisen.

Ein Aspekt, der in Bezug auf Wasser und Boden von Experten genannt wird, betrifft die Technologie zur Wärmeversorgung durch Wärmepumpen. Da für Grundwasser-Wärmepumpen strenge Genehmigungen erlangt werden müssen, ist in Deutschland die Gefahr von Unfällen oder Verunreinigungen von Grundwasser bei solchen Eingriffen in tiefe Erdschichten nicht sehr hoch. Allerdings sollte diese Gefahr beim Ausbau dieser Technologie weiterhin streng beachtet werden, deshalb wird der Effekt als leicht negativ (-) bewertet. Zudem sind bei Geothermie auch geologische Veränderungen denkbar. Durch die Wärmepumpen-Technologie wird Wärme dem Erdreich entzogen, was mikrobiologische Veränderungen verursacht und eine Begrenzung für die Verbreitung dieser Technologie darstellt, da zu viele Wärmepumpen auf engem Raum nicht funktionsfähig wären. Dieser Effekt auf den Boden wurde von den Experten ebenfalls als leicht negativ (-) bewertet.

Landschaft

Energetische Sanierung trägt durch die ästhetische und technische Aufwertung von Altbauten zum Erhalt der bestehenden Bausubstanz und deren technischer Modernisierung bei. Dies leistet einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung (Kleeman et al. 2003).

Die Experten sprechen der energetischen Gebäudesanierung positive Effekte auf die Landschaft zu, da der Gebäudebestand durch technische Aufwertung weiter benutzt und bewahrt wird. Allerdings bleibt zu diskutieren, ob eine neue Ausstattung wie z.B. Solaranlagen auf Dächern oder weitere optische Veränderungen von Gebäuden eine ästhetische Aufwertung sind, somit wurde dieser Effekt mit Null (0) bewertet.

Speziellere Effekte auf die Umweltgüter „Artenvielfalt und Landschaft“ sind für die Dämmung der Gebäudehülle, die Wärmeversorgung und die Gebäudeautomation nicht erkennbar (0).

Gesundheit

Durch energetische Sanierung von Gebäuden ergeben sich in der Regel ein höherer Raumkomfort sowie weniger Lärm durch eine bessere Schalldämmung, was von den Experten gegenüber dem unsanierten Zustand als positiv (+) für die Gesundheit bewertet wurde.

Die Experten sehen auch speziell durch Dämmung insgesamt positive (+) Effekte für die Gesundheit. Zum einen steigt durch eine bessere Dämmung die Innentemperatur der Wand und es entstehen weniger Wärmebrücken, so dass sich weniger Schimmel bilden kann. Zu einer neuen Dämmung muss allerdings auch eine passende Lüftungstechnik geplant werden und der Verbraucher sollte ausreichend informiert werden, damit er sein Lüftungsverhalten den neuen Gegebenheiten des sanierten Gebäudes anpassen kann. Bei einer fachgerechten Ausführung der Dämmung (keine Wärmebrücken) und einem guten Lüftungsverhalten schätzen die Experten das Schimmelpilzrisiko viel niedriger ein als in einem nicht-sanierten Gebäude. Zum anderen wird durch eine gute Dämmung Lärm reduziert: durch den Einbau von Schallschutzfenstern kann die Schalldämmung im Vergleich zum nicht-sanierten Gebäude wesentlich verbessert werden. Dies hängt ebenfalls vom Dämmstoff-Typ ab: bei Verwendung eines schweren Dämmstoffs wird die Schalldämmung verbessert, bei Verwendung eines leichten Dämmstoffs wird diese unter Umständen auch leicht verschlechtert.

Weitere Effekte auf die Gesundheit sind für die Wärmeversorgung und die Gebäudeautomation nicht erkennbar (0).

Natürliche Ressourcen und Rohstoffe

Die Sanierung von bestehendem Gebäudebestand stellt den sparsamsten Umgang mit Ressourcen dar, da eine weitere Renovierung bestehender Gebäude in vielen Fällen wirtschaftlich und ökologisch günstiger ist als ein Abriss mit anschließendem Neubau. Zusätzlich kann durch Energieeinsparungen aufgrund der Sanierung eine große Reduzierung des Einsatzes fossiler Energieträger erreicht werden. (Kleeman et al. 2003)

Allgemein bestätigten die Experten, dass sich durch energetische Sanierung ein positiver (+) Effekt auf die Nutzung von natürlichen Ressourcen und Rohstoffen ergibt, da bereits genutzte Ressourcen neu verwendet werden können. Die Nutzungsdauer der verwendeten Baustoffe bei der Sanierung ist hier allerdings ausschlaggebend: je länger die Baustoffe genutzt werden können und nicht erneuert werden müssen, desto sparsamer ist der Umgang mit natürlichen Ressourcen und Rohstoffen bei der energetischen Gebäudesanierung zu bewerten. Ein weiterer Aspekt ist die Trennung von Baustoffen zum Recycling: Verbundbaustoffe werden mittlerweile soweit möglich vermieden, da die Recyclingmöglichkeiten für trennbare Baustoffe besser sind, so dass natürliche Ressourcen und Rohstoffe wiederbenutzt werden können.

Umweltwirkungen auf natürliche Ressourcen und Rohstoffe sind bei der spezifischen Betrachtung der Dämmung je nach Dämmstoff-Typ zu unterscheiden. Negative Wirkungen auf begrenzt verfügbare Rohstoffe ergeben sich insbesondere bei der Herstellung organisch synthetischer Dämmstoffe, da diese auf den Verbrauch fossiler Rohstoffe basiert und diese Dämmstoffe nur bedingt recycelbar sind. Anorganische und organisch natürliche Dämmstoffe sind hingegen gut wiederverwendbar und recycelbar (Umweltministerium S-H 2003).

Dieser Aspekt des Recycling bei Dämmstoffen wird ebenfalls von den Experten als relevant für die Bewertung der Umweltwirkung eingeschätzt. Organisch natürliche und anorganische Dämmstoffe sind gut wiederverwendbar und recycelbar, so dass sich in der Regel durch die Herstellung und die Nutzung dieser Dämmstoffe ein positiver Effekt (+) auf natürliche Ressourcen und Rohstoffe ergibt. Allerdings wurde der Effekt auf Rohstoffe aufgrund des Herstellungsprozesses und der Recycling-Eigenschaften organisch synthetischer Rohstoffe eher negativ (-) bewertet.

Weitere Effekte auf natürliche Ressourcen und Rohstoffe sind für die Wärmeversorgung und die Gebäudeautomation nicht erkennbar (0).

Fazit

Das Umweltentlastungspotenzial der Energieeffizienz von Gebäuden hängt im Wesentlichen mit der energetischen Sanierung des Gebäudebestands zusammen und bezieht sich hauptsächlich auf die Umweltgüter Klima und Energie. Durch energetische Sanierung können die CO₂-Emissionen und der Energiebedarf, die in der Betriebsphase von Gebäuden entstehen, deutlich reduziert werden. Da etwa drei Viertel des Altbaubestandes noch vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1979 errichtet wurde und kaum energetisch saniert wurde (BMWI/BMU 2010), wird das Umweltentlastungspotenzial zur CO₂- und Energieeinsparung von den Experten als sehr hoch eingeschätzt (ca. 80-90%).

Insgesamt wurden die Umweltwirkungen der betrachteten Technologien von den Experten fast immer als positiv bewertet. Die einzigen negativen Umweltwirkungen, die von den Experten konstatiert wurden, beziehen sich auf die Herstellungsphasen. Bei einer Verbreitung dieser Technologien, wie in den kommenden Jahren angestrebt, sollte dieser Aspekt jedoch berücksichtigt werden. Dies betrifft sowohl Umweltwirkungen des Abbaus von den benötigten Rohstoffen und

Ressourcen (z.B. zur Herstellung von Dämmstoffen) als auch die Umweltwirkungen, die durch den Einsatz von Chemikalien im Produktionsprozess entstehen können. Wenn diese Phasen des Herstellungsprozesses im Ausland stattfinden, kann es schwieriger sein, entsprechende Umweltwirkungen zu kontrollieren bzw. zu begrenzen.

Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, welche Technologie der Energieeffizienz von Gebäuden die größten Umweltentlastungspotenziale birgt, da es in diesem Bereich keine „Stand-alone-Technologie“ gibt: die Umweltwirkungen von einzelnen Technologien zur energetischen Gebäudesanierung können nur schwierig unabhängig voneinander betrachtet werden. Es können zwar potenzielle Umweltwirkungen einzelner Technologien bewertet werden, aber der Einsatz z.B. einer neuen Technologie zur Wärmeversorgung entfaltet ihre volle Effizienz im Sinne einer Reduktion von Emissionen, Energieeinsparungen und Verbesserungen des Raumklimas nur in Kombination mit einer Dämmung und einer Heizungsanlage, die auf den Bedarf des sanierten Gebäudes abgestimmt sind.

3.2.6 Stoffliche Abfallverwertung

Der Teilmarkt „stoffliche Abfallverwertung“, insbesondere von Metallen und Kunststoffen, wurde für diese Betrachtung ausgewählt, da dies ein Handlungsfeld mit großem Potenzial hinsichtlich der Senkung des Rohstoffverbrauchs und somit der diversen Umweltbelastungen ist, die durch die Primärgewinnung von Metallen und durch die Erzeugung von Kunststoffen entstehen. Prozesse der stofflichen Abfallverwertung leisten einen entscheidenden Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz, da sie in der Regel weniger Energie als Primärprozesse benötigen und die Möglichkeit bieten, wiederverwertbare Ressourcen in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen, die dadurch nicht „verloren“ gehen. Neben diesen ökologischen Gründen ist die stoffliche Abfallverwertung auch aus ökonomischen Gründen angesichts der steigenden und schwankenden Rohstoffpreise für ressourcenarme Industrieländer wie Deutschland strategisch wichtig (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.2.4). Sektoren, für die der Submarkt „stoffliche Abfallverwertung“ von strategischer Bedeutung ist, da sich daraus Alternativen bei der Beschaffung ergeben können, sind z.B. die Informations- und Kommunikationstechnik, der Fahrzeugbau oder die erneuerbaren Energien. In dieser Hinsicht steht dieser Submarkt auch im Zusammenhang mit den in den Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.3 betrachteten Submärkten „alternative Antriebe“, „erneuerbare Energien“ und „Speichertechnologien“.

Die mit Abfallverwertung verbundene ökologische und ökonomische Herausforderung hat Deutschland schon früh erkannt und durch seine Abfallgesetzgebung die „Abfallhierarchie“ – „Vermeidung; Vorbereitung zur Wiederverwendung; Recycling; sonstige Verwertung; Beseitigung“ – etabliert (Bundesgesetzblatt 2012 zur Umsetzung der Abfallrichtlinie der EU). Die stoffliche Abfallverwertung wird bei Berücksichtigung der Abfallhierarchie der energetischen Verwertung vorgezogen, weil diese ermöglicht, wiederverwertbare Rohstoffe aus Neben- und Abfallprodukten zu gewinnen und diese als Sekundärrohstoffe in den Kreislauf zurückzuführen, um Primärrohstoffe zu ersetzen. In Deutschland werden nach getrennter Sammlung und/oder nach Sortierung vornehmlich Eisen und Stahl, Blei, Kupfer, Zink, Aluminium, Glas, Papier und Pappe, Kunststoffe sowie Verbundstoffe recycelt (VDI 2009). Laut Aussage der befragten Experten ist Deutschland Vorreiter bei der stofflichen Abfallverwertung, da z.B. bei Papier und Glas bereits eine Recyclingquote von nahe 100% erreicht ist (Statistisches Bundesamt 2012c). Auch bei manchen Metallen funktioniert stoffliche Abfallverwertung recht gut, z.B. wird 60% des genutzten Kupfers recycelt (weltweiter Durchschnitt ist bei Kupfer nur 6%). Allerdings ist das Potenzial bei der stofflichen Abfallverwertung von Edelmetallen und seltenen Erden noch längst nicht ausgeschöpft. Die Experten schätzen, dass auch das Recycling-Potenzial aus der „gelben Tonne“ aktuell nur zu ca. 50% ausgeschöpft wird, weil der restliche „gelbe“ Abfall zu klein oder zu verschmutzt ist für eine stoffliche Verwertung. Auch über die mechanisch-biologische und thermische Abfallbehandlung von gemischten Restabfällen lassen sich Wertstoffe zurückgewinnen und stofflich verwerten. Eisen-Metalle, die in der Schlacke von Abfallverbrennungsanlagen enthalten sind, können schon heute bis nahezu 100% zurückgewonnen werden und dem Kreislauf wieder zugeführt werden (UBA 2010c). Bei NE-Metallen liegt die Rückgewinnungsquote bei etwa 50%. Ggf. wäre weiterer Forschungsbedarf notwendig um die Quote zu steigern. Zudem werden durch die Verbrennung Anhaftungen mit organischen Reststoffen weitestgehend beseitigt.

Da die Techniken zur stofflichen Abfallverwertung von Glas und Papier/Pappe bereits am Markt etabliert sind und diese Stoffe in Deutschland weitestgehend recycelt werden, konzentriert sich die Betrachtung in diesem Kapitel auf die Umweltwirkungen der **stofflichen Verwertung von Metallen und Kunststoffen**, wobei weiter zwischen der stofflichen Verwertung **von Eisen- und Nichteisen- (Fe- und NE-)Metallen** unterschieden wird. Die Umweltwirkungen der stoffli-

chen Abfallverwertung werden hier für verschiedene Umweltgüter beschrieben und nach Möglichkeit für einzelne Technologien (z.B. für einzelne Metalle) spezifiziert.

Eisen- und Nichteisen-Metalle: Für die Betrachtung der Submärkte „stoffliche Abfallverwertung“ von Fe- und NE-Metallen wurde von den Experten die Primärgewinnung von Fe- und NE-Metallen als Referenztechnologie definiert. Neben der stofflichen Abfallverwertung von Eisen und Stahl werden hier Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Aluminium betrachtet. Zusätzlich wurde von den Experten betont, dass über die Umweltentlastungspotenziale hinaus speziell die stoffliche Abfallverwertung von Metallen zur langfristigen Sicherung „kritischer Rohstoffe“ (wie z.B. Antimon, Cobalt, Seltene Erden usw.) für die deutsche Industrie strategisch wichtig ist. Der Hauptanteil der Produktion dieser kritischen Rohstoffe kommt aus China, Russland, der Demokratischen Republik Kongo und Brasilien (EC 2010). Die Nachfrage nach den oben genannten Metallen sowie nach diesen Rohstoffen in Deutschland wird vor allem in Anbetracht der raschen Entwicklung grüner Zukunftstechnologien in den kommenden Jahren weiter steigen. Bei der Betrachtung der Umweltwirkungen wäre nach Einschätzung der Experten eine weitere Unterscheidung nach Teilspektoren oder nach Verfahren der stofflichen Abfallverwertung (z.B. Gewinnung aus Elektroschrott oder aus Erzen) sinnvoll, allerdings liegen dazu kaum Daten vor, so dass in diesem Kapitel die Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung von Fe- und NE-Metallen allgemein betrachtet werden. Spezielle Daten zu Eisen-Metallen sind in der Literatur selten zu finden, deshalb wird im Folgenden auf Eisen-Metalle nur getrennt eingegangen, wenn es in der Bewertung oder in den Erklärungen der Experten einen Unterschied zu Nichteisen-Metallen gibt.

Kunststoffe: Für die Betrachtung des Submarkts „stoffliche Abfallverwertung“ von Kunststoffen wurde von den Experten die Primärherstellung von Kunststoff als Referenztechnologie definiert. Stoffliche Abfallverwertung von Kunststoff beinhaltet aktuell hauptsächlich das Recycling von Polyethylenterephthalat (PET)-Flaschen, High Density Polyethylen (HDPE) und Polystyrol (PS). Betrachtet man weitere komplexere Kunststoffe, kann nach Aussage der Experten auch ein Vergleich mit der thermischen Abfallverwertung von Kunststoff (Verbrennung) sinnvoll sein, da diese, außer bei PET-Flaschen, HDPE und PS, aktuell noch am meisten eingesetzt wird. Die stoffliche Abfallverwertung von Kunststoffen ist i.d.R. schwierig zu realisieren, da diese oft gemischte Stoffe sind, die für eine stoffliche Verwertung zuerst gespalten werden müssen. Die Verfahren zur Spaltung („Fraktion“) von komplexen Kunststoffen sind sehr energieaufwendig und verursachen oftmals mehr Emissionen als die thermische Verwertung. In Deutschland wurden 2011 43% der Kunststoff-Abfälle stofflich und 56% energetisch verwertet (Plastics Europe 2011).

Die Auswirkungen der stofflichen Abfallverwertung auf die betrachteten Umweltgüter werden von den Experten als durchweg positiv bewertet. Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei den anderen Submärkten dieses Berichts ergeben sich auch keine Effekte der Umweltentlastung in Deutschland, die zulasten der Umwelt in Abbauländern (Ausland) gehen (dunkle Markierungen, siehe Tabellen in den vorherigen Kapiteln). Technologien der stofflichen Abfallverwertung von Metallen und Kunststoffen ermöglichen im Gegenteil eine langfristige Umweltentlastung sowohl in Deutschland als theoretisch auch in Gebieten, in denen Metalle oder fossile Rohstoffe gewonnen werden. Die Vorteile ergeben sich zum einen daraus, dass Recyclingprozesse an sich meist weniger Energie als Primärprozesse verbrauchen und weniger Emissionen verursachen. Hinzu kommt, dass durch die stoffliche Abfallverwertung Sekundär-Metalle und -Kunststoffe in den Kreislauf zurückgeführt werden, so dass sich klare Vorteile in Bezug auf den Rohstoffverbrauch ergeben. Da viele Metalle und fossile Rohstoffe zur Produktion von Kunststoffen nicht in Deutschland gewonnen werden, ergibt sich aus der relativen Bewertung der Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung meist ein positiver Effekt in Deutschland, aber auch ein indirekter positiver Effekt in den Abbauländern. Für die Umweltgüter bei denen hauptsächlich dieser indirekte positive Umweltentlastungseffekt durch die Vermeidung von Primärgewinnung von Metallen und fossilen Rohstoffen (meist im Ausland) eine Rolle spielt, werden die Felder in Tabelle 13 durch eine schraffierte Markierung gekennzeichnet.

Tabelle 13: Bewertung der Auswirkungen von stofflicher Abfallverwertung auf ausgewählte Umweltgüter

Umweltgut	Klima	Energie	Luft	Wasser	Böden	falt &	Gesundheit	Resourcen	(abi-abio)
-----------	-------	---------	------	--------	-------	--------	------------	-----------	------------

Technologie				Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Stoffliche Abfallverwertung von Fe-Metallen (Eisen und Stahl)	++	+	+	0	0	0	+	+	0	+	++
Stoffliche Abfallverwertung von Ne-Metallen (Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Aluminium)	++	++	+	0	0	0	+	+	0	+	++
Stoffliche Abfallverwertung von Kunststoff (PET, HDPE und PS)	++	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+

Referenz für alle Technologien: Primärgewinnung, bzw. –Erzeugung.

Legende:	
++/--	Starke Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
+/-	Leichte Entlastung/Belastung des Umweltguts durch die Technologie
0	Kein relevanter Effekt des Technologie auf das Umweltgut
	Lokal negative Umweltwirkungen (in Abbauländern)
	Lokal positive Umweltwirkungen (in Abbauländern)

Klima

Zur stofflichen Abfallverwertung von Eisen-Metallen gibt es nur wenige Quellen in der Literatur. Dennoch wird in einer Studie die Wirkung auf das Klima eines Schachtofens von Thyssen Krupp („OxiCup Shaft Furnace“) bewertet, der Eisen aus mineralischen Abfällen zur Produktion von Roheisen nutzt (UBA 2007). Dafür wird ein Verfahren eingesetzt, dass die Gewinnung von hochwertigem Roheisen aus mineralischen Abfällen mit geringen Eisengehalten (eisenhaltigen Stäuben, Schrotten und Schlacken) ermöglicht. Durch die Nutzung des recycelten Eisens kann im Vergleich zur reinen Primärproduktion von Roheisen eine Senkung der CO₂-Emissionen um bis zu 200 000 t/Jahr erreicht werden (UBA 2007). Auch in den Experteninterviews wurde bestätigt, dass durch stoffliche Abfallverwertung im Vergleich zur Primärproduktion von Eisen eine signifikante Entlastung des Klimas erreicht werden kann, weshalb dieser Effekt als sehr positiv (++) bewertet wurde. Bei der Primärgewinnung von Eisen aus Eisenerz wird Kohlenstoff benötigt, um das Eisenerz zu reduzieren. Dieser fällt bei stofflicher Abfallverwertung von Eisen weg.

Bei den Nichteisen-Metallen wird allgemein festgestellt, dass die Gewinnung von Sekundärmetallen aus der stofflichen Abfallverwertung deutlich weniger THG-Emissionen verursacht als die Primärgewinnung. Bei Blei, Kupfer und Nickel wird dieser Vorteil etwas geringer, wenn der Metallgehalt in der verwerteten Abfallquelle sinkt, weil der Energieaufwand für die Aufbereitung von Abfällen mit geringerem Metallgehalt höher ist (UBA 2007). Von den Experten wurde die Entlastung des Klimas auch für Nichteisen-Metalle als sehr positiv (++) im Vergleich zur Primärgewinnung bewertet.

Nach Aussage der Experten ist ein Teil der Emissionseinsparungen durch stoffliche Abfallverwertung von Eisen- und Nichteisen-Metallen in Deutschland auch auf den wegfallenden Transport aus anderen Ländern zurückzuführen: Wenn eine Sekundärgewinnung vor Ort möglich ist, müssen weniger Eisen- und Nichteisen-Metalle aus dem Ausland importiert werden.

Die stoffliche Verwertung von Kunststoffen verringert den Ausstoß an THG im Vergleich zur Primärerzeugung erheblich. Der Unterschied zwischen stofflicher Abfallverwertung und thermischer Abfallverwertung ist allerdings weniger groß (Pilz et al. 2010). Dieser Effekt wurde von den Experten dennoch als sehr positiv bewertet (++), weil sich im

Vergleich zur Primärerzeugung durch die Verwertung von Kunststoffen immer eine deutliche Emissionseinsparung ergibt.

Energie

Bei allen Metallen (Eisen und Nichteisen) sind die Sekundärverfahren der stofflichen Abfallverwertung weniger energieintensiv als die Primärverfahren. Dabei kann man feststellen, dass die stoffliche Abfallverwertung von Chrom, Kupfer und Nickel die sehr energieintensive Aufbereitung der entsprechenden Erze substituiert (UBA 2007; Öko-Institut 2007) und somit die Energieeinsparung sehr groß ist. Bei Zink ist hingegen die Primärherstellung weniger energieaufwendig (UBA 2007). Die Experten bewerteten die Energieeinsparung, die durch stoffliche Abfallverwertung von Eisen- und Nichteisen-Metallen erzielt werden kann, als durchweg positiv (+ bis ++): laut ihrer Einschätzung wird eine Einsparung von Faktor 3 bis Faktor 10 erreicht, wobei sich die höchste Einsparung bei der stofflichen Abfallverwertung von Aluminium ergibt.

Die Steigerung der rückgewinnbaren Menge an NE-Metallen wird mit 17.000 Mg/a beziffert. Dies würde einem kumulierten Energieaufwand, d. h. einem für den Herstellungsprozess durch Nutzung von Primärenergieträgern erforderlichen Energieaufwand, als energetischen Beitrag durch Ressourcenschonung von ca. 50.000 MWh/a entsprechen (UBA 2010c).

Bei Kunststoffen ist die stoffliche Abfallverwertung nur bei nicht-gemischten Kunststoffen (PET, HDPE und PS) energetisch sinnvoll. Wenn eine Spaltung der Kunststoffe notwendig ist oder die stoffliche Verwertung hohe Materialverluste verursacht, ist eine thermische Verwertung energetisch sinnvoller (Pilz et al. 2010). Die Experten bestätigen dieses Ergebnis: die stoffliche Abfallverwertung der „einfachen“ Kunststoffe PET, HDPE und PS wurde als positiv im Vergleich zur Primärerzeugung und zur thermischen Verwertung bewertet (+).

Luft

Durch die stoffliche Abfallverwertung von Metallen entstehen Schadstoffe (NO_x, SO₂, NH₃ und NMVOC). Bei Kupfer, Nickel und Zink entstehen allerdings weitaus weniger Schadstoffe als bei der Primärgewinnung. Bei Blei ist dies auch der Fall, allerdings wird der Vorteil einer stofflichen Verwertung für die Luft geringer, wenn der Metallgehalt in der Abfallquelle sinkt, dies trifft besonders auf die SO₂-Emissionen zu (UBA 2007).

Laut Aussage der Experten entstehen bei der stofflichen Abfallverwertung von Eisen und Nichteisen-Metallen Stäube, die z.B. bei der Verwertung von Autoschrott eine Rauchgasreinigung erfordern. Von den Experten wurde der Schadstoffeintrag in die Luft durch stoffliche Verwertung von Eisen- und Nichteisen-Metallen im Vergleich zur Primärerzeugung dennoch insgesamt als positiv bewertet (+), da diese Schadstoffeinträge heutzutage in der Regel technisch gut begrenzt werden und entsprechende Anlagen in Deutschland strenge Grenzwerte einhalten müssen.

Die stoffliche Verwertung von Kunststoffen wurde von den Experten ebenfalls als positiv (+) im Vergleich zur Primärerzeugung bewertet. Auch wenn manche Schmelz-Vorgänge der stofflichen Verwertung Dämpfe verursachen, entstehen dabei trotzdem weniger Schadstoffe als bei der Primärerzeugung von Kunststoffen. Vergleicht man stoffliche und thermische Verwertung von Kunststoffen, ergibt sich kein wirklicher Vorteil einer Technik gegenüber der anderen, da Verbrennungsanlagen in Deutschland strenge Grenzwerte einhalten müssen, was beim heutigen Stand der Filter-Technik mit sehr geringem Aufwand verbunden ist.

Wasser und Boden

Die stoffliche Verwertung von Metallen, insbesondere von Blei, Kupfer, Nickel und Zink kann einen leicht negativen Effekt durch die Versauerung von Gewässern verursachen (UBA 2007). Die Experten sehen allerdings in der stofflichen Verwertung von Metallen in Deutschland keine direkte Bedrohung für Wasser und Boden und bewerten diesen Effekt als nicht relevant (0). Dennoch weisen die Experten auf einen leicht positiven indirekten Effekt (+) hin, der nur lokal in Abbaugebieten von Metallen relevant ist. Werden dort weniger Primärmetalle abgebaut, entstehen lokal weniger Emissionen, die dann durch Niederschlag in Gewässer und Boden gelangen können. Um auf diesen positiven lokalen Effekt hinzuweisen, der nur Abbaugebiete betrifft, wird das Feld schraffiert.

Von der stofflichen Verwertung von Kunststoffen werden auch keine direkten Wirkungen auf Wasser und Boden erwartet, deshalb wurde dieser Effekt von den Experten als nicht relevant bewertet (0). Die Experten weisen allerdings

wiederum auf einen leicht positiven Effekt (+) hin, der nur die Abbaugebiete von fossilen Rohstoffen betrifft und sich aus der Verminderung des Verschmutzungsrisikos im Meer (z.B. Ölpest im Golf von Mexiko 2012) oder anderen Ölfördergebieten ergibt. Dieser positive lokale Effekt wird durch Schraffur des entsprechenden Feldes gekennzeichnet.

Artenvielfalt und Landschaft

Ökobilanzielle Betrachtungen und Studien zu Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung von Eisen- und Nichteisen-Metallen ergeben, dass durch Recyclingprozesse bedeutende Eingriffe in die Landschaft verringert oder sogar verhindert werden können. Besonders die Primärgewinnung von Blei, Kupfer, Nickel und Zink ist mit bedeutender Flächenbeanspruchung verbunden (UBA 2007; Öko-Institut 2007). Diese Ergebnisse wurden von den befragten Experten bestätigt, die den Effekt von stofflicher Abfallverwertung im Vergleich zur Primärgewinnung als positiv (+) betrachten. Da dieser positive lokale Effekt laut Aussage der Experten zwar auch in Deutschland, aber besonders in ausländischen Abbaugebieten gilt, wo Landschaftszerstörungen bei der Metallgewinnung nicht zwingend strengen Gesetzen unterliegen, wird dieses Feld schraffiert. Ein Rückgang der Landschaftszerstörung hat auch in den Abbaugebieten lokal indirekt positive Auswirkungen auf Artenvielfalt, Wasser und Boden.

Durch stoffliche Abfallverwertung von Kunststoff gibt es quasi keine landschaftlich relevanten Umweltwirkungen (0). Von den Experten wurde allerdings auch hier ein leicht positiver (+) Effekt für die Abbaugebiete durch weniger Primärgewinnung von fossilen Rohstoffen angemerkt, z.B. durch Vermeidung der Auswirkungen auf Artenvielfalt und Landschaft durch Förderung fossiler Rohstoffe in Wüstengebieten oder im Meer. Um auf diesen positiven lokalen Effekt hinzuweisen, der nur Abbaugebiete betrifft, wird das Feld auch hier schraffiert.

Gesundheit

Stoffliche Abfallverwertung von Metallen ermöglicht in der Regel eine Entlastung der Schwermetall- und Dioxinmissionen. Lediglich bei Blei und Nickel werden durch die Sekundärgewinnung ebenfalls Schwermetall- und Dioxinmissionen verursacht. Bei den meisten anderen (Eisen- und Nichteisen-) Metallen sind diese Emissionen bei der Primärgewinnung deutlich höher als bei Recyclingprozessen (UBA 2007). Von den Experten wurde dieses Ergebnis bestätigt und als positiv (+) bewertet: für den Abbau von Metallen sind Cyanide und Quecksilber nötig und es werden Sulfide und andere Schwermetalle emittiert, die durch Recyclingprozesse verhindert werden können. Da dieser positive lokale Effekt laut Aussage der Experten zwar auch für Deutschland, aber besonders in ausländischen Abbaugebieten gilt, in denen die Primärgewinnung von Metallen nicht zwingend strengen Gesetzen bzgl. Schadstoffeinträgen in die Umwelt unterliegt, wird dieses Feld schraffiert.

Beim aktuellen Stand der Technik wurden Wirkungen der stofflichen Verwertung von Kunststoffen auf die Gesundheit von den Experten als nicht relevant eingestuft (0). In Abbaugebieten von fossilen Rohstoffen können wiederum Leckagen entstehen, z.B. durch undichte Pipelines bei der Ölförderung, die biologisch schwer abbaubare Schadstoffe freisetzen. Die Experten weisen deshalb auf einen leicht positiven (+) Effekt der stofflichen Verwertung hin, der lokal durch Vermeidung dieser Leckagen entsteht. Um auf diesen positiven lokalen Effekt hinzuweisen, der nur Abbaugebiete betrifft, wird das Feld auch hier schraffiert.

Lärm entsteht laut Aussage der Experten hauptsächlich bei der Förderung von fossilen Rohstoffen, allerdings kann man aufgrund der Lage dieser Fördergebiete (meist in Wüsten oder im Meer) nicht auf einen relevanten Effekt im Vergleich zur stofflichen Verwertung schließen. Der Effekt wurde sowohl bei Metallen als auch bei Kunststoffen als nicht relevant (0) bewertet.

Natürliche Ressourcen und Rohstoffe

Die Wirkung der stofflichen Verwertung von Metallen wird von den Experten für die Schonung von natürlichen Ressourcen und Rohstoffen als sehr positiv eingeschätzt (++). Durch die stoffliche Verwertung bleiben Metalle im Kreislauf sehr lange nutzbar, so dass die Metallvorkommen in Deutschland, aber vor allem auch im Ausland, geschont werden können. Ein indirekter Effekt ist ebenfalls, dass mehr Metallrecycling weniger Energie und somit wiederum weniger Rohstoffe wie z.B. Holzkohle in Abbaugebieten erfordert. Dies spielt z.B. in Brasilien eine wichtige Rolle, wo Regenwald zur Verarbeitung zu Holzkohle abgeholzt wird, um u.a. Minen zu betreiben, in denen Eisenerze verhüttet werden. Darüber hinaus könnte durch die Steigerung der Abfallverbrennung im europäischen Ausland mehr Metall in die Schla-

cke überführt werden und somit anschließend einfacher rückgewonnen werden. Die momentane Ablagerung von unbehandelten Abfällen verhindert ein effektives Recycling und steigert zudem die THG-Emissionen.

Die stoffliche Verwertung von klassischen (nicht-) Kunststoffen hat keine relevanten Wirkungen auf natürliche Ressourcen (0). Die Experten weisen allerdings darauf hin, dass durch das Recycling von Kunststoffen fossile Rohstoffe eingespart werden können, die Hauptbestandteil bei der Herstellung von Kunststoffen sind. Aus diesem Grund wurde dieser Effekt als leicht positiv (+) bewertet.

Fazit

Stoffliche Abfallverwertung weist nur positive Umweltwirkungen auf, weil durch das Recycling von Metallen und Kunststoffen hauptsächlich Energie eingespart werden kann und weniger Emissionen entstehen als bei einer Primärgewinnung. Dies gilt sowohl für Deutschland als auch für Abbaugelände von Metallen und fossilen Rohstoffen im Ausland. Stoffliche Recyclingverfahren sind über ihre Umweltentlastungspotenziale hinaus auch aus wirtschaftlicher Sicht strategisch zur langfristigen Absicherung der Industrie wichtig, da sie die Schonung begrenzter Ressourcenvorkommen in Deutschland ermöglichen und durch die Gewinnung von Sekundärrohstoffen die Abhängigkeit von Rohstoffimporten aus dem Ausland (und den damit verbundenen Preisschwankungen) abnimmt. Laut Einschätzung der Experten gibt es für diese Herausforderungen ein steigendes Bewusstsein in der deutschen Industrie.

Recyclingtechnologien sind in Deutschland nach Einschätzung der befragten Experten im internationalen Vergleich sehr fortgeschritten. Dies wird dadurch begründet, dass in der Abfallhierarchie gesetzlich festgelegt ist, dass stoffliche Verwertung immer – soweit energetisch und damit auch wirtschaftlich sinnvoll – der thermischen Verwertung vorzuziehen ist. Bei Metallen weist die Verwertung von kupfer- und nickelhaltigen Galvanikschlämmen eine besonders günstige Ökobilanz auf (Öko-Institut 2007), aber auch für andere Metalle wie z.B. Aluminium sind stoffliche Verwertungsverfahren in Deutschland schon recht verbreitet.

Die Rückgewinnung von Fe- und NE-Metallen aus der Schlacke von Abfallverbrennungsanlagen liefert schon heute einen hohen umweltentlastenden Beitrag zur Ressourcenschonung. Hier besteht aber noch Optimierungsbedarf, um die Rückgewinnungsquote von NE-Metallen zu steigern.

Bei Kunststoff sind die Trennverfahren zum Recycling komplexer Kunststoffe immer noch aufwendiger als eine thermische Verwertung. Die stoffliche Verwertung komplexer Kunststoffe wird sich deshalb erst lohnen, wenn fossile Rohstoffe zur Herstellung deutlich knapper und teurer werden. Damit hängt natürlich zusammen, dass aktuell die Verwertung von Kunststoffen technisch für qualitativ hochwertige Kunststoffe noch nicht möglich ist, wie sie in der deutschen Industrie gebraucht werden.

Auch in Schwellenländern ist man sich des wirtschaftlichen Potenzials, das in der stofflichen Verwertung insbesondere von Metallen steckt, bewusst. Länder wie China, Indien oder Brasilien brauchen zunehmend ihre eigenen Rohstoffe für ihre wirtschaftliche Entwicklung, so dass sich auch dort ein Markt für Recycling von Metallen und Rücknahmesysteme von Abfällen etabliert. Dort spielt zunächst weniger das „Consumerrecycling“ von Haushaltsabfällen eine Rolle, als das Recycling von Elektroschrott, der teilweise auch aus Industrieländern importiert wird.

3.3 Szenarioanalysen der Umweltwirkungen ausgewählter Technologielinien

Literaturauswertung und Experteninterviews haben sich auf die folgenden 6 Teilmärkte konzentriert:

- ▶ Alternative Antriebstechnologien (AA)
- ▶ Erneuerbare Energien (EE)
- ▶ Speichertechnologien
- ▶ Effizienztechniken im industriellen Sektor
- ▶ Energieeffizienz von Gebäuden
- ▶ Stoffliche Abfallverwertung

Diese Teilmärkte zeichnen sich durch ihre wachsende Bedeutung innerhalb der grünen Zukunftsmärkte aus und wurden bereits in Kapitel 2.2.2 detailliert beschrieben. In der Portfolioanalyse in Kapitel 2.2.4 Marktattraktivität und die Wett-

bewerbsposition Deutschlands für jede der Technologien herausgearbeitet. Gerade bei diesen Technologien, die sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf den weltweiten Märkten durchsetzen werden, ist eine Einordnung und Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen besonders wichtig.

Die Auswahl für die Szenarien zu den Umwelteffekten hat sich vor allem an der Quantifizierbarkeit orientiert. Speichertechnologien sind technologisch noch nicht so weit entwickelt, dass aus Literatur oder den Experteninterviews konkrete Szenarien herausgefiltert werden konnten. Für Energieeffizienztechniken in Industrie und im Gebäudebereich stellt sich das Problem, dass es sich um ein Bündel vieler (Querschnitts-) Technologien handelt. Eine hinreichende Quantifizierung für ein Szenario lieferten weder die Literatur noch die Experteninterviews. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf zur Entwicklung und Analyse von Szenarien der Welthandelsentwicklung für einzelne Technologien, weil die hohen Exportquoten deutscher Unternehmen in diesen Bereichen große Umweltentlastungseffekte (ausgelöst durch die deutschen Exportgüter in anderen Ländern) weltweit erwarten lassen.

In den Bereichen AA, EE und stoffliche Abfallverwertung liegen quantifizierbare Einsparziele bzw. Informationen über Einsparungen vor, weshalb in Abstimmung mit dem Auftraggeber hieraus die Bereiche AA und stoffliche Abfallverwertung für Szenarioanalysen ausgesucht wurden. Im Bereich EE dürften die Umweltentlastungseffekte deutscher Exporte groß sein. Bisher ist dieser Effekt in der Debatte um die EE-Förderung, die sich sehr stark auf Kosten, Arbeitsplätze und Umweltentlastung in Deutschland konzentriert, nicht thematisiert worden.

3.3.1 Alternative Antriebstechnologien

Der Teilmarkt „alternative Antriebstechnologien“ (AA) wurde aufgrund des weltweit steigenden Verkehrsaufkommens (einer möglichen Verdreifachung der Personenkilometer im Zeitraum 2000 bis 2050), welches zurzeit noch größtenteils auf fossilen Energieträgern basiert, ausgewählt (siehe Kapitel 2.2.2). In Deutschland ist der Verkehrssektor aktuell für etwa 20% aller energiebedingten THG-Emissionen verantwortlich, den überwiegenden Teil davon macht der motorisierte Individualverkehr aus. Es können vier Technologien, die im Teilmarkt alternative Antriebstechnologien betrachtet werden, unterschieden werden (vgl. 2.2.2).

Die Ergebnisse der Literaturanalyse und der Experteninterviews sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Danach haben einzelne Fahrzeuge mit alternativem Antrieb gegenüber einem vergleichbaren Fahrzeug mit Otto- oder Dieselmotor im Betrieb Vorteile beim Energieeinsatz und den damit verbundenen Emissionen sowie Gesundheitsbelastungen. Zusätzliche Umweltbelastungen treten dagegen vor allem durch die Herstellung der Batterien bzw. Brennstoffzellen auf, wobei ein Teil dieser Belastungen im Ausland anfällt.

Tabelle 14: Bewertung der Auswirkungen von AA auf ausgewählte Umweltgüter

Technologie \ Umweltgut	Umweltgut					Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Schadstoffe	Lärm		
Batterieelektrische Fahrzeuge	+	++	++	-	0	++	++	+	-
Brennstoffzellenfahrzeuge	+	-	++	-	0	++	++	+	-
Hybridfahrzeuge	+	+	+	-	0	+	+	+	-
Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge	+	+	+	-	0	+	+	+	-

Referenz für alle Technologien: Der herkömmliche Verbrennungsmotor.

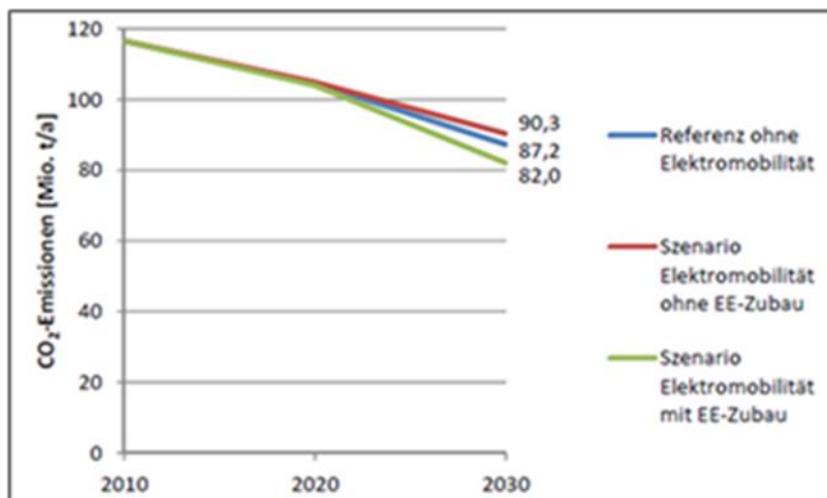
In einer Gesamtbetrachtung, etwa bzgl. der THG-Emissionen oder der Lärmbelastung spielen alternative Antriebe auf absehbare Zeit keine entscheidende Rolle (hierzu auch UBA 2013). Bisherige Studien zum Thema konzentrieren sich deshalb auf die Jahre 2020 und 2030, für die das Energiekonzept der Bundesregierung Mengenziele vorsieht. Im Jahr 2020 sollen 1 Mio. und im Jahr 2030 6 Mio. Elektrofahrzeuge (Pkw und leichte Nutzfahrzeuge) in Deutschland zugelassen sein (BMW, BMU 2010). Expertenschätzungen gehen zunehmend davon aus, dass zunächst ganz überwiegend Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) eingesetzt werden. So erwartete NPE (2011) noch, dass sich der Bestand der Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 zu 45% aus batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) und 50% Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) bzw. Elektrofahrzeugen mit Range Extender Lösungen (REEV) zusammensetzen. PHEV-Nutzfahrzeuge stellen die restlichen 5%. IFEU (2013) geht dagegen davon aus, dass im Jahr 2030 im moderaten Szenario rund 50% der Neuzulassungen Elektrofahrzeuge (EV) sind, wobei PHEV davon über 90% ausmachen werden. Der Bestand an EV könnte im Jahr 2030 über 9 Mio. Fahrzeuge erreichen. Damit wird für die nächsten Jahre mit Blick auf Tabelle 14 erwartet, dass sich die relativ weniger umweltfreundlichen AA zunächst durchsetzen werden.

3.3.1.1 Literaturanalyse

Zur Quantifizierung der Umweltwirkungen von alternativen Antrieben wurden in den letzten Jahren zahlreiche Studien durchgeführt. Da im Rahmen dieses Projektes speziell die Entwicklung der CO₂-Emissionen durch den Ausbau der Elektromobilität in Deutschland mithilfe des Modells PANTA RHEI quantifiziert wird, sind für einen Kurzüberblick die Studien interessant, die sich – wenn auch unter anderen Rahmenbedingungen – mit eben dieser Thematik beschäftigt haben. In den letzten Jahren erfolgte in den meisten Studien – wie auch in diesem Projekt – nicht nur eine fahrzeugseitige Betrachtung, sondern es wurden ebenfalls Interaktionen mit dem Energiemarkt berücksichtigt (Well-to-Wheel Ansatz²⁷ (WTW)). In zeitlich weiter zurückliegenden Studien wurde diese umfassende Betrachtung nur ansatzweise berücksichtigt, was bspw. auf eine mangelnde Datenverfügbarkeit zurückzuführen ist. Die Tatsache, dass Elektrofahrzeuge während des Betriebs keine CO₂-Emissionen ausstoßen, jedoch indirekt je nach Art des genutzten Stroms für die Emissionen von CO₂ (und weiteren Treibhausgasen und Schadstoffen) verantwortlich sind, macht deutlich, dass der WTW Ansatz geeigneter bei der Analyse der Emissionsentwicklung ist als ein Ansatz, der auf die Berücksichtigung mehrerer Prozessketten verzichtet (OPTUM 2011b).

Im Forschungsprojekt OPTUM (OPTUM 2011b) wurden die Umweltentlastungspotenziale der Elektromobilität dabei sowohl auf Ebene der Einzelfahrzeuge als auch auf der Ebene des gesamten Pkw-Bestandes analysiert, um zum einen Vergleich zwischen einzelnen Fahrzeugtypen hinsichtlich ihrer CO₂-Emissionen ziehen zu können und zum anderen, um das Emissionsminderungspotenzial des Bestands an Elektrofahrzeugen in Deutschland zu ermitteln. Um die zweite Fragestellung zu beantworten, wurden zwei Szenarien („Bestandsentwicklung ohne Elektromobilität“, „Substitution von herkömmlichen Fahrzeugen durch Elektrofahrzeuge“) bezogen auf Deutschland bis zum Jahr 2030 miteinander verglichen. Angenommen wurde dabei, dass im Szenario mit Substitution der Bestand an Elektrofahrzeugen bei knapp 400.000 im Jahr 2020 und 5.870.000 im Jahr 2030 liegt. Um dem WTW Ansatz Rechnung zu tragen, wurde für die CO₂-Bilanzierung das Szenario „Elektromobilität“ nach „Elektromobilität ohne EE Zubau“ und „Elektromobilität mit EE Zubau“ weiter differenziert. Die Szenarienvergleiche für das Beispiel eines Fahrzeugs in der Fahrzeugklasse „mittel“ zeigen, dass der durch den Ausbau der Elektromobilität intendierte Rückgang der CO₂-Emissionen nur erreicht wird, wenn der Strom zum Betrieb der Fahrzeuge aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird. Wie in Abbildung 9 dargestellt, liegen die CO₂-Emissionen bei der Nutzung des aktuellen deutschen Strommix sogar höher als die Emissionen der herkömmlichen Antriebe. Durch die verstärkte Nutzung der Elektromobilität im EE Szenario werden im Jahr 2020 im gesamten Pkw-Bestand 0,6 Mio. t (-0,6%) und im Jahr 2030 5,2 Mio. t CO₂ (-6,0%) eingespart werden, während die Emissionen im Strommixszenario im Jahr 2030 um 3,1 Mio. t CO₂ (+ 3,6%) ansteigen (OPTUM 2011b).

²⁷Weitere Bilanzierungsmethoden sind Tank-to-Wheel (TTW) und Well-to-Tank (WTT). Bei ersterer werden nur die Emissionen berücksichtigt, die bei der Fahrzeugnutzung anfallen und letztere umfassen die Emissionen, die bei der Bereitstellung des jeweiligen Energieträgers entstehen (EWI 2010).

Abbildung 9: CO₂-Emissionen des deutschen Pkw-Bestands in verschiedenen Szenarien im Forschungsprojekt OPTUM

Quelle: OPTUM (2011b)

Ein anderer interessanter Zusammenhang ist ebenfalls in Abbildung 9 erkennbar. Der allgemeine Trend hin zu weniger CO₂ des Pkw-Verkehrs verläuft weitgehend unabhängig vom Einsatz der Elektromobilität. Er wird durch die Effizienzverbesserungen bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren bestimmt.

In einer Studie des EWI (2010) wurden die zukünftigen Potenziale der Elektromobilität bis zum Jahr 2050 analysiert. Dazu wurden Szenarien entwickelt, die sich hinsichtlich der energiewirtschaftlichen Entwicklung (2) und des Marktanteils der Elektrofahrzeuge (3) unterscheiden und deren Kombination sechs Szenarien ergibt. Weiterhin wurden drei elektrische Fahrzeugtypen (viersitziges Fahrzeug der Kompaktklasse als reines Elektroauto und mit einem Plug-In-Hybridantrieb sowie ein zweisitziger Kleinwagen) definiert und mit entsprechenden Fahrzeugen mit einem Verbrennungsmotor als Referenz verglichen. Im Gegensatz zu der Untersuchung im Forschungsprojekt OPTUM kommt das EWI im Rahmen des WTW Ansatzes zu dem Ergebnis, dass Elektrofahrzeuge bereits heute eine bessere CO₂-Bilanz aufweisen als konventionelle Fahrzeuge. Dabei werden allerdings nur die Emissionen und Energieeinsätze berücksichtigt, die in den Vorketten in Deutschland auftreten.²⁸ Insgesamt beläuft sich bei Annahme einer CO₂-neutralen Integration²⁹ der Elektrofahrzeuge ins Energiesystem und einer Marktdurchdringung von 900.000 Elektroautos im Jahr 2020 eine mittelfristige Einsparung der CO₂-Emissionen des Pkw-Bestands auf rund 1,2 Mio.t CO₂ (-1,4%). Bei einer Marktdurchdringung von 5,1 Mio. EV im Jahr 2030 und 13,2 Mio.EV im Jahr 2050 liegen die Einsparungen bei rund 6,4 Mio.t (-7,6%) bzw. 15,5 Mio.t CO₂ (-22,2%). Diese Einsparungen beziehen sich jedoch nur auf Deutschland. Über die gesamte Prozesskette (Förderung und Transport der Primärenergieträger, Stromerzeugung, Fahrvorgang) betrachtet, erhöht sich die Einsparung sogar noch jeweils um 25% (EWI, 2010).

Eine noch umfassendere Analyse und Bewertung der Umwelteffekte der Elektromobilität wurde im Projekt UMBReLA (IFEU 2011b) unternommen, die den gesamten Lebensweg (inkl. Fahrzeugherstellung, Energiebereitstellung und Recycling) der Elektrofahrzeuge in die Untersuchung einbezieht. Die Basis für die Untersuchung bilden dabei umfangreiche Umweltbilanzen, die unter Anwendung des Ökobilanzmodells eLCAr (Electric Car LCA) für drei verschiedene Szenarien ermittelt werden. Die Szenarien unterscheiden sich in den Annahmen hinsichtlich der zukünftigen Fahrzeugherstellung, der Batterienentwicklung, Effizienzverbesserungen am Antrieb und dem Ausbau der erneuerbaren Energien. Das

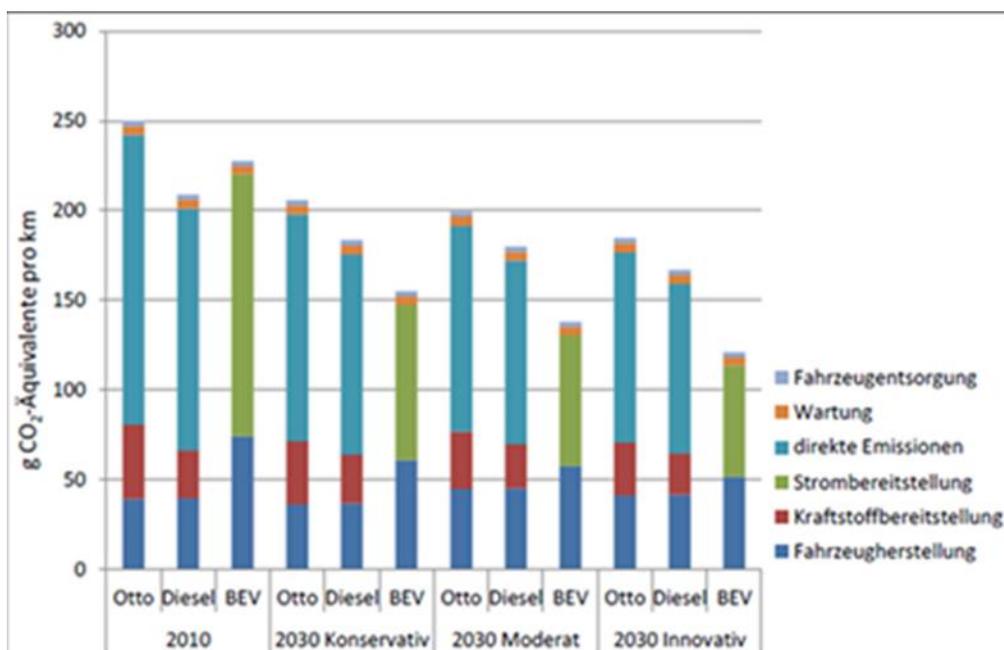
²⁸Gleiches gilt auch für die Untersuchung mit PANTA RHEI im Rahmen dieses Projektes. Detailliertere Informationen finden sich im nächsten Kapitel.

²⁹Trotz des Anstiegs in der Stromnachfrage bei Ausdehnung der Elektromobilität wird hierdurch kein Anstieg der Emissionen im Stromerzeugungsssektor ausgelöst. Stattdessen gehen die Emissionen des Verkehrssektors zurück. Obwohl diese Situation lediglich einen Idealfall darstellt, wurde sie in der Untersuchung gewählt, da sie Aufschluss über das höchste Einsparpotenzial gibt (EWI 2010).

Modell beinhaltet neben Modulen zur Fahrzeug-, Batterie-, und Brennstoffzellenherstellung ebenfalls Module, in denen sowohl die Nutzungsphase als auch die Energiebereitstellungsketten differenziert abgebildet werden. Datengrundlage für das Projekt waren neben der Datenbank EcoInvent auch verschiedene bis zum Jahr 2011 geförderte BMU-Projekte zur Elektromobilität. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass Elektrofahrzeuge bei der Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus eine ähnliche Klimabilanz wie der herkömmliche Verbrennungsmotor aufweisen, wenn sie den durchschnittlichen deutschen Strommix (des Jahres 2011) nutzen. Dies ist auf den hohen Energiebedarf bei Herstellung von Batterien zurückzuführen. Eine deutlich positivere Klimabilanz gegenüber konventionellen Antrieben ist bei der Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu verzeichnen. Abbildung 10 gibt einen Überblick über die im Projekt UMBReLA berechneten THG-Emissionen (neben CO₂ weitere Emissionen wie CH₄ N₂O u.a.) in den Szenarien für das Jahr 2030. Die THG-Emissionen pro km liegen dabei schon im konservativen Szenario um 25% bzw. 16% niedriger als bei dem Benzin- bzw. Dieselfahrzeug. Im innovativen Szenario liegen die Emissionen sogar um 34% bzw. 28% niedriger. Herauszustellen ist, dass sich die Zahlen auf die Emissionsentwicklung eines einzelnen „mittleren“ Fahrzeugs beziehen und nicht, wie in den anderen hier vorgestellten Studien, auf den Gesamtfuhrpark der Jahre 2020 und 2030 in Deutschland. Es wurde folglich nicht untersucht, wie sich die zukünftige Marktdurchdringung der Elektromobilität auf die Gesamtemissionen (des Verkehrssektors) in Deutschland auswirken, sondern wie sich die Emissionen eines Fahrzeugs in den drei verschiedenen Szenarien entwickeln.

Im UMBReLA – Projekt wurden die Effekte der Elektromobilität nicht nur nach Fahrzeugtypen untersucht (wie z.B. auch in EWI 2010, OPTUM 2011b), sondern es wurde darüber hinaus auch nach der Nutzung differenziert. Insbesondere im innerstädtischen Bereich ist die Effizienz von Elektrofahrzeugen deutlich höher als von herkömmlichen Fahrzeugen, der Vorteil nimmt hingegen bei Fahrten auf Autobahnen ab (IFEU 2011b).

Abbildung 10: Klimabilanz eines mittleren Otto-, Diesel- und BEV-Pkw im Jahr 2030



Quelle: IFEU (2011b)

Die jüngste Veröffentlichung des IFEU (2013) zum Flottenversuch Elektromobilität konkretisiert und bestätigt im Grundsatz frühere Analysen. Fahrzeugbezogen können EV deutlich niedrigere Emissionen aufweisen als herkömmliche Fahrzeuge. Der Gesamteffekt der Elektromobilität auf die CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs bleibt aber selbst bis 2030 begrenzt und hängt neben verschiedenen anderen Größen entscheidend vom zukünftigen Kraftwerkspark ab. Im Vergleich zur CO₂-Minderung zwischen 2010 und 2030 durch Effizienzverbesserungen beim Verbrennungsmotor bleibt der Klimaschutzbeitrag der EM gering. Die zusammenfassende Aussage des Berichts (IFEU 2013: 5), dass sich „insgesamt große Potenziale für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen des Verkehrs durch Plug-In-Hybride zeigen“, sollte wohl um den Zusatz „mit Blick auf das Jahr 2050 bzw. bei fast vollständiger Marktdurchdringung der EV“ ergänzt werden.

Analyseergebnisse hinsichtlich des CO₂-Einsparpotenzials von Elektromobilität finden sich auch in den „Politikszenerien VI“ (Öko-Institut et al. 2013). In dieser Untersuchung wurde die zukünftige Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen auf Basis verschiedener Szenarien umfassend analysiert und es wurden konkrete klima- und energiepolitische Maßnahmen bewertet. Untersucht werden ausgewählte Maßnahmen im „Aktuelle[n] Politikszenerario“ (APS) und im „Energiewendeszenario“ (EWS). Die Rahmendaten des Verkehrssektors für das APS stammen aus TREMOD³⁰, das wiederum auf aktuellen Prognosen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) aufbaut und um die Maßnahmen im Luftverkehr und zur Einführung der Elektromobilität ergänzt wird. Die WTW Analyse zeigt, dass die „Strategie Elektromobilität“ (1 Mio. Elektroautos im Jahr 2020) im APS einen THG-Emissionsminderungseffekt von 0,7 (2020) bzw. 4,5 (2030) Mio. t CO₂-Äquivalenten hat. Im Szenario EWS wird nicht von einem zusätzlichen Rückgang der CO₂-Emissionen durch Elektromobilität ausgegangen.³¹

Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse vier ausgewählter Studien zum Emissionsminderungspotenzial der Elektromobilität

Studie	2020		2030		Bemerkung
	Entwicklung CO ₂ -Emissionen	Marktdurchdringung	Entwicklung CO ₂ -Emissionen	Marktdurchdringung	
OPTUM	-0,6%	0,4 Mio.	+3,6 bis -6% je nach Szenario	5,9 Mio.	
EWI	-1,4%	0,9 Mio.	-7.6%	5,1 Mio.	
Politikszenerien VI	-0,7 Mio. t CO ₂ eq	1 Mio.	-4,5 Mio. t CO ₂ eq	6 Mio.	Rückgang THG-Emissionen durch Strategie Elektromobilität im APS
IFEU	-	-	16 - 34% je nach Szenario	-	Betrachtung gesamte THG-Emissionen für einzelne Fahrzeuge (Einsparung Elektroauto gegenüber Diesel- bzw. Benzinfahrzeug), keine Gesamtbetrachtung der Emissionsentwicklung in Deutschland

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der vier Studien aufgelistet. Trotz unterschiedlicher, aus den verschiedenen Betrachtungshorizonten resultierender Ergebnisse, wird deutlich, dass insbesondere mittel- und langfristig die Elektromobilität Potenzial zur Senkung der THG-Emissionen besitzt, unter der Voraussetzung, dass Strom aus erneuerbaren Energiequellen genutzt wird. Bei den IFEU-Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass das Minderungspotenzial für einzelne Fahrzeuge angegeben ist, das nicht mit den Ergebnissen der anderen Studien verglichen werden kann.

³⁰ Version 5.1, Aktualisierungen aus 5.24. Siehe dazu IFEU, 2010.

³¹ Die Entwicklungen im Bereich der CH₄ und N₂O spielen nur eine untergeordnete Rolle, da sie lediglich einen sehr geringen Anteil an den THG-Emissionen im Verkehrsbereich besitzen (2008 rund 0,8%).

3.3.1.2 Szenarien und Ergebnisse für alternative Antriebstechnologien

Für den Teilmarkt „alternative Antriebstechnologien“ wird untersucht, wie sich ein verstärkter Einsatz von Elektromobilität gemäß der Pläne der Bundesregierung bis zum Jahr 2030 auf zentrale Umweltgrößen auswirkt.

Szenarien

Dabei werden aufbauend auf den Erkenntnissen der Literaturanalyse fünf Szenarien in das umweltökonomische Modell PANTA RHEI (Modellbeschreibung s.u.) eingestellt, im Rahmen eines WTW Ansatzes Simulationsrechnungen bis zum Jahr 2030 durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Es wird die Szenariotechnik eingesetzt: Die Szenarien unterscheiden sich nur in wenigen zentralen Größen. Abweichungen anderer Parameter zwischen den Szenarien können auf die Änderungen der Stellgrößen zurückgeführt werden, immer unter der Annahme, dass das Modell die tatsächlichen Zusammenhänge auch zukünftig weitgehend abbilden kann.

Die fünf Szenarien sind wie folgt definiert:

Szenario Nische: Das Szenario orientiert sich an dem ambitionierten EWS-Szenario in Politikszenerarien VI (Öko-Institut et al. 2013), das die Ziele des Energiekonzepts erreicht und teilweise sogar übererfüllt. Nur im Bereich Elektromobilität wird unterstellt, dass sich z.B. durch fehlende staatliche Unterstützung beim Aufbau einer Ladeinfrastruktur oder bei Markteinführung oder dauerhaft sehr hoher Kosten der Batterieherstellung Elektrofahrzeuge nicht durchsetzen werden. Die Elektromobilitätsziele der Bundesregierung werden bis 2030 verfehlt. Auch in anderen Bereichen werden deutliche Energie- und Emissionseinsparungen realisiert, sodass sich die Referenztechnologien, d.h. die konventionellen Antriebsarten Otto- und Diesel-Pkw, im Zeitablauf deutlich verbessern.

Szenario EM-Ziel: Ausgehend von der Referenz wird ein Szenario definiert, dass sich nur durch die Zahl der Elektrofahrzeuge unterscheidet. Es unterstellt, dass auch hier die Ziele der Bundesregierung im Bereich Elektromobilität erreicht werden.

Szenario EM-Ziel mit zusätzlichem EE-Strom: Wie in Szenario EM-Ziel werden die Elektromobilitätsziele der Bundesregierung in den Jahren 2020 und 2030 erreicht. Da die Herkunft des eingesetzten Stroms als zentral für die Umweltwirkungen in bisherigen Analysen identifiziert wurde, wird angenommen, dass der für die EM benötigte Strom vollständig aus zusätzlichen erneuerbaren Energiequellen stammt.

Szenario EM ambitioniert: Wie in Szenario EM-Ziel wird das Elektromobilitätsziel der Bundesregierung im Jahr 2020 mit 1 Mio. EV erreicht. In Anlehnung an das Szenario „moderate Marktentwicklung“ nach IFEU (2013) beschleunigt sich danach die Marktdurchdringung mit EV sehr stark. Bis zum Jahr 2030 steigt die Zahl der EV in Deutschland auf über 9 Mio. Fahrzeuge an und erreicht bei den Neuzulassungen einen Anteil von rund 50%. Der Stromanteil bei den Fahrleistungen liegt im Jahr 2030 sogar um den Faktor 3,4 höher als im Szenario EM-Ziel. Hierfür ist entscheidend, dass es sich bei den EV ganz überwiegend um PHEV handelt, die je nach Verfügbarkeit von Ladestationen und Technologien stärker mit Benzin oder mehr mit Strom fahren.

Szenario EM ambitioniert mit zusätzlichem EE-Strom: Das Szenario entspricht dem Szenario EM ambitioniert mit dem Unterschied, dass angenommen wird, dass der gesamte zusätzlich benötigte Strom aus Erneuerbaren Energien bereitgestellt wird. Auch diese Annahme ist sehr ambitioniert, wie die detaillierte Betrachtung von IFEU (2013: 55ff.) verdeutlicht.

Zunächst werden für das EM-Ziel-Szenario wesentliche **Rahmenannahmen** und **Rahmendaten** vorgestellt, die Ausgangspunkt für die nachfolgende Differenzbetrachtung sind.

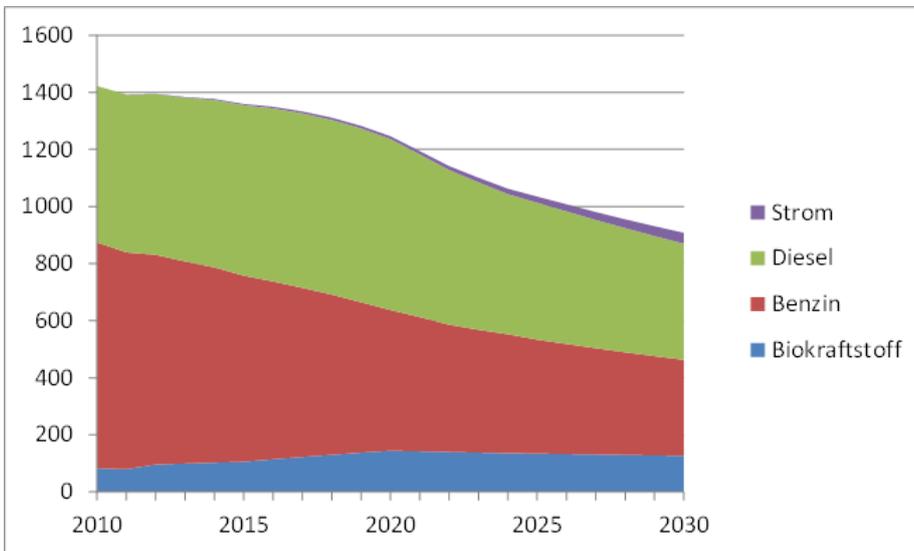
Ausgangspunkt ist das Energiewendeszenario der Politikszenerarien VI (Öko-Institut et al. 2013), das die Energie- und Klimaschutzziele der Bundesregierung bis 2020 bzw. 2030 erreicht und teilweise sogar übererfüllt. Das Szenario erfordert gegenüber dem aktuellen Stand der Politik deutlich weitergehende Politikmaßnahmen in den kommenden Jahren.

Der Endenergiebedarf aller Pkw sinkt in dem Szenario von heute rund 1400 PJ p.a. auf etwa 1250 PJ im Jahr 2020 und rund 900 PJ im Jahr 2030 ab. Dies ist insbesondere auch beachtlich, weil die Fahrleistungen gegenüber 2010 bis zum Jahr 2030 noch einmal um rund 15% steigen werden. Der Verbrauch der Diesel-Pkw nimmt bis 2020 gegenüber heute noch leicht zu, sinkt aber in den Folgejahren etwas. Dagegen geht der Benzinverbrauch im gesamten Zeitraum deutlich zurück. Dahinter stehen zum einen deutliche Effizienzsteigerungen bei konventionellen Antrieben, die durch die Vorgaben der EU getrieben werden. Von heute rund 7 l/100km geht der Durchschnittsverbrauch des Pkw-Bestands in eine Größenordnung von 4 l/100 km bis zum Jahr 2030 zurück. Zum anderen gewinnen Dieselfahrzeuge gegenüber Benzinern immer weiter Anteile. So wurden im Januar 2013 erstmals mehr Diesel-Pkw als Otto-Pkw in Deutschland zugelassen. Die Durchdringung des Bestandes mit Diesel-Pkw dauert bei durchschnittlichen Lebensdauern von 12 Jahren lange. Da zugleich die Fahrleistungen bei Diesel-Pkw deutlich höher sind als bei Otto-Pkw, übersteigt der Dieserverbrauch den Benzinverbrauch ab 2018.

Der geringe Anteil des Stromverbrauchs ist zunächst überraschend. Allerdings ist zu bedenken, dass aus heutiger Sicht vor allem Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV) in den kommenden Jahren in den Markt kommen werden, während reine Elektrofahrzeuge auf absehbare Zeit nur Nischen besetzen können. Aufgrund der geringen Reichweite der Fahrzeuge, wird auch die jährliche Fahrleistung der EV geringer ausfallen. Insgesamt ergibt sich ein Stromverbrauch der Elektrofahrzeuge in einer Größenordnung von 30 PJ im Jahr 2030. Abbildung II verdeutlicht, dass Strom auch im Jahr 2030

selbst unter der aus heutiger Sicht durchaus optimistischen Annahme, dass die Ziele der Bundesregierung in den Jahren 2020 und 2030 erreicht werden, nur einen kleinen Teil des Energiebedarfs des Pkw-Verkehrs decken wird.

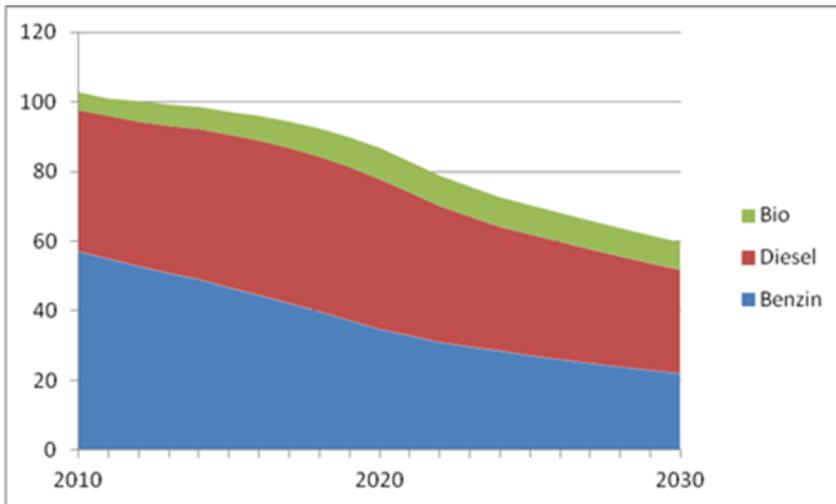
Abbildung 11: Endenergiebedarf des Pkw-Bestands im Szenario EM-Ziel in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen

Dahinter steht die Erwartung, dass die CO₂-Ziele der EU-Kommission bei Neuwagen auch erreicht werden, und dies langfristig auch den Kraftstoffbedarf des Bestandes weiter deutlich reduzieren wird. Ab 2020 wird unterstellt, dass Neuwagen mit Diesel- oder Ottomotor im Durchschnitt nur noch 85g CO₂/km tatsächlich emittieren. Bis 2030 sinkt dann auch der Durchschnittsverbrauch des konventionellen Bestandes in einer Größenordnung von 4l/100 km, was etwa 95 g CO₂/km entspricht.

Abbildung 12: CO₂-Emissionen des Pkw-Bestands im Szenario EM-Ziel in Mt

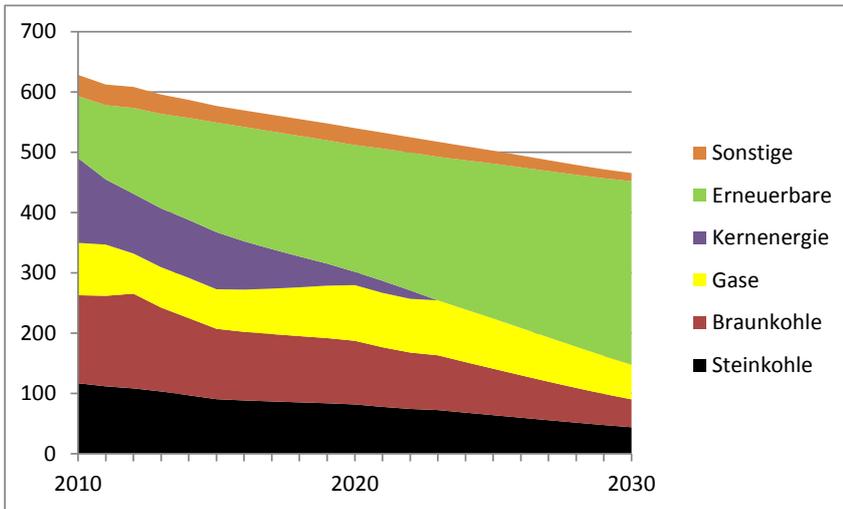


Quelle: Eigene Berechnungen

Mit den Verbräuchen und Emissionen pro Fahrzeug und Fahrzeugkilometer sinken auch die Gesamtemissionen des Pkw-Bestands bis 2030 von gut 100 Mt im Jahr 2010 über 87 Mt im Jahr 2020 auf 61 Mt im Jahr 2030. Insbesondere der Anteil des Benzins an den Emissionen sinkt, wie in

Abbildung 12 dargestellt, im gesamten Zeitraum stark ab. Bei Biokraftstoffen wird unterstellt, dass die (zugerechneten) Emissionen pro Liter im Zeitverlauf unverändert bleiben.

Abbildung 13: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern im Szenario EM-Ziel in TWh



Quelle: Eigene Berechnungen

Zugleich wird sich auch der deutsche Kraftwerkspark durch den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Verschärfung des EU-Caps im Emissionshandel in Zukunft deutlich verändern. Im EWS-Szenario sinkt zum einen der Stromverbrauch und damit die Erzeugung gegenüber heute deutlich, zum anderen wird der Ausbau der Erneuerbaren Energien weiter vorangetrieben und der Kernenergieausstieg bis 2022 endgültig vollzogen. Erneuerbare Energien liefern im Jahr 2030 damit rund 2/3 des gesamten Strombedarfs (gegenüber mindestens 50% im Energiekonzept der Bundesregierung). Kohle und Gas spielen nur noch eine untergeordnete Rolle (Abbildung 13).

Abbildung 14: Veränderung des Endenergieverbrauchs im Szenario EM-Ziel gegenüber dem Szenario Nische in PJ



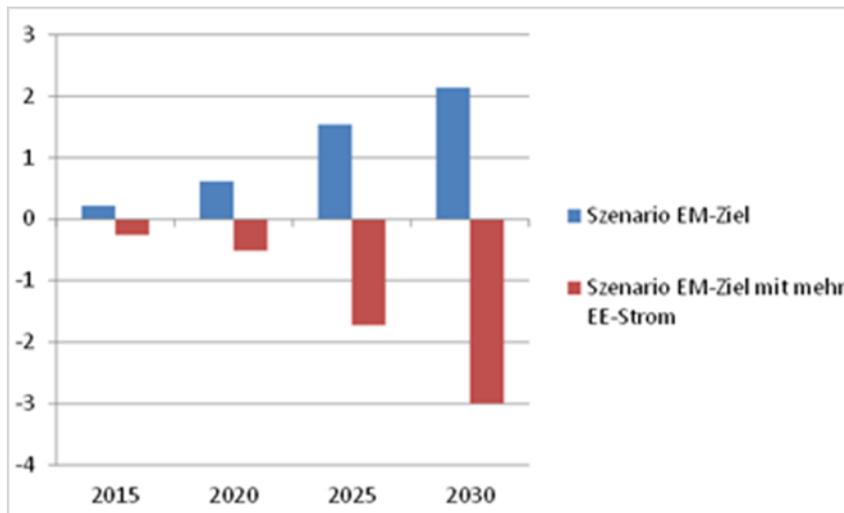
Quelle: Eigene Berechnungen

Ergebnisse: Szenario EM-Ziel versus Nische

Im Szenario Elektromobilität-Ziel nimmt der Stromeinsatz gegenüber dem Nischenszenario deutlich zu, wobei die Differenz im Jahr 2020 mit 6 PJ noch gering ist und danach bis 2030 sehr deutlich auf 32 PJ ansteigt (Abbildung 14).

Dahinter steht zum einen die Marktdurchdringung mit EV, die erst nach 2020 an Fahrt gewinnt. Zugleich ist zu bedenken, dass insbesondere in den kommenden Jahren Elektrofahrzeuge wegen der geringen Reichweiten deutlich niedrigere Jahresfahrleistungen aufweisen werden als konventionelle Fahrzeuge. Bei Hybridfahrzeugen wird am Anfang der Entwicklung der Benzinanteil bei den Fahrleistungen noch hoch sein und erst mit besseren Batterieleistungen und höheren Anteilen reiner Elektrofahrzeuge nach 2020 deutlich zurückgehen. Die EV verdrängen nahezu vollständig Dieselfahrzeuge, weil Hybridfahrzeuge auf Benzin angewiesen sind. Angesichts der steuerlichen Attraktivität von Dieselfahrzeugen gerade als Dienstwagen bei Vielfahrern ist dies nur vorstellbar, wenn der Bereich insgesamt rechtlich neu geregelt wird.

Abbildung 15: Veränderung der gesamten CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs im Szenario EM-Ziel gegenüber dem Szenario Nische in Mt CO₂



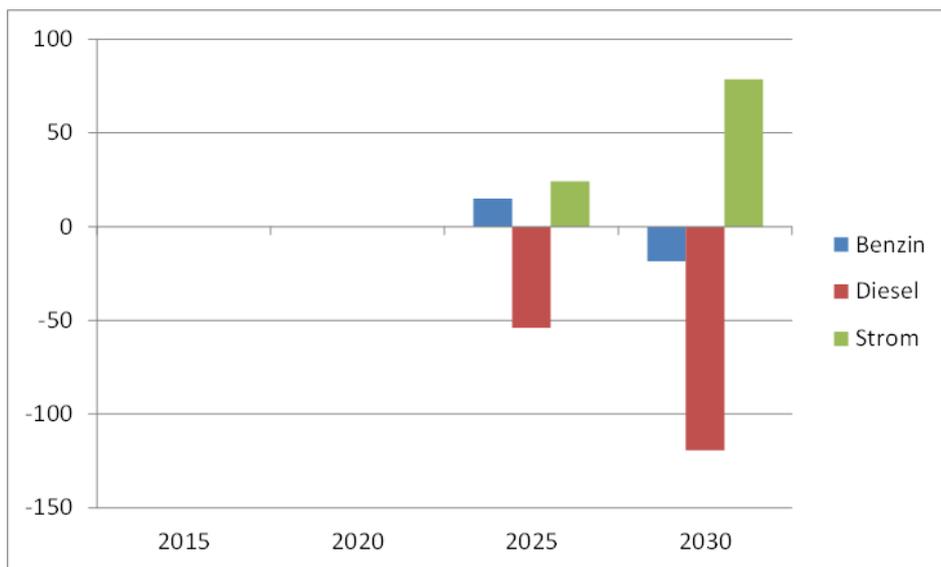
Quelle: Eigene Berechnungen

Für die Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen ist wichtig, mit welchem Energiemix die zusätzlich benötigte Strommenge erzeugt wird. Das Szenario EM stellt hier den Extremfall dar, dass die zusätzliche Strommenge komplett aus fossilen Kraftwerken stammt. Bei unveränderter Anzahl von EE-Anlagen stammt zusätzlicher Strom vor allem aus Gas- und Kohlekraftwerken. Allerdings sind die THG-Emissionen des Sektors in der EU insgesamt gedeckelt. Ein dadurch ausgelöster Anstieg des CO₂-Preises würde die möglicherweise höheren Emissionen in Deutschland anderswo in der EU ausgleichen. Zudem ist zu erwarten, dass zumindest ein Teil der zusätzlichen Strommenge aus bisher ungenutzter Stromproduktion, vor allem aus fluktuierenden EE-Quellen, stammt. Hierzu muss eine Gesamteinbindung der Elektromobilität in den Umbau des Energiesystems hin zu erneuerbaren Energien erfolgen, die auch zusätzliche EE-Produktion beinhalten wird. Im Szenario EM mit zusätzlichem EE-Strom wird vereinfacht angenommen, dass zusätzlicher on-shore Windstrom für die Batterieladung der EV genutzt wird, also keine zusätzlichen Emissionen bei der Stromerzeugung entstehen. Dies ist mit Blick auf die Veränderung der gesamten CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs einschließlich der notwendigen Stromerzeugung auch unbedingt notwendig, wenn die Elektromobilität einen Emissionsminderungsbeitrag leisten soll. Im Szenario EM-Ziel steigen die CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs im Vergleich zu Referenz sogar um gut 2 Mt bis zum Jahr 2030 an (gehen im Zeitverlauf absolut weniger stark zurück), weil die Emissionen der zusätzlichen (fossilen) Stromerzeugung bei Berücksichtigung auch der Verluste bis zur Batterie größer sind als die Einsparungen durch geringeren Dieserverbrauch (Abbildung 15). Dieser Punkt ist zentral für die Klimawirksamkeit der Elektromobilität. Der CO₂-Minderungsbeitrag ist in der mittleren Frist bis 2030 eher gering und dies auch nur, wenn die zusätzlich benötigte Strommenge vollständig oder zumindest weitestgehend aus Erneuerbaren Energien erzeugt wird.

Ergebnisse: Szenario EM ambitioniert versus EM-Ziel

Im Szenario EM ambitioniert nimmt der Stromeinsatz gegenüber dem Szenario EM-Ziel bis 2030 um fast 80 PJ zu. Die PHEV verdrängen nahezu vollständig Dieselfahrzeuge, weil Hybridfahrzeuge auf Benzin angewiesen sind.

Abbildung 16: Veränderung des Endenergieverbrauchs im Szenario EM ambitioniert gegenüber dem Szenario EM-Ziel in PJ

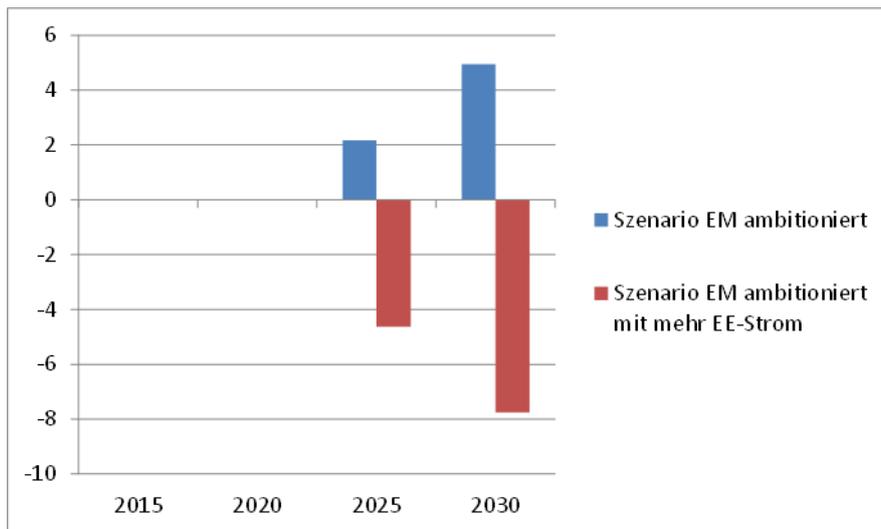


Quelle: Eigene Berechnungen

Für die Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen ist wie beim Vergleich oben zwischen den Szenarien EM-Ziel und Nische entscheidend, mit welchem Energiemix die zusätzlich benötigte Strommenge erzeugt wird. Das Szenario EM ambitioniert geht davon aus, dass zusätzlicher Strom aus bestehenden fossilen Kapazitäten bereitgestellt wird. Im Szenario EM ambitioniert mit mehr EE-Strom wird dagegen unterstellt, dass die zusätzlich benötigte Strommenge vollständig erneuerbar erzeugt wird, sei es durch neue Kapazitäten, sei es durch bessere Nutzung bestehender Erzeugung. Im aus Umweltsicht ungünstigen Fall EM ambitioniert, liegen die CO₂-Emissionen im Jahr 2030 sogar um etwa 5 Mt höher als im Szenario EM. Nur wenn der zusätzliche Strom im Szenario EM ambitioniert mit mehr EE-Strom vollständig aus Erneuerbaren Energien bzw. emissionsneutral produziert wird, liegen die Emissionen im Jahr 2030 um 7,8 Mt niedriger (Abbildung 17). Die tatsächliche Entwicklung dürfte zwischen beiden Extremfällen liegen und damit ebenfalls begrenzt bleiben.

Die Ergebnisse passen in ihrer Richtung und ihrer Größenordnung zu früheren Studien. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass das Modell PANTA RHEI produktionsbezogene Emissionen gemäß der international üblichen Systematik erfasst. Emissionen und Energieeinsätze, die in Vorketten auftreten, z.B. bei der Herstellung von Benzin und Diesel in deutschen Raffinerien, sind im Modellrahmen explizit berücksichtigt (WTW Ansatz). Für den Energieeinsatz zur Batterieherstellung, der in Deutschland anfällt, gilt dies nicht. Hierzu wäre eine umfassende Lebenszyklusanalyse (s. das Projekt UMBReLA) nötig, deren Durchführung allerdings über den Rahmen dieses Projektes hinausgeht.

Abbildung 17: Veränderung der gesamten CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs im Szenario EM ambitioniert gegenüber dem Szenario EE-Ziel in Mt CO₂



Quelle: Eigene Berechnungen

Weitere Umwelteffekte

Neben den THG-Emissionen, die Mensch und Umwelt durch die Verursachung des globalen Treibhauseffekts indirekt negativ beeinflussen, werden während des Fahrvorgangs mit konventionellen Fahrzeugen weitere Schadstoffe emittiert, die die menschliche Gesundheit und die Umwelt direkt schädigen. Zu diesen Stoffen gehören Partikel (Feinstaub, PM), Stickstoffdioxid (NO₂, zusammen mit Stickstoffmonoxid als NO_x bezeichnet), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC) und Schwefeldioxid (SO₂).

Der Fahrvorgang eines Elektrofahrzeugs (elektrischer Fahranteil) ist vollkommen emissionsfrei, so dass die Emissionen lokal auftretender Schadstoffe vermieden werden. Das EWI hat errechnet, dass bei einer Marktdurchdringung von 0,9 Mio. und 5,1 Mio. Elektrofahrzeugen in den Jahren 2020 und 2030 die in Tabelle 16 dargestellten Schadstoffemissionen aufgrund der Substitution konventioneller Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge eingespart werden.³² EWI (2010) prognostiziert Gesamtemissionen des Verkehrs im Jahr 2020 von rund 143 und 2030 von rund 140 Mt CO₂. Zwar liegen die Rückgänge im Jahr 2030 bezogen auf die gesamten Schadstoffemissionen des Jahres 2011 mit Ausnahme von Kohlenmonoxid (2%) unter 1%. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich die Emissionen tatsächlich schon in der Referenz weiter verringern werden, so dass die Minderungsbeiträge im Jahr 2030 durchaus signifikante Größenordnungen erreichen können.

Tabelle 16: Rückgang der Schadstoffe durch Elektrofahrzeuge in t pro Jahr

	2010	2020	2030
Kohlenstoffmonoxid (CO)	0	-9104	-50532
Stickstoffoxide (NO)	0	-1541	-8094
Kohlenwasserstoff (HC)	0	-910	-5053
Feinstaub	0	-62	-373

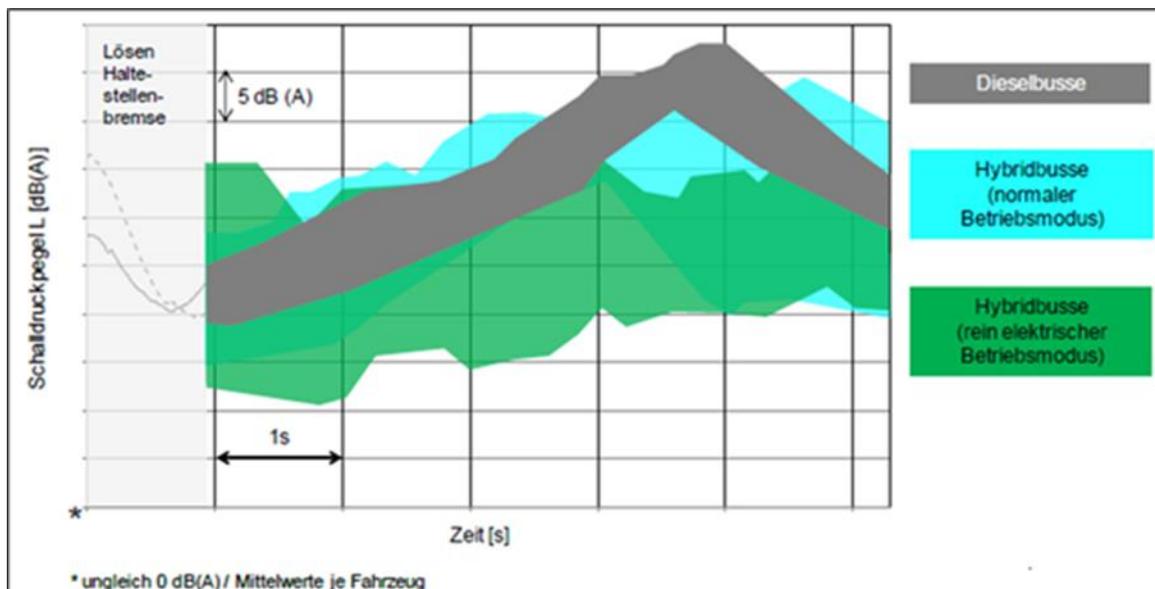
Quelle: EWI (2010)

³²Es wird dabei angenommen, dass die substituierten konventionellen Fahrzeuge der Euro 6 Abgasnorm genügen.

IFEU (2011b) betrachtet über die Studie EWI (2010) hinausgehend die Schadstoffemissionen der Elektromobilität über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Bei einem „mittleren“ Elektrofahrzeug ist die Versauerungswirkung aufgrund der Batterieherstellung noch deutlich höher als bei einem Benzin- oder Dieselfahrzeug, nimmt aber im Vergleich zu diesen in den Szenarien bis zum Jahr 2030 stärker ab. Die Eutrophierungswirkung ist im Jahr 2010 beim Elektrofahrzeug geringer als beim Diesel-, jedoch höher als beim Benzinfahrzeug. In den Szenarien wird sich auch dieser Schadstoff beim Elektrofahrzeug stärker verringern als bei den konventionellen Fahrzeugen. Elektrofahrzeuge tragen im Jahr 2030 deutlich weniger zur Eutrophierung bei als konventionelle Fahrzeuge. Lediglich die Feinstaubemissionen sind (trotz emissionsfreiem Fahrvorgang bei Elektrofahrzeugen) aufgrund der Batterieherstellung im Jahr 2010 deutlich höher als bei konventionellen Fahrzeugen. In den Szenarien ist zwar ein starker Rückgang der Feinstaubemissionen bei Elektrofahrzeugen zu beobachten, trotzdem liegen diese auch im Jahr 2030 noch höher als bei den konventionellen Fahrzeugen. IFEU (2013) aktualisieren und erweitern diese Analysen und weisen umfassend zu erwartende Umwelteffekte von EV aus.

Zu den verkehrsbedingten Emissionen zählt auch der Lärm, der aus dem Antrieb der Autos und den Reifengeräuschen auf der Fahrbahn resultiert. Da bei reinen Elektroautos der Antrieb durch den Elektromotor geräuschlos ist (bei Hybridfahrzeugen bezieht sich dies auf den Fahranteil, der mit dem Elektromotor zurückgelegt wird), wird neben der CO₂-Einsparung eine Geräuschreduktion im Straßenverkehr als positiver Effekt der Elektromobilität gewertet. In UBA (2013) wird analysiert, wie hoch dieser Lärminderungseffekt im gesamten Straßenverkehr in Deutschland sein wird. Es wird angenommen, dass von den 43 Mio. in Deutschland gemeldeten Pkw bis zum Jahr 2020 eine Mio. konventionelle Fahrzeuge durch Elektroautos ersetzt werden und dass diese dieselbe Fahrleistung wie die substituierten Fahrzeuge erzielen. Dies bedeutet, dass nur für rund zwei Prozent der Fahrzeuge auf den deutschen Straßen das Antriebsgeräusch entfällt. Eine Geräuschminderung im Straßenverkehr wäre unter diesen Annahmen nicht wahrnehmbar.

Abbildung 18: Lärmemissionen bei Haltestellenabfahrt unter Vollastbedingungen



Quelle: IAB (2011)

Ein großes Potenzial zur Lärminderung im Straßenverkehr wird Hybridbussen zugesprochen. Allerdings weisen Untersuchungen in ausgesuchten Modellregionen darauf hin, dass bei der Haltestellenabfahrt eines Hybridbusses nicht zwangsläufig weniger Geräusche emittiert werden als bei der Abfahrt eines vergleichbaren Dieselbusses (IAB 2011). In Abbildung 18 werden die Streubänder der Außengeräuschemissionen von Dieselbussen und Hybridbussen im normalen sowie im rein elektrischen Betriebsmodus bei einer Geschwindigkeit von 0 – 25 km/h dargestellt. In den ersten drei Sekunden nach Abfahrt emittieren die Hybridbusse im normalen Betriebsmodus mehr Geräusche als Dieselbusse und

sogar abfahrende Hybridbusse im rein elektrischen Betriebsmodus sind in den ersten Sekunden lauter als Dieselsebusse.³³ Zugleich gehen aber die Lärmspitzen zurück und auch der Lärm im Fahrgastraum nimmt leicht ab.

Ökonomische Effekte

Neben den Umwelteffekten können mit PANTA RHEI insbesondere gesamtwirtschaftliche Effekte und Beschäftigungseffekte energie- und umweltpolitischer Maßnahmen ermittelt werden. Dazu sind Annahmen zum einen über die Höhe notwendiger Investitionen in Elektromobilität notwendig, sei es in veränderte Fahrzeuge und Antriebe, sei es aber auch in öffentliche und private Ladestationen und die gesamte Infrastruktur. Verschiedene Studien wie EWI (2010) oder die Energieszenarien (Prognos, EWI, GWS 2010) gehen nicht davon aus, dass angesichts der unterstellten Neuzulassungen und der erwarteten Kostensenkungen bei den Antrieben die jährlichen Kosten- und Investitionsdifferenzen bis 2030 deutlich über eine Mrd. Euro hinausgehen werden. Im günstigsten Fall ergeben sich durch die Aktivitäten im Inland zusätzliche Beschäftigungseffekte von jährlich gut 5.000 Arbeitsplätzen. Wird unterstellt, dass die Kosten der EM vor allem von der Industrie und den Käufern in Deutschland getragen werden, ergeben sich eher leicht negative Beschäftigungseffekte.

Diese Ergebnisse stehen durchaus im Einklang mit Szenariobetrachtungen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE 2011: Anhang, 43–46). Demnach kommt dem Handeln der beteiligten Akteure, d.h. vor allem dem Staat und den Herstellern, eine entscheidende Bedeutung bzgl. der Arbeitsplatzeffekte zu. In einem „passiven Szenario“ besteht demnach das Risiko eines leichten Arbeitsplatzverlustes in Deutschland. Nur bei einer Frühförderstrategie, die auch eine deutliche staatliche Anschubfinanzierung und eine Zunahme der heimischen Wertschöpfung der Automobilindustrie unterstellt, ergeben sich positive Nettobeschäftigungseffekte in einer Größenordnung von gut 20.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen.

Bei Exportanteilen von über 70% spielt für die deutsche Autoindustrie vor allem die Entwicklung auf den internationalen Märkten eine Rolle. Sollte sich EM weltweit durchsetzen, wäre die Etablierung eines heimischen Marktes für die deutschen Autohersteller zentral, um international wettbewerbsfähig zu bleiben. Allerdings ist angesichts der Zulassungszahlen zu erwarten, dass die Entscheidung über die weitere Technologieentwicklung eher in Asien oder Nordamerika fällt als in Europa.

Unsicherheiten

Die Modellrechnungen und die Eintrittswahrscheinlichkeit der betrachteten Szenarien sind mit einer ganzen Reihe von Unsicherheiten behaftet, die bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind:

Das Modell PANTA RHEI erfasst produktionsbezogene Emissionen in Deutschland gemäß dem international üblichen Territorialprinzip. Emissionen und Energieeinsätze, die in Vorketten auftreten, z.B. bei der Herstellung von Benzin und Diesel in deutschen Raffinerien und beim Transport, sind im Modellrahmen explizit berücksichtigt. Für den Energieeinsatz zur Batterieherstellung, der in Deutschland anfällt, gilt dies nicht. Hierbei geht insbesondere IFEU (2011b) von hohen indirekten Emissionen der Batterieherstellung aus, die Elektrofahrzeuge aus Umweltsicht noch weniger attraktiv machen. Allerdings ist hier einzuschränken, dass die dort eingesetzte Lebenszyklusbetrachtung (LCA) auch viele Emissionen im Ausland beinhaltet, die in der deutschen Emissionsbilanz nicht auftauchen würden. Wenn z.B. eine Batterie aus Japan oder aus Frankreich eingesetzt würde, führt dies kaum zu höheren produktionsbezogenen CO₂-Emissionen in Deutschland (dem Klima ist diese Feinheit der Emissionsberichterstattung natürlich egal).

Eine große Unsicherheit stellt die mögliche Rückkopplung von Entwicklungen im Bereich Elektromobilität auf Effizienzfortschritte bei Otto- und Dieselfahrzeugen dar. Hierzu gibt es eine intensive Diskussion der Anrechnung von u.a. Elektrofahrzeugen („supercredits“) auf die Flotteneffizienzziele der EU. Wenn die Effizienzentwicklung bei konventionellen Antrieben durch die Elektromobilität nur geringfügig schwächer verläuft, werden dadurch alle möglichen Emissionsvorteile der EM aufgeessen. Da die Automobilindustrie kaum über einen längeren Zeitraum Forschung und Ent-

³³ Die Messungen der Außengeräusche erfolgten in NRW durch das ika Aachen. Es handelt sich um ein aufwändiges Verfahren mit Messfahrten ohne Fahrgäste und mit einem Fokus auf die Wahrnehmung durch Fahrgast/Passanten). Im Rahmen einer Umfrage wird darüber hinaus die Geräuschwahrnehmung als qualitative Abfrage erfasst. Die Messung erfolgt nicht nach gesetzlichen Normen (IAB 2011).

wicklung in beiden Bereichen gleichermaßen vorantreiben wird, ist davon auszugehen, dass die Entwicklung der EM auch Einfluss auf die Effizienzentwicklung herkömmlicher Verbrennungsmotoren haben wird.

Auch bei der Verwendung von Biokraftstoffen wäre denkbar, dass mehr Elektromobilität den Einsatz im Verkehrsbereich reduziert. Dies ist in den oben durchgeführten Simulationsrechnungen nicht unterstellt. Hierdurch würden sich ebenfalls die Klimaschutzeffekte der Elektromobilität reduzieren. Allerdings ist davon auszugehen, dass Biokraftstoffe auch verstärkt im Güter- und Flugverkehr benötigt werden, so dass die Annahme eines konstanten Biokraftstoffeinsatzes im Verkehrsbereich insgesamt und damit die Substitution von Diesel (und Benzin) durch Strom realistisch erscheint.

Umgekehrt ist auch denkbar, dass Elektromobilität das Fahrverhalten und die jährlichen Fahrleistungen der Nutzer verändert. Wenn sich das Verhalten an begrenzte Reichweiten anpasst und Fahrleistungen reduziert werden, z.B. weil die jederzeitige Verfügbarkeit des Pkw nicht mehr gegeben ist, könnte dies deutliche Energie- und Emissionseinsparereffekte zur Folge haben. In die andere Richtung gedacht, könnte Elektromobilität als Zweit- und Drittfahrzeug die Zahl der insgesamt produzierten Pkw erhöhen, was bei der Herstellung mit zusätzlichen Emissionen und Ressourceneinsatz verbunden wäre.

Schließlich ist weitgehend unklar, wie sich die Fahrtkosten pro Kilometer durch Elektromobilität dauerhaft verändern werden. Bei einem Strombedarf von 20 kWh/100 km liegen die Stromkosten bei einem Strompreis von 30 Cent/kWh bei sechs Euro pro 100 Kilometer. Für einen Diesel-Pkw, der 4 l/100 km benötigt, fallen bei 1,5 Euro/l ebenfalls sechs Euro pro 100 Kilometer an. Die Relationen verschieben sich deutlich zugunsten der EV, wenn der Strom günstiger bereitgestellt wird (etwa in Form von selbst produziertem PV-Strom, direkte Batterieaufladung am Windrad ohne Netznutzung etc.) oder Mineralöl deutlich teurer wird, sei es durch höhere Rohölpreise oder durch eine höhere Mineralölsteuer, die benötigt würde, um bei deutlich sinkendem Verbrauch das Steueraufkommen langfristig auch nur konstant zu halten. Umgekehrt könnte langfristig auch eine höhere Stromsteuer (bisher 2,05 Cent/kWh) auf Strom erhoben werden, der für Mobilitätszwecke genutzt wird. Sonst drohen Ausfälle bei den Energiesteuereinnahmen, weil die hoch besteuerten Einsätze von Benzin und Dieselkraftstoff zurückgehen werden.

Offen ist auch, wie sich die Strompreise insgesamt durch die Elektromobilität verändern werden. Wenn eine Verringerung von Leistungsverlusten durch EM z.B. niedrigere Strompreise für alle Stromkunden bewirken würden oder eine insgesamt höhere Stromnachfrage die Strompreise erhöht, wären dadurch ausgelöste Rückkopplungen sowohl auf Anbieter- als auch auf Nachfrageseite denkbar, die ihrerseits wieder Energieverbrauchs- und Emissionsänderungen auslösen könnten, die größer ausfallen könnten als die direkten Effekte der EM.

Mit Blick auf die CO₂-Emissionseffekte der EM kommt nach IFEU (2013: 63) auch der Höhe des CO₂-Zertifikatspreises eine entscheidende Rolle zu: „Liegt dieser noch unter der angenommenen Sensitivität von 45 € pro Tonne CO₂ ist ohne Zubau von Kraftwerken zur Erzeugung erneuerbaren Stroms auch eine negative Klimabilanz der Elektromobilität denkbar.“ Da in den hier durchgeführten Rechnungen mit PANTA RHEI in Anlehnung an Politikszenarien VI (Öko-Institut et al. 2013) von einem Zertifikatspreis von 30 EUR/t CO₂ im Jahr 2030 ausgegangen wird, besteht kein Widerspruch zwischen den Ergebnissen.

Im Hinblick auf die mit dem EM-Ausbau verbundenen Beschäftigungseffekte kommt der Förderstrategie und ihrer Verzahnung mit den FuE-Aktivitäten der Hersteller eine wichtige Bedeutung zu. Bisherige Modellierungen bilden diese Zusammenhänge nicht so gut ab, dass richtungssichere Aussagen zu den Beschäftigungseffekten möglich sind.

Bewertung

Mit Blick auf die hier untersuchte Frage der Umwelteffekte der EM lassen sich zwei wesentliche Aussagen festhalten: Klimaschutzwirkungen sind kurzfristig kaum und längerfristig nur in begrenztem Umfang zu erwarten. Kurzfristig sind die Durchdringungsraten des Pkw-Marktes mit EV einfach zu gering. Längerfristig stellt sich die Frage, ob die Integration der Elektromobilität in ein Energiekonzept gelingt, das auf Erneuerbaren Energien beruht und der zusätzlich benötigte Strom durch Erneuerbare Energien bereitgestellt wird.

3.3.2 Stoffliche Abfallverwertung

Der Teilmarkt „stoffliche Abfallverwertung“, insbesondere von Metallen und Kunststoffen, wurde für diese Betrachtung ausgewählt, da dies ein Handlungsfeld mit großem Potenzial hinsichtlich der Senkung des Rohstoffverbrauchs und so-

mit der diversen Umweltbelastungen ist, die durch die Primärgewinnung von Metallen und durch die Erzeugung von Kunststoffen entstehen. Prozesse der stofflichen Abfallverwertung leisten einen entscheidenden Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz, da sie in der Regel weniger Energie als Primärprozesse benötigen und die Möglichkeit bieten, wiederverwertbare Ressourcen in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen, die dadurch nicht „verloren“ gehen.

Tabelle 17 fasst die Effekte der stofflichen Abfallverwertung auf die verschiedenen Umweltgüter zusammen. Diese sind positiv, sofern es einen relevanten Effekt gibt. Am stärksten positiv sind die Effekte auf die Umweltgüter Klima und abiotische Rohstoffe, daher wurden diese für die nähere Analyse ausgewählt. Aufgrund der Datenlage wird nur die stoffliche Abfallverwertung von Metallen, nicht die von Kunststoffen, betrachtet. Die Grundidee der Analyse ist zu zeigen, welche Umweltentlastungseffekte aufgrund der stofflichen Abfallverwertung von Metallen in Deutschland global auftreten. Die stoffliche Verwertung von Altmetallen trägt dazu bei, dass weniger Rohmetalle benötigt werden und der Energieeinsatz bei der Wiederverwertung deutlich geringer ist. Um die Effekte der derzeitigen Abfallverwertung zu berechnen, wird ein Szenario berechnet, in dem es keine Abfallverwertung gibt, d.h. Metalle ausschließlich aus Rohmaterialien erzeugt werden.

Tabelle 17: Bewertung der Auswirkungen von stofflicher Abfallverwertung auf ausgewählte Umweltgüter

Umweltgut \ Technologie	Klima	Energie	Luft	Wasser		Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
				Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Stoffliche Abfallverwertung von Fe-Metallen (Eisen und Stahl)	++	+	+	0	0	0	+	+	0	+	++
Stoffliche Abfallverwertung von Ne-Metallen (Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Aluminium)	++	++	+	0	0	0	+	+	0	+	++
Stoffliche Abfallverwertung von Kunststoff (PET, HDPE und PS)	++	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+

Referenz für alle Technologien: Primärgewinnung- bzw. –Erzeugung.

Als Beispiel dient die Stahlerzeugung, weil sie zum einen in den zugrundeliegenden Daten separat erfasst wird und zum anderen eine große Rolle mit Blick auf Extraktion und Energieeinsatz spielt. Bei der Stahlerzeugung lassen sich zwei verschiedene Techniken unterscheiden: Erstens die Oxygenstahlerzeugung, die im Hochofen größtenteils aus Roheisen und unter Einsatz von Steinkohlenkoks und Steinkohle erfolgt und zweitens die Elektrostahlerzeugung, in der hauptsächlich Schrott unter Verwendung von Strom verarbeitet wird. Die Produktion ist sehr kapitalintensiv. In Deutschland wird überwiegend Oxygenstahl produziert, das etwa 2/3 der Stahlproduktion ausmacht.

Um die Effekte der Verwertung von Schrott in Deutschland zu bestimmen, wird ein fiktives Szenario „keine Abfallverwertung“ unterstellt. Für das Szenario wird angenommen, dass Stahl nur mit dem Oxygenverfahren (ohne Schrottanteil) erzeugt wird. Der Vergleich mit der tatsächlichen Entwicklung zeigt dann auf, welche Einsparungen an Primärrohstoffen und Emissionen weltweit durch die Wiederverwertung in Deutschland erzielt werden. Die Ergebnisse werden nach Ländern aufgeschlüsselt.

3.3.2.1 Kurzbeschreibung GRAM

Die Berechnungen werden mit dem Global Resource Accounting Model (GRAM) durchgeführt. GRAM ist ein multi-regionales Input-Output (MRIO) Modell, welches 53 Länder und zwei Regionen (OPEC und den Rest der Welt) sowie 48 Wirtschaftszweige (analog zu der Klassifizierung in den OECD Input-Output Tabellen, s. Tabelle 27) pro Land bzw. Region abdeckt. Eine kurze Beschreibung von GRAM ist in

Anhang 4 und eine detaillierte Beschreibung des GRAM Modells und seiner Anwendungen sowie der multi-regionalen Input-Output Analyse allgemein sind in Murray und Lenzen (2013) zu finden.

Im Vergleich zu den anderen Modellen der GWS ist GRAM kein dynamisches Simulations- und Projektionsmodell, sondern ermöglicht die statische Berechnung von konsumbasierten Emissionen bzw. Materialrucksäcken. Emissionsdaten und Materialverbrauchsdaten werden in öffentlichen Statistiken basierend auf dem Produktions- bzw. Territorialkonzept ausgewiesen. Das bedeutet, dass einem Land die Emissionen/der Materialverbrauch zugerechnet werden, die/der während der Produktion von Gütern und Dienstleistungen in diesem Land entstehen. Das Konzept produktionsbasierter oder territorialer Emissionen ist auch Grundlage der internationalen Klimaschutzberichterstattung, auf die sich u.a. auch internationale Vereinbarungen, wie z.B. das Kyoto Protokoll beziehen. Ein Beispiel für den Unterschied zwischen der produktionsbezogenen und der konsumbezogenen Berechnung von Emissionen ist in

Anhang 4 zu finden. Mit Hilfe globaler MRIO Modelle kann aus diesen produktionsbezogenen Emissions-/Materialverbrauchsdaten berechnet werden, wie viele Emissionen/welche Materialrucksäcke entlang der Produktionsketten der Güter entstehen, die in einem Land konsumiert werden, sog. ökologische Fußabdrücke. Nach Wiedmann et al. (2011) sind globale MRIO Modelle mittlerweile Standardanalysetools für die Berechnung von ökologischen Fußabdrücken auf nationaler Ebene.

Es gibt im Wesentlichen zwei verschiedene Ansätze zur Berechnung von ökologischen Fußabdrücken, zum einen auf nationaler Ebene MRIO Modelle (ein top-down Ansatz) und zum anderen die produktspezifische Life-Cycle Analyse (LCA) (ein bottom-up Ansatz). Beide Methoden berechnen die Umwelteffekte vorgelagerter, auch internationaler, Produktionsketten. Die beiden Ansätze unterscheiden sich im Wesentlichen durch Detailgrad, Systemgrenzen und räumliche sowie zeitliche Auflösung. LCA basiert auf Produktionsprozessdaten der einzelnen Produktkomponenten und ist damit sehr datenintensiv. Die Daten sind detailliert und in physischen Einheiten verfügbar (z.B. GEMIS³⁴, ECOINVENT³⁵ oder die U.S. LCI Database³⁶). Einzelne Vorprodukte und deren Herstellungstechniken können auch über Ländergrenzen hinweg verfolgt werden, allerdings wird es ab einer bestimmten Vorkettentiefe zunehmend schwieriger, jede Komponente zurückzuverfolgen und die Umwelteffekte des Herstellungsprozesses mit dem richtigen Anteil dieser Komponente zuzuordnen. Das zieht zwangsläufig ein Abschneiden der Vorleistungskette mit sich. Die supply chain wird nur wenige Stufen zurückverfolgt, weil auch die Unternehmen meist keine Informationen mehr über die Lieferanten der Lieferanten haben. Des Weiteren werden meist bereits auf der ersten Vorleistungsebene die scheinbar weniger wichtigen Komponenten nicht beachtet. Die Fehler, die durch dieses Abschneiden entstehen, können bei CO₂-Emissionen bis zu 50% der gesamten auf den Endnachfragegütern liegenden Emissionen ausmachen (Lenzen 2001).

Die MRIO Analyse basiert auf monetären³⁷ Input-Output Tabellen und bilateralen Handelsdaten. Der mit MRIO Modellen berechnete ökologische Fußabdruck ist nicht produktspezifisch, sondern wird auf der Ebene der Wirtschaftszweige (WZ) und dann meist national ausgewiesen. Durch die Modellierung auf WZ-Ebene wird allerdings nur der Umwelteffekt von "Durchschnittsprodukten" dieser WZ berechnet. Ein klarer Vorteil der MRIO Analyse ist jedoch, dass alle Produktionsprozesse in den modellierten Ländern berücksichtigt werden und somit das Abschneiden von aus ökologischer Sicht möglicherweise wichtigen Produktionsprozessen anders als bei der LCA hier kein Problem darstellt. Damit können sowohl die entlang der Produktionsketten entstandenen Emissionen global zurückverfolgt werden, wie auch die Extraktionsländer der Materialien bestimmt werden, die in die Endnachfragegütern eines jeden Landes enthalten sind. Die Systemgrenzen des MRIO Ansatzes sind somit erheblich weiter gefasst (Produktion über Sektor- und Ländergrenzen hinweg) als die Systemgrenzen der LCA (ein Produkt mit begrenzter Vorleistungskette).

GRAM nutzt globale Verflechtungsdaten der OECD, die aus verschiedenen Gründen nicht ganz aktuell sind (und sein können). Abgestimmte internationale Verflechtungstabellen (Input-Output-Tabellen) werden von den OECD-Staaten und wichtigen Handelspartnern nur in mehrjährigem Abstand mit einer gewissen Zeitverzögerung veröffentlicht. Aktueller sind internationale Handelsdaten, die heute bereits für das Jahr 2011 vorliegen. Das letzte Jahr mit vollständigem historischem Datensatz in der eingesetzten Modellversion von GRAM ist 2005.³⁸ Im Rahmen dieses Projektes wurde das Modell um eine physische Matrix des weltweiten Eisenerzhandels ergänzt (UNCTAD 2007), da die Abbildung des bilateralen Handels im WZ "3 Bergbau (nicht-energetisch)" nur zusammen mit WZ "2 Bergbau (energetisch)" ausgewiesen war, der monetär von den Öl- und Gaslieferungen dominiert wird und somit nicht die physischen Lieferströme von Eisenerz reflektiert.

³⁴<http://www.iinas.org/gemis-de.html>

³⁵<http://www.ecoinvent.ch/>

³⁶<http://www.nrel.gov/lci/>

³⁷Es wäre wünschenswert, physische Input-Output-Tabellen zu nutzen; die Verfügbarkeit dieser Matrizen ist jedoch sehr limitiert, sodass die monetären Verflechtungen als Approximation der physischen Verflechtungen zwischen den Wirtschaftszweigen genommen werden.

³⁸Eine Aktualisierung von GRAM mit neueren Input-Output-Tabellen sowie eine Einbindung der bilateralen Handelsdaten bis zum Jahr 2011 erfolgt zurzeit im Rahmen eines Projektes für DG CLIMA zu konsumbasierten Emissionen in der EU. Die Aktualisierung wird jedoch nicht mehr vor Ende dieses Projektes abgeschlossen werden und kann daher nicht für die hier durchgeführten Berechnungen genutzt werden. Auch auf internationaler Ebene finden die OECD-Daten derzeit große Beachtung. Im Auftrag der G20-Staaten untersuchen OECD und WTO den Wertschöpfungsanteil im internationalen Handel und verbessern und aktualisieren die zugrunde liegenden internationalen Verflechtungsdaten: www.oecd.org/trade/valueadded.

3.3.2.2 Szenarienrechnung

Im Folgenden werden zwei Szenarien miteinander verglichen. Der tatsächlichen Entwicklung des Jahres 2005, die hier als Referenz dient, wird ein fiktives Szenario „keine Abfallverwertung“ gegenübergestellt. Für das fiktive Szenario wird angenommen, dass Stahl nur mit dem Oxygenverfahren (ohne Schrottanteil) erzeugt wird. Der Anteil der Erzeugung mit dem Elektrostahlverfahren an der Gesamtstahlproduktion liegt bei rund 35%. Nach UBA (2012b, S. 82) ersetzt der Schrotteinsatz in Deutschland Eisenerzimporte in der Größenordnung der gesamten Eisenerzimporte des Jahres 2007 (48,7 Mt gegenüber Gesamteisenerzimporten von 46,2 Mt). Dies ist damit begründet, dass auch bei der Oxygenstahlherstellung in größerem Umfang Eisen- und Stahlschrott eingesetzt wird, der im Fall des fehlenden Recyclings durch Eisenerz gedeckt werden muss. Vereinfacht wird im Folgenden mit einem Verhältnis eins zu eins gerechnet. Zugleich nimmt der Energieeinsatz im Szenario ohne Schrotteinsatz um rund zwei Drittel zu (242 PJ nach UBA (2012b) gegenüber 360 PJ nach IEA (2010) für die tatsächliche Produktion des Jahres 2005).

Für das GRAM-Modell bedeutet dies technisch, dass basierend auf UBA (2012) Annahmen bezüglich der Vorleistungsgüter getroffen werden, die in die Metallproduktion eingehen: Es ist möglich die Primärgewinnung von Metallen durch Sekundärgewinnung der Metalle aus metallhaltigen mineralischen Abfällen zu ersetzen (UBA 2007). Das heißt, dass die Wirtschaftszweige (WZ) "Eisen und Stahl" und "Nicht-Eisen Metalle" (WZ 13 und 14 in den OECD Input-Output Tabellen) die Vorleistungen aus dem WZ "3 Bergbau (nicht-energetisch)" durch Vorleistungen aus dem WZ "25 Manufacturing n.e.c.; recycling (incl. furniture)" ersetzen können.

Tabelle 18 zeigt die Vorleistungskoeffizientenmatrix der OECD Input-Output Tabelle für Deutschland (die in diesem Kontext nicht relevanten WZ wurden im WZ "OTHER" zusammengefasst). Die Vorleistungskoeffizienten zeigen, welchen Anteil (an der Produktion des WZ) aus jedem anderen WZ benötigt wird. Dabei werden Importe und heimische Vorleistungen unterschieden. Der WZ "13 Eisen und Stahl" bezieht 10% der Vorleistungen aus heimischen In-sich-Lieferungen, 1,5% aus WZ "25 Manufacturing n.e.c.; recycling (incl. furniture)", 0,2% und 0,1% aus je WZ 2 und WZ 3, und 29% aus anderen heimischen WZ ("OTHER"). 1,7% werden von WZ 2, 4,5% von WZ 3 und 19,8% von WZ 13 aus anderen Ländern importiert.

Tabelle 18: OECD IOT Inputkoeffizienten für Deutschland 2005 – Auszug für Metalle

	Industry	2 Mining and quarrying (energy)	3 Mining and quarrying (non-energy)	13 Iron and steel	21 Motor vehicles, trailers & semi-trailers	25 Manufacturing nec; recycling (include Furniture)	c1Total intermediate
Domestic	2 Mining and quarrying (energy)	2.9%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.1%
	3 Mining and quarrying (non-energy)	0.0%	5.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
	13 Iron and steel	1.4%	0.4%	10.1%	2.1%	0.4%	0.8%
	21 Motor vehicles, trailers & semi-trailers	0.6%	0.3%	0.3%	22.9%	0.3%	1.7%
	25 Manufacturing nec; recycling (include Furniture)	0.0%	0.0%	1.5%	0.8%	3.8%	0.2%
	OTHER	51.9%	37.2%	29.0%	29.6%	40.5%	35.3%
	2 Mining and quarrying (energy)	2.6%	0.9%	1.7%	0.1%	0.1%	1.2%

Import	3 Mining and quarrying (non-energy)	0.0%	3.0%	4.5%	0.0%	0.1%	0.1%
	13 Iron & steel	1.5%	0.3%	19.8%	2.8%	0.7%	1.0%
	21 Motor vehicles, trailers & semi-trailers	0.0%	0.1%	0.0%	9.9%	0.3%	0.7%
	25 Manufacturing nec; recycling (include Furniture)	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	7.4%	0.1%
	OTHER	11.5%	9.1%	5.5%	7.5%	10.1%	7.4%
	Imports	15.6%	13.4%	31.6%	20.3%	18.7%	10.5%
	r1 Intermediate consumption /final use at b.prices	72.4%	56.9%	72.8%	75.6%	63.6%	48.7%
	r2 Net taxes on products	1.4%	2.7%	1.1%	0.3%	1.2%	1.4%
	Net taxes imports	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	r4 Value Added	26.2%	40.4%	26.2%	24.0%	35.2%	49.9%
r8 Industry Output	100.0%	100%	100%	100%	100%	100%	

Quelle: OECD (2012b)

Das Szenario "keine Abfallverwertung" wurde wie folgt im Modell umgesetzt: Sowohl der heimische als auch der importierte Input-Koeffizient der Lieferungen von WZ "3 Bergbau (nicht-energetisch) an WZ "13 Eisen und Stahl" wurden um 100% von 0,1% auf 0,2% (heimisch) und von 4,55% auf 9,11% (importiert) erhöht. Um die zusätzlich benötigte Energie in Form von Kohle zu erfassen, wurden der heimische und der importierte Vorleistungskoeffizient von WZ "2 Bergbau (energetisch)" an WZ "13 "Eisen und Stahl" um 66% von 0,17% auf 0,28% (heimisch) und von 1,71% auf 2,85% (importiert) erhöht. Der höhere Kohleinsatz in WZ 13 führt zu einer direkten Erhöhung der CO₂-Intensität, so dass auch diese um 66% heraufgesetzt wurde.

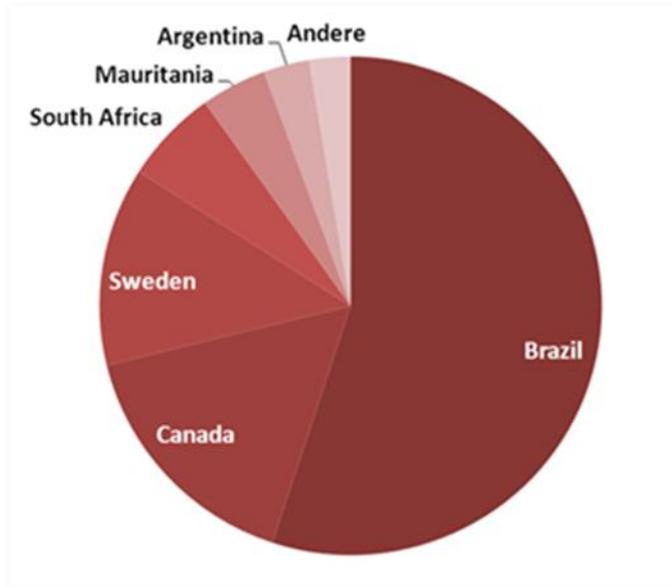
In GRAM wird der globale Fluss von CO₂-Emissionen und acht verschiedenen Materialkategorien (vgl. Tabelle 25) dargestellt. Die Ergebnisse hier zeigen, wie viel CO₂-Emissionen bzw. (genutzte) Eisenerzextraktion aufgrund der stofflichen Abfallverwertung in Deutschland weltweit eingespart werden. Die Szenarienrechnung, die hier durchgeführt wird, unterscheidet sich von den herkömmlichen Rechnungen mit MRIO Modellen: Üblicherweise wird in MRIO Modellen auf die Ebene des Konsums und auf die Ebene der Entstehung der Umweltbelastung geschaut und Änderungen auf einer oder beiden dieser Ebenen analysiert. Hier wird die Vorleistungskoeffizientenmatrix, die zwischen den eben genannten Ebenen liegt, geändert. Die Ergebnisse werden aber weiterhin auf den anderen beiden Ebenen analysiert.

Signifikante Extraktion von Eisenerz gibt es nur in wenigen Ländern: Abbildung 19 zeigt die Länder, deren Eisenerzexporte nach Deutschland in 2005 einer Menge größer als eine Millionen Tonnen Raw Material Equivalents (Rohmaterialäquivalenten, RME) entsprach. Deutschland bezog 2005 insgesamt Eisenerzlieferungen in Höhe von knapp 41 Mt. Hauptlieferländer waren Brasilien (57%), Kanada (17%) und Schweden (13%) (Abbildung 19 und

Tabelle 19).

Deutschlands Eisenerznachfrage im Ausland beliefen sich im Jahr 2005 auf 6 % des global gehandelten Erzes in Höhe von etwas über 700 Mt. Eine Änderung der Nachfrage von Deutschland nach Eisenerz in der Höhe von 100% der Importe entspricht somit einer ca. sechsprozentigen Änderung der globalen Importnachfrage.

Abbildung 19: Eisenerzgewinnungsländer für direkte Importe nach Deutschland



Quelle: UNCTAD (2007)

Tabelle 19 zeigt in der rechten Spalte die fiktiven Einsparungen, die durch die stoffliche Abfallverwertung in Deutschland bei den Eisenerzimporten in 2005 gemacht wurden. Dazu ist in der ersten Spalte die absolute Menge an Eisenerzimporten (in kt RME) aus den wichtigsten Extraktionsländern für Deutschland dargestellt. Um eine Einheit Eisenerz zu exportieren, wird jedoch bis zu einem Faktor 2,7 mehr Rohmaterial abgebaut als verwendet. Die zweite Spalte zeigt daher die Gesamtextraktionen, die für Deutschlands Importe benötigt werden. Die Faktoren sind für jedes Land unterschiedlich und stammen aus der Global Material Flow Analysis Database (GMFAD 2013). Die dritte Spalte zeigt, wie hoch die Exporte der Länder nach Deutschland wären, wenn Stahl nur mit dem Oxygenverfahren und ohne Schrottein-satz hergestellt würde, es also keine Elektrostahlerzeugung basierend auf Schrott geben würde. Aufgrund der Einsparung von 100% Roheisen bei der Herstellung ist die Einsparung bei der Eisenerzextraktion im Ausland gleich der Gesamtextraktion für Exporte nach Deutschland.

Die letzte Spalte beschreibt schließlich auf Basis der im Projekt Politiksznarien VI (Öko-Institut et al. 2013) getroffenen Annahmen für den Ausbau der Elektrostahlerzeugung das zusätzliche Potenzial zur Minderung der Eisenerzimporte nach Deutschland bis zum Jahr 2020.

Tabelle 19: Eisenerzimporte Deutschlands nach Herkunftsländern in kt im Jahr 2005

Extraktionsländer	Importe	Gesamt-extraktion für Exporte nach Deutschland*	Importe ohne Schrotteinsatz und Elektro-stahlerzeugung	Potenzial bis 2020
Brasilien	23110	43665	46220	52398
Kanada	6767	13282	13534	15939
Schweden	5405	12087	10810	14504
Südafrika	2563	5054	5126	6065
Mauretanien	1782	4307	3564	5169
Argentinien	1243	3368	2486	4041
Norwegen	401	557	802	669
Aserbaidshon	272	512	544	614
Russland	121	243	242	291
Venezuela	102	205	204	246
Andere	216	356	432	427
Insgesamt	41982	83636	83964	100363

*Quote basierend auf Daten von GMFAD (2013)

Quelle: UNCTAD (2007)

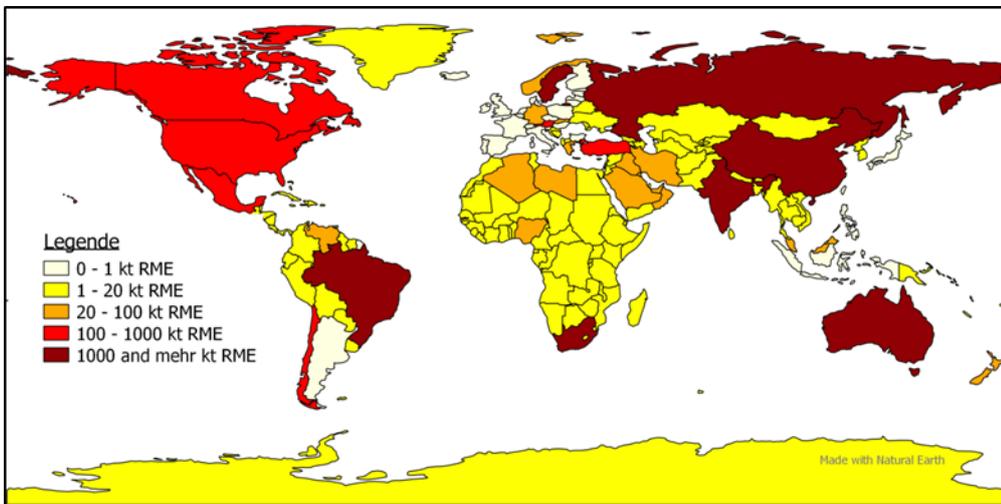
Im Jahr 2005 sind in den Gütern und Dienstleistungen, die in Deutschland konsumiert werden, 39,5 Mt RME Eisenerz enthalten, das sind 2,6% des globalen Verbrauchs. Spitzenreiter bei den konsumbasierten³⁹ Eisenerzextraktionen sind China (24%), USA (12%), Brasilien (9%), Australien (8%) und Indien (6%). Deutschland liegt auf Platz acht, hinter Japan und Südafrika (eigene Berechnungen mit GRAM). Die Extraktionsländer der 39,5 Mt Eisenerz sind China, Brasilien, Russland, Australien, Indien, Schweden und Südafrika; alle in dunkelrot Abbildung 20 gekennzeichnet. Die BRICS-Länder (Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika), eine Gruppe von großen aufstrebenden Schwellenländern, ist hier komplett vertreten. Bei den internationalen Klimaverhandlungen der letzten Jahre hat diese Gruppe mehrfach darauf hingewiesen, dass nicht nur sie als Produzenten für die Entstehung von Umweltverschmutzung aufgrund der Produktionsprozesse in ihrem Land verantwortlich sind, sondern auch die Konsumenten der produzierten Güter. Die Analyse hier zeigt, dass aufgrund der stofflichen Abfallverwertung in Deutschland, gerade diese Ländergruppe besonders entlastet wird.

Bei der Einordnung der konsumbasierten Ergebnisse muss man hier zum einen beachten, dass diese aufgrund von internationalen Lieferketten nicht unbedingt den direkten Lieferländern aus Abbildung 19 und

³⁹Konsumbasiert beinhaltet nicht nur privaten und öffentlichen Konsum, sondern auch Investitionen in den Kapitalstock, d.h. alle Endnachfragekomponenten abgesehen vom internationalen Handel.

Tabelle 19 entsprechen und, zum anderen, dass nicht der gesamte Stahl, der in Deutschland aus den Rohmateriallieferungen hergestellt wird, auch in Deutschland konsumiert wird.

Abbildung 20: Konsumbasierte Eisenerzgewinnungsländer für Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen mit GRAM

Tabelle 20 zeigt die verschiedenen Berechnungsweisen des Eisenerzverbrauchs für Deutschland. In der ersten Zeile sind die Extraktionen in Deutschland dargestellt, gefolgt von den Importen, der in Deutschland verarbeiteten Eisenerzmenge und dem Eisenerz, das in den Endnachfragegütern Deutschlands enthalten ist. In Spalte eins sind die genutzten Extraktionen, in Spalte zwei die dafür nötigen Gesamtextraktionen, die wiederum der Einsparung aufgrund der stofflichen Abfallverwertung in Deutschland entspricht, und in Spalte drei das Einsparpotenzial bis 2020 wiedergegeben. Das Einsparpotenzial durch die stoffliche Abfallverwertung durch die Elektrostahlproduktion in Deutschland in 2020 sind 100,4 Mt RME. Das entspricht etwas über 5% der globalen genutzten Eisenerzextraktionen⁴⁰ in 2005. Ganz grob hochgerechnet auf die Welt zeigt sich hier ein theoretisches Potenzial durch die Wiederverwertung von Schrott in Höhe der jährlichen Eisenerzextraktionen. Tatsächlich sind hier die Verhältnisse von Land zu Land natürlich sehr unterschiedlich und die Gesamtverfügbarkeit von Schrotten weltweit beschränkt. Umgekehrt dürften in vielen Ländern noch größere Potenziale als in Deutschland schlummern, wo die Stahlherstellung bereits sehr effizient abläuft.

Tabelle 20: Globale Einsparung von Eisenerz aufgrund der stofflichen Abfallverwertung in Deutschland

in Mt RME	Genutzt	Gesamt-extraktion*	Einsparpotenzial
	2005	2005	2020**
Eisenerzextraktion in Deutschland	0.4	0.5	1.0
Eisenerzimporte	42.0	84.0	100.4
Eisenerzverarbeitung	42.3	84.4	101.3
Eisenerz im Konsum	39.6	79.2	95.1

*Quote basierend auf Daten von GMFAD (2013)

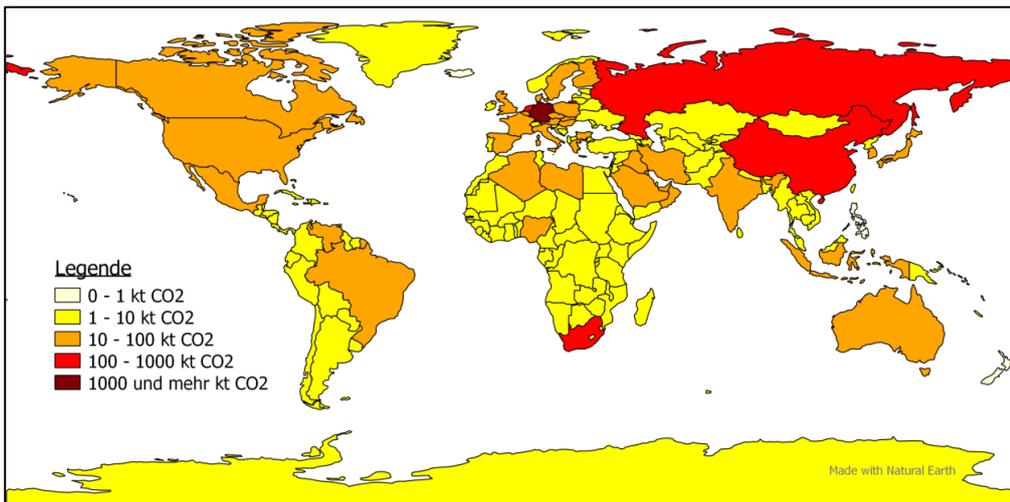
**Politikszenerien IV (S. 101): Zunahme der Elektrostahlerzeugung bis 2020 um 20%

Des Weiteren wurden in GRAM die Änderungen der territorialen und konsumbasierten CO₂-Emissionen aufgrund der stofflichen Abfallverwertung im Bereich Eisen und Stahl in Deutschland berechnet. In Deutschland werden durch die

⁴⁰GMFAD (2009).

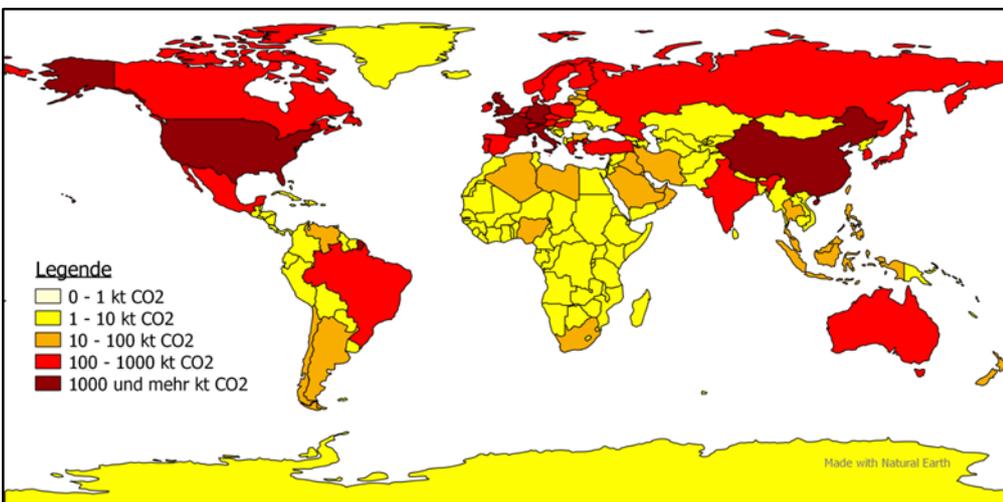
geänderte Energieintensität und damit CO₂-Intensität im WZ „13 Eisen und Stahl“ und die geänderten Inputkoeffizienten 18,9 Mt CO₂ eingespart. Der Effekt bei den vorgelagerten Produktionsprozessen im Ausland aufgrund der geänderten Importe Deutschlands ist eine weitere Einsparung von 3 Mt CO₂. In Deutschland sind es 2,9% der gesamten energiebezogenen CO₂-Emissionen und global 0,09% der entsprechenden Emissionen. Abbildung 21 zeigt, wie sich der globale Effekt regional verteilt: Aufgrund der geänderten Importnachfrage, nicht nur nach Eisenerz, sondern auch nach komplementären Vorleistungen gehen die Emissionen in Russland mit 700 kt CO₂, also knapp ein Viertel des Effekts im Ausland, am stärksten zurück. Die Änderungen in den anderen Ländern liegen unter 100 kt, abgesehen von Südafrika (163 kt), China (157 kt) und den Niederlanden (105 kt).

Abbildung 21: Upstream Effekte: Änderung der territorialen Emissionen



Quelle: eigene Berechnungen mit GRAM

Abbildung 22: Downstream Effekte: Änderung der konsumbasierten Emissionen



Quelle: eigene Berechnungen mit GRAM

Der Vergleich der territorialen Änderungen mit den Änderungen bei den konsumbasierten Emissionen (der Vergleich von Abbildung 21 und Abbildung 22) zeigt, welche Länder in der Produktionskette vor bzw. nach Deutschland liegen. Während es wenige Upstream-Länder gibt, zumeist die mit großen Eisenerzvorkommen, sind die Downstream-Länder stärker diversifiziert. Etwa die Hälfte der eingesparten Emissionen wäre in der Endnachfrage der EU27 Länder enthalten (10,5 Mt, davon 4,5 Mt in Deutschland). Die andere Hälfte der eingesparten Emissionen wirken sich größtenteils auf die konsumbasierten Emissionen von China, Nordamerika, Japan, Korea und Türkei aus, erst dann gefolgt von den anderen BRICS Ländern, Australien, Argentinien und den OPEC Ländern.

3.3.2.3 Fazit

Global werden durch die stoffliche Abfallverwertung von Eisen und Stahl in Deutschland 84,4 Mt RME Eisenerzextraktion eingespart. Die globale Verteilung der eingesparten Eisenerzextraktionen hängt direkt von den Lieferländern Deutschlands ab, dazu gehören Brasilien (liefert über 50% der in Deutschland verarbeiteten Eisenerze), Kanada, Schweden und Südafrika (alle mit Anteilen über 10%). Die Einsparung von 100% des Eisenerzes durch die stoffliche Abfallverwertung in Deutschland hat eine Wirkung von 5% auf die global genutzten Eisenerzextraktionen. Einschränkend ist hier zu ergänzen, dass eine verstärkte Elektrostahlproduktion langfristig nur über Investitionen erfolgen kann. Die hier theoretisch aufgezeigten Potenziale sind langfristiger Natur und setzen auch die Verfügbarkeit von Schrott voraus.

Die **Betrachtung globaler Effekte** aufgrund internationaler Produktionsketten ist nicht nur, wie in Kapitel 3.2 herausgearbeitet, **nötig**, sondern, mit Hilfe von LCA oder MRIO Modellen, auch **möglich**. Die Modellierung für die Stahlproduktion kann jedoch an einigen Stellen, wenn es die Datenlage erlaubt, verbessert werden. Im Idealfall werden dazu LCA und MRIO-Modelle kombiniert eingesetzt. Im Bereich MRIO sollten z.B. die monetären Input-Output Tabellen und Handelsdaten durch physische Daten ersetzt und die relevanten Wirtschaftszweige aufgespalten werden. Letzteres betrifft in erster Linie die WZ 2 und 3 (Bergbau), sowie WZ „25 Manufacturing n.e.c.“ der die Abfallverwertung mit enthält. Diese Daten sind jedoch auf internationaler Ebene für Eisen und Stahl nicht verfügbar. Für die anderen in diesem Bericht betrachteten Technologien sieht die Datenlage sogar noch schlechter aus.

3.4 Schlussfolgerungen – Empfehlungen für ausgewählte grüne Technologien

Übergeordnete Schlussfolgerungen zu den Ergebnissen dieses Berichtsteils werden in Teil 3 dargestellt. Im Folgenden wird jedoch kurz thematisiert, was sich aus den Untersuchungsergebnissen unmittelbar mit Blick auf die einzelnen grünen Zukunftstechnologien an umweltpolitischen Schlussfolgerungen ableiten lässt.

3.4.1 Alternative Antriebstechnologien

Batterie-elektrische Fahrzeuge (BEV) sind zurzeit weder aus ökologischer noch ökonomischer Sicht sinnvoll, da die Herstellung kosten- und energieintensiver ist als bei konventionellen Fahrzeugen. Eine energetische Amortisation erfolgt selbst bei Antrieb durch EE-Strom erst nach rund 12.000km Fahrleistung. Da BEV nur auf Kurzstrecken eingesetzt werden, ist die energetische Amortisationszeit nicht zu unterschätzen. Eine weitere Förderung der Elektromobilität in Form der Elektroautos ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt also wenig sinnvoll.

Aktuell führt die verhaltene Nachfrage nach Elektroautos zu einer Renaissance der Brennstoffzellenfahrzeuge (BSZF).⁴¹ Zwar führt die Nutzung fossil erzeugten Stroms zur Herstellung des Wasserstoffs auch zu einer schlechteren CO₂-Bilanz im Vergleich zu Strom aus EE. Die Förderung von BSZF erscheint aber trotzdem sinnvoll. Wasserstoff kann langfristig gespeichert und einfach transportiert werden. Zudem bestehen Einspeisemöglichkeiten in das bestehende Erdgasnetz. Auch die Reichweitenproblematik, die bei Elektroautos besteht, wird bei BSZF deutlich abgeschwächt. Die Fahrzeuge können längere Strecken zurücklegen und schneller wieder aufgetankt werden als Elektroautos. Ein fehlendes Tankstellennetz und höhere Produktionskosten führen dazu, dass BSZF bisher ein Nischendasein führen. Seitens der Politik wären Fördermaßnahmen für die Erforschung und letztlich Zuschüsse für den Kauf denkbar. Ebenso muss die Tankinfrastruktur deutlich ausgebaut werden.

Das Umweltentlastungspotenzial von Elektrofahrzeugen hängt in erster Linie von der Stromerzeugung ab. Daher ist es unbedingt notwendig, den zusätzlich benötigten Strom aus THG-emissionsfreien EE herzustellen und diesem Schritt auch Priorität einzuräumen.

Ein besonderer Blick ist noch erforderlich auf die zusätzlich bei dem Abbau der Rohstoffe für die Herstellung der Batterien/Akkus auftretenden Umweltverschmutzungen und gesundheitsgefährdenden Effekte in den Rohstoff-Abbaubetrieben. Gleiches gilt bei Brennstoffzellenfahrzeugen für die negativen Effekte, die durch die Nutzung von Platingruppenmetallen bei der Herstellung der Zellen entstehen. Da nur wenige Informationen bzgl. etwaiger Umwelt-

⁴¹ Siehe www.co2-handel.de/article34I_2048I.html.

wirkungen in der Vorleistungskette zur Verfügung stehen, sollte unbedingt Forschung in diesem Bereich gefördert werden.

3.4.2 Erneuerbare Energien

Primär sollten die Technologien Windkraft und PV gefördert werden, da diese das größte Umweltentlastungspotenzial bieten, auch wenn etwa indirekte negative Effekte auf Boden/ Wasser, Landschaft und Gesundheit in den Abbaubereichen der Rohstoffe zu konstatieren sind, die für die Herstellung der Komponenten gebraucht werden.

Das Umweltentlastungspotenzial von Biomasse ist im Vergleich zu PV und Windenergie eher gering. Wenn nicht sorgsam alle möglichen Umweltwirkungen beachtet werden, überwiegen sogar die negativen Umweltwirkungen. Im Bereich der Biomasse sollte versucht werden, die Nutzung von Biomasse der zweiten Generation (mit Ausnahme der Energiepflanzen) zu fördern. Zur zweiten Generation zählen Holz, Stroh, Industrialt- und Abfallholz, sowie Reststoffe. Die Nutzung von Biomasse der ersten Generation (Pflanzenöl, Ethanol, Biogas) führt zu stärkeren Zielkonflikten mit dem Umweltschutz, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben.

Die Förderung von PV- und Windkraft-Anlagen, wie sie in Deutschland betrieben wird, ist sinnvoll. Allerdings sollte kontrolliert werden, wann die vollständige Marktreife erreicht und eine Förderung nicht mehr nötig ist.

Zu beachten ist auch, dass für eine vollständige Nutzung der EE der Netzausbau forciert werden muss.

3.4.3 Speichertechnologien

Zukünftig wird Speichern voraussichtlich eine tragende Rolle für die Energiewende zukommen. Für private Haushalte wird es immer interessanter werden, ihren alternativ erzeugten Strom selbst zu nutzen. Speicher werden hier, aber auch andernorts zum Lastenausgleich benötigt, das heißt beispielsweise, dass der in der (sonnigen) Mittagszeit erzeugte, jedoch nicht verbrauchte Strom (dezentral) abgespeichert und abends verwendet werden kann. In Zusammenarbeit mit Varta bietet beispielsweise RWE eine Kombination aus PV-Modulen und Solarspeichern an (RWE HomePower Solar). Das Grundsystem kostet momentan rund 13.000 Euro zzgl. MwSt. und Installationskosten. Es wird damit gerechnet, dass sich das System innerhalb seiner Lebenserwartung (20 Jahre) amortisiert. Damit sich solche Speichersysteme weiter verbreiten, sollten private Haushalte bei einer solchen Anschaffung finanziell unterstützt werden.

Verschiedene Experten sehen großes Zukunftspotenzial (ökonomisch und ökologisch) im Lithium-Luft-Speicher. Die Technologie ist allerdings noch nicht weit entwickelt, sodass eine gezielte Förderung hilfreich wäre.

3.4.4 Effizienztechniken in der Industrie

Unter den energiepolitischen Zielen sind es insbesondere diejenigen im Bereich der Energieeffizienz, bei denen die Gefahr am größten ist, dass sie nicht erreicht werden. In der Industrie sind in der Vergangenheit zwar schon erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um den spezifischen Energieverbrauch zu senken, aber in allen untersuchten Technologiebereichen (Effizienztechniken im Bereich der Eisen- und Nicht-Eisen-Metallerzeugung, Querschnittstechnologien zur Kältetechnik und zur Wärmeerzeugung) existieren noch erhebliche Einsparpotenziale. Bedeutende negative Umweltwirkungen werden sich bei der Ausschöpfung dieser Potenziale nicht ergeben, umgekehrt können aber zumeist deutliche Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen und beim Energieverbrauch realisiert werden.

Derzeit scheitert die Einlösung dieser Potenziale weniger daran, dass die technischen Lösungen nicht ausgereift wären, sondern an der Unkenntnis und der Skepsis der Unternehmen. Die möglichen Energieeinsparungen und die damit verbundenen Kostenreduktionen werden nicht wahrgenommen oder angezweifelt. Die hohen Investitionskosten für neue Technologien wirken demgegenüber abschreckend. Die Umweltpolitik kann hier vorwiegend eingreifen, indem sie versucht, die Glaubwürdigkeit der Effizienztechnologien zu erhöhen, ihren Bekanntheitsgrad zu steigern und Best-Practice zu verbreitern. Allerdings ist auch festzuhalten, dass es letztlich die Energiekosten sind, die als Hauptantriebsfaktor für den Einsatz von Effizienztechnologien wirken. Die politisch kaum durchsetzbare Erhöhung der Energiekosten bis zu einem Punkt, dass die externalisierten Kosten des Energieverbrauchs (Umweltschäden, Kosten für die Gesundheit, Schäden an Infrastruktur etc.) in den Energiepreisen eingeschlossen sind, bzw. die ebenfalls aktuell kaum durchsetzbare Abschaffung der verschiedenen Formen der Subventionierung wären die wichtigsten Triebfedern, um deutliche Fortschritte zu machen.

3.4.5 Energieeffizienz in Gebäuden

Für den Gebäudesektor gilt ebenso wie für andere Zukunftstechnologien, dass die Herstellung der Produkte auch nachteilige Auswirkungen für die Umwelt mit sich bringt. Sowohl der Abbau der benötigten Rohstoffe und Ressourcen (z.B. zur Herstellung von Dämmstoffen) wie auch der Einsatz von Chemikalien im Produktionsprozess müssen strengen Umweltstandards und Kontrollen unterworfen werden, um negativen Umweltwirkungen vorzubeugen. Da die Rohstoffgewinnung und teils auch mit potenziellen Umweltrisiken verbundene Phasen des Herstellungsprozesses im Ausland stattfinden, bedarf es hier auch umweltpolitischer Anstrengungen, die grenzübergreifend ausgerichtet sind (vgl. hierzu auch Teilbericht 3).

Des Weiteren besteht ein signifikantes Umweltentlastungspotenzial in der Wahl der zu fördernden Dämmstoffe. Verschiedene Dämmstoffe weisen, wie beschrieben, bei ihrer Produktion erhebliche Unterschiede im kumulierten Energieaufwand und im CO₂-Ausstoß auf. So führt die Verwendung von nachwachsenden Dämmstoffen – mit Ausnahme der Zellulosefaserplatte – zu geringen Emissionen bzw. zum Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre,⁴² andere Dämmstoffe hingegen setzen bei der Produktion in erheblichem Maße Treibhausgasemissionen frei. Der Unterschied im Energieverbrauch zwischen verschiedenen Dämmstoffen liegt beim Faktor 20 und darüber. Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzfelder der verschiedenen Dämmstoffe ist ein Einsatz weniger energie- und CO₂-intensiv produzierter Stoffe zwar nicht in allen Fällen möglich (dies trifft insbesondere auf die Perimeterdämmung zu), aber für die Außendämmung steht durchaus eine Auswahl an Dämmstoffen mit sehr unterschiedlicher Umweltbilanz zur Verfügung, sodass „sich für viele Anwendungsfälle durch die Auswahl geeigneter Materialien ein erhebliches Einsparpotenzial realisieren [lässt]“⁴³. Folglich wäre zu prüfen, ob die unterschiedlichen Umweltwirkungen aus der Produktion bei der Auswahl der förderfähigen Dämmstoffe berücksichtigt werden können, sodass künftig nur die Verwendung des umweltfreundlichsten Materials finanziell unterstützt wird.

Auch bei der Wärmetechnik gibt es durchaus umweltpolitischen Handlungsspielraum. Für Wärmepumpen ist eine Fördervoraussetzung das Erreichen eines bestimmten Levels an Effizienz. Für Luftwärmepumpen gilt beispielsweise als Anforderung an die Energieeffizienz, dass sie eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 aufzeigen müssen, um vom BAFA im Rahmen des Marktanzreizprogramms gefördert zu werden. Der für die Berechnung der Jahresarbeitszahl benötigte COP-Wert ist mit einem Prüfbericht eines unabhängigen Prüfinstituts nachzuweisen. Für die Frage der Treibhausgasemissionen ist jedoch neben der Jahresarbeitszahl vor allem die Herkunft des Stroms entscheidend. In Kombination mit Strom aus Erneuerbaren Energien sind die Treibhausgasemissionen von Wärmepumpen viel geringer als beim Einsatz von Strom aus konventionellen Quellen. Damit ergibt sich die Frage, ob die Förderung der Wärmepumpen nicht mit dem Einsatz von Strom aus Erneuerbaren Energiequellen verknüpft sein sollte.

Zu prüfen wäre auch, ob die derzeitige Staffelung der Fördervoraussetzungen zwischen unterschiedlichen Wärmepumpentypen den unterschiedlichen Effizienzgrad zu verschiedenen Jahreszeiten ausreichend widerspiegelt. So weisen Luftwärmepumpen im Winter einen geringeren Effizienzgrad auf. Gleichzeitig werden gerade im Winter verstärkt Kohlekraftwerke zugeschaltet, wodurch die Bilanz mit Blick auf Treibhausgasemissionen bei Luftwärmepumpen schlechter ausfällt.

3.4.6 Stoffliche Abfallverwertung

Die stoffliche Abfallverwertung ist aus Umweltsicht sehr positiv zu beurteilen. Durch das Recycling von Metallen und Kunststoffen wird nicht unerheblich Energie eingespart. Gleichzeitig fallen die Emissionen weg, die mit der Primärerzeugung der jeweiligen Materialien verbunden sind, während die Emissionen der jeweiligen Verwertungstechnologien deutlich niedriger sind. Die Verringerung der Umweltbelastung kommt nicht zuletzt auch dem Ausland (den Rohstoff-Abbauländern) zugute. Bei der Betrachtung der spezifischen Umweltwirkungen wäre eine stärkere Ausdifferenzierung je nach Technologieart allerdings wünschenswert und sinnvoll. Die Datengrundlage dazu ist jedoch nicht ausreichend. Hier ist also auch weiterer Forschungsbedarf gegeben.

⁴² vgl. <http://www.vdi-zre.de/branchen/bauen/effizienz-in-der-daemmung/energieverbrauch-co2-emission/>

⁴³ vgl. <http://www.vdi-zre.de/branchen/bauen/effizienz-in-der-daemmung/bauteilabhaengigkeit/>

Die Recyclingtechnologien sind in Deutschland schon sehr weit fortgeschritten und sie finden auch eine recht weite Verbreitung, nicht zuletzt aufgrund schon langjähriger intensiver staatlicher Regelungen. Bei NE-Metallen liegt die Rückgewinnungsquote bei etwa 50%. Hier ist ggf. weiterer Forschungsbedarf notwendig, um die Quote zu steigern. Auch in anderen Bereichen sollte der Innovationsvorsprung gehalten werden, da der Markt aufgrund der künftig zu erwartenden Rohstoffknappheiten sicher auch international erhebliche Potenziale aufweist. Aus Umweltsicht kann über den Export von Technologien zur stofflichen Abfallverwertung ein wichtiger Beitrag zur Lösung von Umweltproblemen gerade auch in anderen Ländern geleistet werden. Dieser Bereich sollte also auch entsprechend umweltpolitisch begleitet werden (vgl. dazu auch Teilbericht 3).

4 Teil 3: Die (teilweise) Green Economy – Eine kritische Reflexion

4.1 Einleitung

Das Gesamtvorhaben „Chancen und Potenziale grüner Zukunftsmärkte“ setzt sich aus drei Teilen zusammen: dem zuvor dargestellten Teilbericht I „Ökonomische Analyse der grünen Zukunftsmärkte und der Wettbewerbsposition Deutschlands“, dem Teilbericht „Umweltwirkungen der Förderung grüner Zukunftsmärkte“ und dem nun folgenden Teilbericht 3. Teilbericht I fokussierte vor allem auf die ökonomischen Potenziale in einzelnen grünen Zukunftsmärkten sowie auf die Chancen, die sich daraus für einzelne Unternehmen ergeben, sowie auf die Erschließung dieser Möglichkeiten mittels grüner Geschäftsmodelle. Teilbericht 2 widmete sich den Umweltwirkungen der Zukunftstechnologien, die mit den verschiedenen grünen Zukunftsmärkten verknüpft sind.

Sowohl Teil I als auch Teil 2 der Berichte enthalten bereits jeweils ein eigenes Fazit. Darin wird dargestellt, welche Schlussfolgerungen sich – aus umweltpolitischer Sicht – aus den Resultaten ergeben. In Teil I standen dabei vor allem innovationspolitische Aspekte im Vordergrund, ebenso die Begleitung der Technologien von der Entwicklungsphase bis zur Marktreife. Teil 2 diskutierte einzeln für die betrachteten Leitmärkte, welche Konsequenzen aus den Ergebnissen folgen.

Der vorliegende Teil 3 ist zwar ein eigenständiger Bericht. Er baut jedoch zentral auf den beiden vorherigen Teilberichten auf, insbesondere auf Teilbericht 2. Ziel von Teil 3 ist es, aus einer übergeordneten Perspektive die umweltpolitischen Schlussfolgerungen zu diskutieren, die sich aus Teil 1 und 2 ergeben. Bislang wurde zwar zu den ökonomischen Implikationen der grünen Zukunftsmärkte bereits sehr viel geforscht. Allerdings wurde nur wenig zur Frage aufbereitet, wie die weitere Entwicklung der Technologiezweige ökologisch rückwirkt. Aus umweltpolitischer Sicht ist es gewissermaßen höchste Zeit zu betrachten, welche positiven, aber auch welche negativen Effekte mit der Expansion dieser Zukunftstechnologien einhergehen und wo steuernd eingegriffen werden sollte. Die Fragestellungen, die im Folgenden beantwortet werden sollen, lauten u. a.:

- ▶ Welche Konsequenzen ergeben sich aus strategischer Sicht für die deutsche Umweltpolitik?
- ▶ Welche Rückwirkungen lassen sich mit Blick auf das Leitbild einer Green Economy erkennen?
- ▶ Welche Implikationen haben die Ergebnisse insbesondere für die Förderpolitik im Bereich der Zukunftsmärkte?
- ▶ Was bedeuten die Ergebnisse für die weitere Entwicklung der grünen Zukunftsmärkte selbst?
- ▶ Welche umweltschutzbezogenen Zielkonflikte sind zu berücksichtigen?
- ▶ Welche Implikationen ergeben sich für das umweltpolitische Instrumentarium?

Auf die einzelnen Teilmärkte der grünen Zukunftstechnologien sowie auf die Interventionsmöglichkeiten und -erfordernisse, die sich daraus im Einzelnen ergeben, wird nachfolgend nicht weiter eingegangen, da dies schon in Teilbericht 2 geschehen ist.

Wie in Teilbericht I schon dargestellt, existieren zurzeit keine einheitlichen, klar abgegrenzten Definitionen der einzelnen Umweltschutzmärkte. Das gesamte Themenfeld ist noch relativ neu und daher auch konzeptionell schwer zu fassen. Teilbericht 2 ging mehrfach darauf ein, welche Schwierigkeiten beim Erfassen und Bewerten der Umweltwirkungen einzelner grüner Zukunftstechnologien entstehen. Für die Beantwortung der oben genannten Kernfragen bedeutet dies, dass einige Aussagen unter dem Vorbehalt einer weiteren wissenschaftlichen Absicherung stehen müssen. Auch die Tatsache, dass nur ein Teil der verschiedenen grünen Zukunftsmärkte in den Blick genommen werden konnte, schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse naturgemäß ein. Immerhin konnten von den sieben Leitmärkten⁴⁴, die der GreenTech made in Germany 3.0 Umwelttechnologie-Atlas identifiziert, sechs betrachtet werden: alle bis auf die Wasserwirtschaft. Von den 30 Technologielinien wurden 22 ausgewertet. Die betrachteten Technologielinien zeichnen sich dadurch aus, dass es sich hierbei um systemisch wichtige Schlüsseltechnologien handelt, die den Wandel zur Green Economy ermöglichen bzw. beschleunigen. Darauf gründet sich die Marktattraktivität aller sechs ausgewählter Submärkte, wobei sich diese

⁴⁴ Umweltfreundliche Energien und Energiespeicher wurden im Atlas zu einem Leitmarkt zusammengefasst.

jedoch in ihrem jeweiligen Reifegrad deutlich unterscheiden. Auch wenn die Untersuchung in Teilbericht 2 nicht im statistischen Sinne repräsentativ war, deckt sie doch wichtige Teile der Zukunftsmärkte ab. Die Schlussfolgerungen, die sich daraus ergeben, lassen sich somit bis zu einem gewissen Grad verallgemeinern.

Das nachfolgende Kapitel 4.2 vergleicht zunächst die Resultate zu den einzelnen Zukunftsmärkten aus Teilbericht 2. Eine erste Auswertung zeigt, welche unmittelbaren Rückschlüsse sich aus den Untersuchungen zu den Umweltwirkungen der einzelnen Zukunftstechnologien ziehen lassen.

Abschnitt 4.3 geht dann detailliert darauf ein, welche Schlussfolgerungen sich aus umweltpolitischer Sicht ergeben. Dabei wird eine strategische Perspektive eingenommen. Zugleich wird detailliert auf einzelne Instrumente und ihre Kombination geblickt. Auch wird erörtert, was die Ergebnisse zu den grünen Zukunftstechnologien (Green Technologies) – mit Blick auf das Leitbild einer Green Economy – bedeuten.

Abschnitt 4.4 betrachtet knapp die Implikationen der Fragestellung der Umweltwirkungen für die Entwicklung der Zukunftsmärkte. Abschnitt 0 enthält einen Ausblick. Dieser widmet sich dem Aspekt, welcher weitere Forschungsbedarf sich aus den Studienergebnissen ableiten lässt.

4.2 Vergleichende Betrachtung der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien

Überblicksartige Auswertung

Die nachfolgende Tabelle beschreibt nochmals zusammenfassend die Umweltwirkungen der 22 Technologielinien. Die Darstellung erfolgt sowohl für die einzelnen Umwelttechnologien als auch gebündelt (gemittelt) für den jeweiligen Leitmarkt. Ferner beinhaltet sie eine Zusammenfassung für die betrachteten Umweltgüter Klima, Energie, Luft, Wasser, Boden, Artenvielfalt und Landschaft, Gesundheit, natürliche Ressourcen (biotisch) und Rohstoffe (abiotisch). Zum Zwecke der besseren Auswertbarkeit wurden den in Teilbericht 2 vergebenen Bewertungen (++, +, o, -, --) numerische Werte zugewiesen.

Tabelle 21: Überblick über die Umweltwirkungen ausgewählter grüner Zukunftstechnologien (Werte als Vergleich zu Referenzszenarien)^a

Alternative Antriebstechnologien											
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
								Schadstoffe	Lärm		
Batterie-Elektrische Fahrzeuge	8	0,89	1	2	2	-1	0	2	2	1	-1
Brennstoff-Zellen-Fahrzeuge	7	0,78	1	1	2	-1	0	2	2	1	-1
Hybrid-Fahrzeuge	4	0,44	1	1	1	-1	0	1	1	1	-1
Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge	2	0,22	1	-1	1	-1	0	1	1	1	-1
Gesamte Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes	21	0,58	4	3	6	-4	0	6	6	4	-4
Erneuerbare Energien											
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
								Schadstoffe	Lärm		
PV	10	1,11	2	1	1	1	2	1	1	0	1
Windkraft	9	1,00	2	2	1	1	1	1	-1	0	2
Biomasse	-2	-0,22	1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	2
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	17	0,63	5	3	1	1	2	2	-1	-1	5

Speichertechnologien											
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
								Schadstoffe	Lärm		
Redox-Flow-Batterien	10	1,11	1	2	1	2	2	2	2	0	-1
Lithium-Ionen-Batterien	10	1,11	1	2	1	1	2	2	2	0	-1
Natrium-Schwefel-/ Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien	10	1,11	1	2	1	1	2	2	2	0	-1
Elektrolyse-Wasserstoff-Brennstoffzelle	9	1,00	1	1	1	1	2	2	2	0	-1
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	39	1,08	4	7	4	4	8	8	8	0	-4

Effizienztechniken in der Industrie

	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser		Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
						Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Effizienztechnologie Metallherzeugung (Eisen)	4	0,44	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Effizienztechnologie Metallherzeugung (Nichteisen)	4	0,44	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Chancen und Potenziale Grüner Zukunftsmärkte

Querschnittstechnologie – Kältetechnik	6	0,67	2	2	1	-1	-1	-1	0	1	0	0	1
Querschnittstechnologie – Wärmeerzeugung	6	0,67	2	2	1	-1	-1	-1	0	1	0	0	1
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	20	0,56	6	8	2	-2	-2	-2	0	2	0	0	4
Energieeffizienz in Gebäuden													
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser		Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
						Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Energetische Gebäudesanierung allgm.	9	1,00	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Gebäudeautomation	5	0,56	0	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Wärmeversorgung	3	0,33	1	1	1	0	-1	-1	0	0	0	0	0
Dämmung der Gebäudehülle	-1	0,11	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	16	0,44	4	6	1	-1	-2	-2	0	2	2	2	0

Stoffliche Abfallverwertung													
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser		Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
						Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
S.A. von Nemetallen (Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Aluminium)	10	1,11	2	2	1	0	0	0	1	1	0	1	2
S.A. von Fe-Metallen (Eisen, Stahl)	9	1,00	2	1	1	0	0	0	1	1	0	1	2
S.A. von Kunststoffen (PET, HDPE, PS)	5	0,56	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	24	0,89	6	4	3	0	0	0	2	2	0	2	5

Quelle: Eigene Darstellung

³ Die Bewertung der Umweltwirkungen in Teilbericht 2 erfolgte auf der Basis eines Vergleichs mit Referenztechnologien. Ein Problem dieser Bewertung ist natürlich, dass schon die absoluten Auswirkungen der Referenztechnologien unterschiedlich sind. So gesehen, kann eine leichte Veränderung gegenüber einer Referenztechnologie für eine bestimmte Zukunftstechnologie, absolut gesehen, einer größeren Auswirkung entsprechen als eine starke Veränderung in einem anderen Bereich. Dies ist bei der Interpretation der Tabellen zu berücksichtigen.

Aus der Übersicht lassen sich diverse Schlussfolgerungen unmittelbar ableiten:

- ▶ Bis auf vier Ausnahmen entfalten alle hier untersuchten grünen Zukunftstechnologien in mindestens einem Bereich deutlich positive Auswirkungen. Bei mehr als der Hälfte geschieht dies in mehreren Bereichen.
- ▶ Keine der betrachteten Umwelttechnologien zeigt bei den beachteten Umweltbereichen sehr deutliche Verschlechterungen gegenüber der Referenztechnologie.
- ▶ In immerhin 32 Fällen verschlechtert sich aber – im Vergleich zum Referenzszenario – in einem Umweltbereich die Situation.
- ▶ Der Mittelwert aller Technologien liegt bei 0,69. Dies bedeutet – über alle Bereiche hinweg – somit eine recht schwache Verbesserung.
- ▶ Die positivsten Umweltwirkungen zeigen sich bei der stofflichen Abfallverwertung von Nicht-Eisen-Metallen, den verschiedenen Batterietypen sowie bei der Photovoltaik. Die geringsten Werte erzielen Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, die Biomasse-Technologien sowie Technologien zur Dämmung der Gebäudehülle. Die beiden letzteren erreichen insgesamt sogar nur einen negativen Mittelwert.
- ▶ Speichertechnologien und stoffliche Abfallverwertung schneiden unter dem Aspekt der Umweltwirkungen insgesamt am besten ab. Die schlechtesten Ergebnisse haben hingegen die Bereiche Energieeffizienz in der Industrie sowie in Gebäuden.
- ▶ Mit Blick auf die Umweltgüter profitieren Klima und Energie am meisten von den grünen Zukunftstechnologien. Deutliche Fortschritte durch Zukunftstechnologien ergeben sich auch für die Bereiche Schadstoffe sowie Lärm und Luft. Für Gewässer, Grundwasser und Boden zeigen sich insgesamt sogar negative Werte.

Ein separater Gesichtspunkt in den Auswertungen zur Umweltwirkung der einzelnen Technologien war die Frage, welche Rückwirkungen sich für andere Länder ergeben, insbesondere infolge des Abbaus von Rohstoffen. Tabelle 22 fasst hierzu die Ergebnisse zusammen.⁴⁵

⁴⁵ Zur besseren Auswertbarkeit wurden die in Teilbericht 2 vergebenen Bewertungen für Umweltwirkungen im Ausland übernommen (Schraffur: negative Wirkung; keine Schraffur: keine negative Wirkung) numerische Werte zugewiesen (1: negative Wirkung; 0: keine negative Wirkung).

Tabelle 22: Überblick über die Rückwirkungen auf Rohstoff-Abbauländer

Alternative Antriebstechnologien											
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
								Schadstoffe	Lärm		
Batterie-Elekt. Fahrzeuge	-4	-0,44	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0
Brennstoff-Zellen-Fahrzeuge	-4	-0,44	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0
Hybrid-Fahrzeuge	-4	-0,44	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0
Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge	-4	-0,44	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	-16	-0,44	0	0	-4	0	-4	-4	-4	0	0
Erneuerbare Energien											
	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
								Schadstoffe	Lärm		
PV	-5	-0,56	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
Windkraft	-5	-0,56	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
Biomasse	-5	-0,56	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	-15	-0,56	0	-3	-3	-3	-3	-3	0	0	0
Speichertechnologien											
	Alle	Alle	Klima	Energie	Luft	Wasser & Boden	Artenvielfalt	Gesundheit		Natürliche	Rohstoff-

	gesamt	Durchschnitt					falt & Landschaft	Schadstoffe	Lärm	che Ressourcen (biotisch)	fe (abiotisch)
Redox-Flow-Batterien	-5	-0,56	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Lithium-Ionen-Batterien	-5	-0,56	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Natrium-Schwefel-/Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien	-5	-0,56	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Elektrolyse-Wasserstoff-Brennstoffzelle	-5	-0,56	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	-20	-0,56	0	0	-4	-4	-4	-4	-4	0	0

Effizienztechniken in der Industrie

	Alle gesamt	Alle Durchschnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser		Boden	Artenvielfalt & Landschaft	Gesundheit		Natürliche Ressourcen (biotisch)	Rohstoffe (abiotisch)
						Gewässer	Grundwasser			Schadstoffe	Lärm		
Effizienztechnologie Metallerz. (Eisen)							0						
Effizienztechnologie Metallerz. (Nichteisen)							0						
Querschnittstechnologie – Kältetechnik							0						
Querschnittstechnologie – Wärmeerzeugung							0						

Energieeffizienz in Gebäuden													
	Alle gesamt	Alle Durch schnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser		Bo- den	Arten- vielfalt & Land- schaft	Gesundheit		Natürliche Ressour- cen (biotisch)	Rohstof- fe (abio- tisch)
						Ge- wäs- ser	Grund - was- ser			Schad- stoffe	Lärm		
Energetische Ge- bäudesanierung allgm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gebäude-automation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wärmeversorgung	-1	-0,11	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dämmung der Ge- bäudehülle	-2	-0,22	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	-3	-0,08	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0

Stoffliche Abfallverwertung													
	Alle gesamt	Alle Durch schnitt	Klima	Energie	Luft	Wasser		Bo- den	Arten- vielfalt & Land- schaft	Gesundheit		Natürli- che Ressour- cen (biotisch)	Roh- stoffe (abio- tisch)
						Ge- wäs- ser	Grund- was- ser			Scha- d- stoffe	Lärm		
S.A. von Ne- Metallen (Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Alu- minium)	3	0,33	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
S.A. von Fe- Metallen (Eisen, Stahl)	3	0,33	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
S.A. von Kunst- stoffen (PET, HDPE, PS)	3	0,33	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
Umweltwirkung der Technologien des Teilmarktes (ges.)	9	0,33	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0	0
Gesamtwirkung aller Umwelttechnologien													
	Alle gesamt	Alle Durch schnitt	Klima	Ener- gie	Luft	Wasser		Bo- den	Arten- vielfalt & Land- schaft	Gesundheit		Natürli- che Ressour- cen (biotisch)	Roh- stoffe (abio- tisch)
						Ge- wäs- ser	Grund- was- ser			Scha- d- stoffe	Lärm		
Gesamte Um- weltwirkung aller Technologien		-0,23	-1	-3	-12	-5	-5	-5	-8	-8	-8	0	0

Quelle: Eigene Darstellung

Die vergleichende Darstellung zeigt:

- ▶ Die Auswirkungen in den Abbauländern sind niedrig. Es erfolgte in keinem einzigen Fall die Einstufung „deutliche Auswirkung“.
- ▶ Überwiegend führen die Umwelttechnologien zu negativen Rückwirkungen auf die Abbaugebiete. Von den betrachteten 22 Umwelttechnologien gilt dies immerhin für 13 Technologiezweige.
- ▶ Nur ein Bereich grüner Zukunftstechnologien, die stoffliche Abfallverwertung, weist positive Rückwirkungen im Ausland auf. Dies gilt in diesem Bereich für alle betrachteten Umwelttechnologien.
- ▶ Am schlechtesten schneiden Speichertechnologien sowie alle Erneuerbaren-Energien-Technologien ab.
- ▶ Mit Blick auf die betroffenen Umweltgüter heben sich vor allem Luft, Artenvielfalt und Landschaft sowie Gesundheit (Lärm und Schadstoffe) ab: Hier sind die negativen Umweltwirkungen am stärksten.

4.3 Umweltpolitische Probleme und Potenziale

Über diese unmittelbaren Beobachtungen hinaus folgen aus den Tabellen eine Reihe – aus umweltpolitischer Sicht – positiver wie negativer Schlüsse. Diese müssen bei der Frage, wie die Umweltpolitik sinnvoll mit den Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien umgehen sollte, die Ausgangsbasis sein.

Positiv ist zunächst hervorzuheben, dass die meisten Umwelttechnologien nicht nur (einseitig) bei einem Umweltmedium Schäden reduzieren. Vielmehr wirken sie vielfach als „Breitbandmittel“, d. h. sie entfalten multiple positive Wirkungen. Über die Ursache dafür lässt sich an dieser Stelle keine Aussage treffen. Dieser Effekt mag u.a. auf folgenden Faktoren beruhen: der Trend zu einer generellen technologischen Weiterentwicklung, ein zunehmendes Umweltbewusstsein, eine erhöhte Erwartungshaltung potenzieller Käufer sowie ein immer stärkeres staatliches Einwirken hin zu einem umweltbewussten Wirtschaften.

Begrüßenswert ist auch, dass sich die Umwelttechnologien in ihrer positiven Wirkung oft überlagern. Daher kann es – ggf. auch durch eine Vielzahl kleiner Effekte – zu einer deutlichen Verbesserung der Umweltsituation kommen. So wurden etwa im Bereich Luft kaum deutliche (positive) Umwelteffekte einzelner Technologien gesehen. Sehr wohl wurden jedoch zahlreiche kleine Beiträge, die aus unterschiedlichen Technologielinien stammen, erkannt. Der Einsatz zahlreicher grüner Zukunftstechnologien kann somit potenziell bewirken, dass für die Umwelt positive Synergieeffekte entstehen.

Eine deutliche Überlagerung positiver Wirkungen von Umwelttechnologien aus unterschiedlichen Bereichen findet sich vor allem bei Klima und Energie. Fast jede betrachtete Technologie weist hier Vorteile gegenüber den bisherigen Referenztechnologien auf. Zwar ergeben sich aus den Betrachtungen keine Absolutwerte hinsichtlich CO₂-Einsparpotenzialen und vermindertem Energieverbrauch. Jedoch lässt sich aus der Analyse die Vermutung ableiten, dass die Zukunftstechnologien hier entscheidend dazu beitragen können, negative Umweltwirkungen zu verringern.

Die umweltförderlichen Wirkungen vieler Zukunftstechnologien über ein breites Feld hinweg untermauern grundsätzlich auch das positive Bild dieser Technologien. Vielfach leisten sie das, was von ihnen erwartet wird: einen substantiellen Beitrag auf dem Weg hin zu einer Green Economy.

Aus methodischer Sicht ist ein weiterer Punkt ergänzend anzumerken: Die Auswertungen zeigen, dass grobe Abschätzungen der Umweltwirkungen einzelner Technologielinien auch mit begrenztem Aufwand grundsätzlich möglich sind. Auch dort, wo sich aus der Literatur bzw. aus bisherigen Studien keine oder nur geringe Schlüsse ergeben, kann man über Expertenurteile mit einer gewissen Genauigkeit (und weitgehend übereinstimmenden Einschätzungen) zu einer Bewertung der jeweiligen Technologie gelangen.

Einerseits liefert die Studie gemäß den erwähnten Punkten zahlreiche Argumente für den Einsatz grüner Zukunftstechnologien. Andererseits weist sie auch auf diverse Probleme hin.

Zwar werden alle untersuchten Umwelttechnologien als Green Technologies bezeichnet und gemeinhin so gesehen. Aber einige unter ihnen kommen (s. o.) insgesamt nur auf einen negativen Mittelwert oder sie behaupten sich nur im untersten positiven Bereich. Zählt man die negativen Auswirkungen in den Abbauländern hinzu, vergrößert sich die Zahl der Technologien, die nur bedingt den Erwartungen an eine Green Technology entsprechen, noch. Genau genommen weisen

sogar recht viele Green Technologies eben auch kleine „braune“ Flecken auf. Dies sollte bei ihrer Darstellung, ihrer grundsätzlichen Bewertung und dem (politischen) Umgang berücksichtigt werden.

Die Betrachtung der Umweltwirkungen zeigt, dass Verlagerungseffekte entstehen können: bei den Umweltmedien, in räumlicher Hinsicht sowie – damit eng verknüpft – bei den Produkt-Lebenszyklen.

- ▶ Umweltmedien: Hier zeigte sich eine auffällige Diskrepanz zwischen (positiven) Wirkungen auf Klima und Energie sowie (negativen) Folgen für Gewässer und Böden. Allerdings spielt dabei auch die Auswahl der untersuchten Technologien eine wichtige Rolle. So wurde der Zukunftsmarkt für Wassertechnologien nicht berücksichtigt. Die Auswertung legt aber nahe, was schon Teilbericht I thematisiert hatte (vgl. Seite 60): Zurzeit liegt im Umweltechnologiebereich ein starker Fokus auf Klimaschutztechnologien. Die übrigen Technologiezweige treten dagegen etwas in den Hintergrund.

Zwar sind eine gewisse Priorisierung und ein bestimmter Fokus auf einzelne Bereiche gewiss nötig und auch selbstverständlich. Fraglich ist jedoch schon, ob nicht zu intensiv auf den Bereich Energie/Klima geblickt wird. Dies gilt umso mehr, wenn sich dadurch negative Rückwirkungen in anderen Umweltbereichen ergeben. Immerhin zeigen 9 der 22 untersuchten Technologielinien neben meist deutlich positiven Wirkungen auf Klima und/oder Energie auch negative Folgen für Boden oder Gewässer. Problematisch ist auch, dass sich hier diverse negative Effekte überlagern. Auch wenn die negativen Folgen der einzelnen Technologien vielleicht nicht besonders bedeutend wirken, kann die Summe aller negativen Effekte, die sich dann in einem bestimmten Umweltsektor konzentrieren, ggf. spürbare Probleme verursachen.

- ▶ In räumlicher Hinsicht zeigt die Auswertung zu den Rückwirkungen in Abbaugebieten, dass Green Technologies in Drittländern vielfach negative Umweltfolgen verursachen. Während die Umweltwirkungen der einzelnen Produkte immer weiter reduziert werden und teils auch die Umwelteffekte der Produktion dieser Produkte im Inland, ergeben sich neue, zusätzliche Umweltschäden in den Ländern, die die Rohstoffe für die Produktion der jeweiligen Güter bereitstellen.

Ein weiterer Punkt ist problematisch zu würdigen: In mehreren Zukunftsmärkten zeigt sich, dass die verschiedenen (alternativen) Technologielinien, die dort entwickelt werden bzw. teils jetzt schon zum Einsatz kommen, ähnliche oder sogar weitgehend identische Muster positiver und negativer Umweltwirkungen aufweisen. Es gibt dort folglich aktuell kaum Alternativen, wenn man die ökonomischen und ökologischen Chancen, die sich mit dem jeweiligen Zukunftsmarkt verbinden, nutzen möchte.

4.4 Schlussfolgerungen für die Förderung *wirklich* grüner Zukunftsmärkte

Die Erkenntnisse, die sich aus den Ergebnissen von Teilbericht 2 ableiten lassen, sind zwar sehr unterschiedlich. Gleiches gilt für die identifizierten Probleme. Betrachtet man jedoch die umweltpolitischen Implikationen, die daraus folgen, stellt man rasch fest, dass sie gleiche oder ähnliche Lösungsansätze erfordern. Wichtige Ansatzpunkte liegen beispielsweise bei der Gestaltung der Förderpolitiken oder der Kommunikation zu grünen Zukunftstechnologien.

Die vorrangigen umweltpolitischen Ansatzpunkte werden im Folgenden separat voneinander erörtert. Der Fokus liegt dabei auf der umweltpolitischen Gesamtsteuerung sowie auf der Gestaltung von Handlungsstrategien zur Förderung grüner Zukunftsmärkte. Außerdem werden die Folgen für das Leitbild „Green Economy“ und dessen Kommunikation vertieft. Die Bedeutung von Foresight bei der künftigen Gestaltung von Umweltpolitik wird ebenfalls diskutiert. Geprüft wird weiterhin die Rolle einzelner weiterer umweltpolitischer Instrumente und ihrer Kombination, um negative Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien zu verringern.

4.4.1 Die strategische Dimension

Die Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien werden bislang kaum diskutiert und, falls doch, recht einseitig reflektiert. Zumeist wird eher unbesehen davon ausgegangen, dass diese Technologien positiv auf die Umwelt wirken, ohne dass das Ausmaß genauer betrachtet, die Grenzen bedacht und negative Rückwirkungen berücksichtigt werden.

Weder die nationale Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2002) noch die Hightech-Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF 2010) oder die Rohstoffstrategie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi 2010a) widmen sich der Thematik oder beziehen diese explizit in die strategischen Überlegungen ein. Gleiches gilt für die Strategie Ressourceneffizienz (BMU 2008), den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität (Bundesregierung 2009) sowie für das Strategiepapier, das der damalige Bundesaußenminister Frank-Walter Steinmeier gemeinsam mit dem früheren Bundesumweltminister Sigmar Gabriel zu Investitionen in die GreenTech-Branche erstellte (Gabriel & Steinmeier 2009).

Historisch lässt sich gut nachvollziehen, weshalb die Umwelteffekte grüner Zukunftstechnologien nicht genauer betrachtet wurden. Als in den 70er- und 80er-Jahren eine etwas systematischere und breiter angelegte Umweltschutzpolitik begann, entstanden dadurch für die Wirtschaft zwangsläufig zusätzliche Kosten (Einbau nachsorgender Umwelttechnologien, Internalisierung der externen Kosten über neue Steuern und Abgaben etc.). Damit trat die Umweltpolitik zunächst als Antagonist der Wirtschaftspolitik auf. Dieses Bild hat sich lange gehalten. Das Hauptaugenmerk der Umweltpolitik der 90er- sowie der beginnenden 2000er-Jahre musste darauf liegen, diesen Antagonismus zu beseitigen. Denn nur so war es möglich, tiefgreifende Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu erreichen. Die ökologische Modernisierung, die ökologische Industriepolitik und ähnliche konzeptionelle Ansätze propagierten daher die Überwindung des ursprünglichen Antagonismus. Die zunehmende Einsicht aller Beteiligten, dass aktiver Ressourcenschutz sowie die Bemühungen zur Energieeffizienz letztlich die Wettbewerbsfähigkeit fördern, hat dazu geführt, dass die Umweltpolitik aus ihrer sehr schwierigen Position herausgewachsen ist und nun eindeutig mehrheitsfähig ist. Wie in Teilbericht I dargestellt, sind starke grüne Zukunftsmärkte entstanden, die inzwischen einen wichtigen Beitrag zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung leisten. Umweltschutz hat eindeutig den „Mainstream“ erreicht. Dies gilt ganz besonders auch für den Einsatz grüner Zukunftstechnologien, die in Industrie, Gewerbe und in privaten Haushalten inzwischen weite Anwendung finden.

Mit der Verbreitung umweltpolitischer Grundansätze (und Lösungsstrategien) in Wirtschaft und Gesellschaft geht aber auch die Gefahr einher, dass manche Anliegen des Umweltschutzes zurücktreten, weil sie für ein solches „Mainstreaming“ weniger geeignet sind. Ebenso kann es passieren, dass andere Anliegen im Zuge der Einbettung in einen gesamtgesellschaftlichen Diskurs transformiert werden. Weiterhin ist es möglich, dass, wie erwähnt, dem Mainstream entgegenstehende Aspekte zunächst ausgeblendet werden. Nach einer Phase der Erfolge beim Mainstreaming des Umweltschutzes ist es somit jetzt an der Zeit, inne zu halten und diese Erfolge kritisch zu reflektieren. Dazu gehört auch, sich die Frage zu stellen, wie tragfähig der Pfad ist, Umweltschutz über grüne Zukunftstechnologien voranzutreiben, welche Probleme sich dadurch lösen lassen und welche nicht und wo ggf. neue Herausforderungen entstehen. Die Ergebnisse aus dem Teilbericht 2 und ihre Würdigung in Abschnitt 3.4 belegen eindeutig, dass solche Review-Prozesse notwendig sind. Die vorliegende Studie ist Teil eines solchen grundlegenden Review-Prozesses.

Zurzeit ist die deutsche Umweltpolitik nur begrenzt darauf ausgelegt, in eine neue Phase jenseits des umweltpolitischen Mainstreamings einzutreten. So fehlt es an Daten, Know-how und nötigen Instrumenten, um die Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien kritisch zu reflektieren. Noch schlechter sieht es aus, wenn es darum geht, die Schlussfolgerungen der kritischen Reflektion um- und durchzusetzen. Denn das bestehende umweltpolitische Instrumentarium ist darauf noch nicht ausgelegt. Nur selten lassen sich Ansatzpunkte identifizieren, die es umweltpolitischen Instrumenten ermöglichen, an positiven und negativen Umweltwirkungen von Umwelttechnologien, an die sie sich richten, gezielt anzuknüpfen. Zwar wird etwa das Instrumentarium des Impact Assessments an verschiedenen, umweltpolitisch bedeutsamen Stellen ausgebaut. Doch dies vollzieht sich noch weit entfernt von der Entwicklung grüner Zukunftsmärkte.

Bevor nun einzelne umweltpolitische Maßnahmen ergriffen werden, ist es wichtig, die notwendigen Grundvoraussetzungen zu schaffen. Vorrangiger Handlungsbedarf besteht also gerade auch auf strategischer Ebene.

Das bedeutet zunächst, dass die deutsche Umweltpolitik stärker als bisher auch eine kritische Rolle gegenüber grünen Zukunftstechnologien einnehmen muss. Sie muss hier stärker differenzieren und den Willen haben, die Entwicklung zu beeinflussen. Dabei muss sie sich gleichzeitig bewusst sein, dass – jenseits harter staatlicher Eingriffe – der Markt entscheidet, welche Technologien Erfolg haben und welche nicht. Die Umweltpolitik hat hier zwar einen gewissen Einwirkungsspielraum. Jedoch kann die Bundesregierung bzw. das Bundesumweltministerium als einer von vielen Akteuren nur begrenzt Einfluss ausüben. Eine sehr einseitige Positionierung zugunsten einzelner Technologielinien wäre riskant.

Letztlich ist umweltpolitisch zu gewährleisten, dass auf breiter Front ein dauerhaftes Steuerungspotenzial besteht und dieses nicht durch einseitige Festlegungen auf bestimmte Technologielinien beschnitten wird.

Zu einem umfassenden Steuerungsansatz gehören:

- ▶ Monitoring und Foresight mit Blick auf die Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien
- ▶ frühzeitige Eingriffe bei der Förderung der Technologien
- ▶ Transparenz und eine klare Kommunikation mit Blick auf den Themenkomplex
- ▶ eine konzeptionelle Weiterentwicklung des Leitbildes Green Economy sowie
- ▶ die Schärfung des bestehenden Instrumentariums in Einzelbereichen und die Verbesserung ihrer Verknüpfung

Diese Punkte werden im Folgenden in einzelnen Abschnitten aufgegriffen. Sie allein reichen jedoch noch nicht. Daneben sind auch noch weitere grundlegende Aspekte zu berücksichtigen, die dazu führen können, dass sich in der deutschen Umweltpolitik die Gewichtung einzelner strategischer Elemente verschiebt.

Neue Schwerpunkte für die Umweltpolitik

Das Bild, das sich bei den Umweltwirkungen grüner Technologien zeigt, ist recht uneinheitlich. Fast alle Umwelttechnologien tragen deutlich dazu bei, den Klimaschutz zu stärken und/oder Verbesserungen im Bereich der Energie zu schaffen. Dagegen profitieren die übrigen Bereiche deutlich weniger von der Entwicklung der Umwelttechnologien. Es besteht hier somit ein recht einseitiger Fokus. Dieses Ergebnis lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch dann nicht revidieren, wenn man alle grünen Technologielinien gleichermaßen betrachtet und nicht nur jene Felder, die im Rahmen der Untersuchung vertieft geprüft wurden.

Aus umweltpolitischer Sicht ist diese Situation unbefriedigend. Umweltprobleme existieren nicht nur im Klima-/Energiebereich. Eine strategisch angelegte Umweltpolitik kann jedoch nicht darin bestehen, zyklisch mal das Gewicht vollständig auf einen Schwerpunkt zu legen und ein Jahrzehnt später die fortbestehenden und sogar neu entstandenen Probleme in einem anderen Bereich anzugehen. Die Zeit, in der die Umweltpolitik noch als „Feuerwehr“ tätig war, wie etwa beim Waldsterben in den 80er-Jahren, sollte definitiv vorbei sein. Umweltpolitik muss heute auf systematischen und strategischen Ansätzen fundieren und langfristig geplant sein.

Aus dem Teilbericht I ergibt sich, dass die positiven Umweltwirkungen, die sich durch umwelttechnologische Fortschritte in diversen Zukunftsmärkten erreichen lassen, sehr bedeutsam sind. Zwar ändert der Einsatz grüner Zukunftstechnologien innerhalb Deutschlands nur wenig an der globalen Klimasituation sowie an den weltweiten Energieversorgungsstrukturen. Dennoch kann Deutschland – jenseits der reinen Vorbildfunktion im Klima- und Energiebereich – über den Export seiner grünen Zukunftstechnologien substantiell zum internationalen Klimaschutz und zur internationalen Neuausrichtung der Energiestrukturen beitragen.

Allerdings ist derzeit der Preis dafür recht hoch. Der einseitige Fokus auf Energie und Klima bewirkt, dass Kapital, Human Resources und Innovationskraft vor allem dorthin fließen. Alle anderen Bereiche stehen dagegen zurück. Mehr noch: Die Untersuchung ergibt, dass diverse Umwelttechnologien – außerhalb des Bereichs Klima und Energie – sogar negative Effekte auslösen. Es stellt sich somit die Frage, welche Umweltprobleme der Klimaschutz erst verursacht.

Zielabgleich und Neuausrichtung

Notwendig ist ein Ansatz, der ganzheitlich alle Umweltgüter erfasst und der – ausgehend von der Diskrepanz zwischen der derzeitigen Situation und den gesetzten Umweltzielen – die künftigen Schwerpunkte definiert. Das gilt auch für die Politik gegenüber den grünen Zukunftsmärkten. Als Basis, um die umweltpolitischen Potenziale und Chancen der grünen Zukunftstechnologien zu bewerten und ihre Bedeutung für künftige umweltpolitische Strategien zu definieren, sollte der Abgleich mit denjenigen Umweltzielen dienen, die auf nationaler, europäischer oder internationaler Ebene (für Deutschland) formuliert wurden.⁴⁶ Zentrale Frage sollte dabei sein, inwiefern die Umwelttechnologien dazu beitragen

⁴⁶ Umweltziele existieren zwar auf sehr breiter Ebene. Sie sind aber noch recht unübersichtlich und an keiner Stelle offiziell zusammengefasst. (vgl. aber Knopf, Jutta; Ingmar Mundt, Robert Kirchner, Walter Kahlenborn, Jürgen Blazejczak, Dietmar Edler, Wolf-Peter Schill, Christian Sar-

können, diese Ziele zu erreichen und inwieweit sie es gerade dort können, wo die Situation besonders schwierig ist und die Entwicklung eher entgegengesetzt verläuft.

Im Rahmen der Studie war es nicht möglich, die Umwelteffekte der einzelnen betrachteten Technologien mit den diversen umweltpolitischen Zielen systematisch zu vergleichen. Dennoch lässt sich ein erster Abgleich mit den Zielen und Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie vornehmen. Dabei zeigt sich, dass in einigen besonders kritischen Problembereichen die betrachteten Technologien keine oder sogar negative Folgen bewirken. Natürlich gilt hier die Einschränkung, dass andere Umwelttechnologielinien teils mehr Potenzial haben, an der Zielerreichung mitzuwirken. Allerdings wird dies kaum für alle Bereiche gelten.

Betrachtet man die Ziele und Indikatoren der Nachhaltigkeitsstrategie (NHS), dann ergibt sich beispielsweise, dass die grünen Zukunftstechnologien viel Potenzial bieten, um in Produktion und Betrieb noch mehr Energie einzusparen, und dass diese Möglichkeiten zurzeit noch nicht ausgeschöpft sind (Laut NHS-Bericht bleibt der Indikator „Energieproduktivität“ bei Fortsetzung der derzeitigen Entwicklung im Zieljahr um mehr als 20 Prozent hinter dem Zielwert zurück.) Bei den Indikatoren „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ sowie „Energieverbrauch im Gütertransport“ verläuft die aktuelle Entwicklung sogar den NHS-Zielen entgegen. Grüne Zukunftstechnologien könnten hier sicher stärker als bisher zu Verbesserungen beitragen.

Dagegen mahnen die Resultate dieser Studie zur Vorsicht hinsichtlich einer positiven Bewertung beim Indikator „abiotische Rohstoffproduktivität“. Hier wird zwar der momentane Trend – laut NHS-Bericht – nur zu einer relativ geringen Abweichung vom Zielwert führen. Doch die Einschätzung, wie die grünen Technologien auf diesen Indikator wirken, macht deutlich, dass auch sie das Problem der Rohstoffverknappung nicht lösen können. Sie erhöhen zwar die Effizienz, sind aber vom fortwährenden Abbau seltener Rohstoffe abhängig.

Aus strategischer Sicht bedeutet dies, dass die Umweltpolitik gerade hier neue Schwerpunkte setzen muss. Während in den anderen Bereichen der Trend – durch die Weiterentwicklung und den zunehmenden Markteintritt neuer Technologien – ohnehin in die richtige Richtung geht, fehlt es hier noch an einem grundlegenden Umbruch in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung.

Rückbesinnung auf einen ganzheitlichen Ansatz

Die – mit der Empfehlung einer (Neu-)Justierung der deutschen Umweltpolitik verbundene – Besinnung auf einen ganzheitlichen Ansatz ist im Kern nicht neu. Vielmehr ist der medienübergreifende ganzheitliche Umweltschutz schon seit vielen Jahrzehnten auf nationaler und europäischer Ebene ein wichtiger Bestandteil umweltpolitischer Gesamtstrategien.⁴⁷

Die Forderung nach einem ganzheitlichen Ansatz gilt zum einen bezüglich der Umweltmedien. Zum anderen sollte sie auch die Umweltwirkungen umfassen, die sich im Lebenszyklus eines Produkts ergeben (von der Wiege zur Bahre bzw. von der Wiege zur Wiege, „cradle-to-cradle“). Aktuell liegt der Fokus besonders auf dem produktbezogenen Umweltschutz (z.B. die Öko-Design-Richtlinie, Energie- und Ressourcenverbrauchskennzeichnung, Product Carbon Footprint etc.). Zuvor wurde der produktionsbezogene Umweltschutz intensiv auf- und ausgebaut.⁴⁸ Die befragten Experten haben mehrfach betont, dass eine stärkere Verlagerung auf bestimmte umweltfreundliche Produkte kaum größere produktions-

torius, Rainer Walz (im Erscheinen): Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik. Synthesericht. UBA-Texteband. Dessau: Umweltbundesamt.)

⁴⁷ Vgl. z.B. die bislang sechs EU-Umweltaktionsprogramme (Europäische Union 1974, 1977, 1982, 1987, 1992, 2002); das Umweltprogramm der Bundesregierung 1971; den Entwurf eines Umweltpolitischen Schwerpunktprogramms des BMU 1998 sowie die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002).

⁴⁸ IVU-Richtlinie (abgelöst durch die IED-Richtlinie), das bereits seit 1979 bestehende Umweltinnovationsprogramm etc.

bedingte Umweltprobleme in Deutschland und Europa bewirkt. Die engen umweltgesetzlichen Regelungen für die Industrie stehen einer solchen Gefahr entgegen.

Allerdings zeigt die Betrachtung, dass es innerhalb der Herstellungskette zu einer Rückverlagerung von Umweltschäden kommen kann. Die negativen Umweltwirkungen verschieben sich immer weiter zurück zur Wiege. Das gegenwärtige Umweltinstrumentarium ist nicht adäquat ausgelegt, um dies zu verhindern. Selbst die aktuellen Bestrebungen, im Rahmen des produktbezogenen Umweltschutzes – etwa über den product environmental footprint (PEF) oder über LCAs (Life Cycle Assessments) – Umweltschäden bis zur Wiege im Produktionsprozess zu verfolgen und zu verringern, können dies nicht erreichen. Das entsprechende Vorgehen ist viel zu aufwendig und einzelfallabhängig, um erfolgreich zu sein. Hier bedarf es u. a. der Entwicklung eines neuen Instrumentariums. Dazu ist es erforderlich, die Kenntnisse darüber, welche Produktkategorien wo welche Umweltschäden verursachen, deutlich zu vertiefen. Auch ist es nötig, die internationale und bilaterale Zusammenarbeit zur Bekämpfung der vorgelagerten Umweltschäden auszubauen (vgl. Abschnitt 4.4.6).

Internationalisierung lokaler Umweltprobleme

Bereits die o. g. Verlagerung negativer Umweltwirkungen ins Ausland verlangt, über eine verstärkte internationale Zusammenarbeit im Bereich Umwelt nachzudenken. Die Ergebnisse der Studie weisen noch aus einem anderen Grund in diese Richtung. Bislang wurde bei der Betrachtung von Umweltproblemen häufig zwischen den Ebenen global (Beispiel: Klimawandel), regional/national (Beispiel: Wasserverschmutzung) und lokal (Beispiel: Lärm) unterschieden. Die Untersuchungen aus dem Teilbericht 2 zeigen jedoch, dass auch lokal abgrenzbare Umweltprobleme inzwischen durchaus eine internationale Dimension erlangen können. Dies gilt etwa bei der Festlegung technologischer Standards: Wenn künftig neue Grenzwerte für Lärmemissionen von Pkws und Elektroautos auf EU-Ebene gelten⁴⁹, dann wirkt dies ganz entscheidend auf die Lärmsituation in den urbanen Zentren ganz Europas. Aber selbst darüber hinaus wirken die festgelegten Standards: Da die Hersteller das Design der einzelnen Fahrzeugbaureihen für Auslandsmärkte nicht grundlegend ändern, exportiert Europa mit seinen Fahrzeugen auch die künftigen Lärmstandards nach Asien, Afrika und Amerika. Auf diese Weise bestimmt die EU die Lärmsituation in den dortigen Städten mit. Je stärker wir auf technologische Lösungen setzen, um Umweltprobleme einzugrenzen und zu vermeiden, desto bedeutender sind die technologischen Standards. Je enger wiederum die Weltwirtschaft global verflochten ist, desto stärker wirken die Standards in anderen Ländern.

Und die zunehmende wirtschaftliche Verflechtung erzwingt, die umweltpolitische Sicht selbst dort, wo (noch) keine Standards existieren, weiter zu internationalisieren. Die einbezogenen Experten haben etwa darauf hingewiesen, dass – aufgrund der schlechteren Umweltperformance – ein wachsender Import von Wärmepumpen die negativen Umweltwirkungen erhöhen kann. Analysen zu den Umweltfolgen einzelner Technologieentwicklungen müssen solche Handelsaspekte künftig berücksichtigen. Die Umweltpolitik ihrerseits muss die Ergebnisse einbeziehen. Nur so lassen sich deutliche Fehlentwicklungen vermeiden.

Beispiel Biosprit: Hier wurde bei der Einführung zu wenig in Betracht gezogen, welche negativen Umweltwirkungen durch den verstärkten Import der Rohstoffe/Produkte entstehen. So führt die erhöhte Nachfrage der Industrie- und Schwellenländer nach Biokraftstoffen dazu, dass der Anbau von Biotreibstoffen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen die (weniger lukrativen) Nahrungsmittel zunehmend verdrängt. Dies wiederum hat massive Folgen für die Menschen und die Umwelt, insbesondere in den Entwicklungsländern. Denn es verschärft langfristig die Nahrungsmittelknappheit in den Rohstoff-Lieferländern. Als Folge erhöht sich die Emigration aus diesen Ländern. Zudem werden große Flächen Naturland in Energieplantagen umgewandelt. Zum einen beschleunigt dies das Artensterben. Zum anderen erhöht sich – durch die Rodung von Urwäldern und der daraus resultierenden Freisetzung von gespeichertem Kohlenstoff – weltweit der Treibhauseffekt. Auf diese Weise verursacht etwa die Energiegewinnung aus indonesischem Palmöl rund 10-mal so viele CO₂-Emissionen wie die Gewinnung der gleichen Energiemenge aus Erdöl. Auch ein Zertifizierungssystem für Agrotreibstoffe, wie es die Biomasse-Nachhaltigkeits-Verordnungen eingeführt haben, kann nach Meinung von Kritikern dieses Problem nicht lösen. Denn es reduziert nicht die Gesamtnachfrage nach landwirtschaftlicher Nutzfläche. Als Folge würden landwirtschaftlichen Sektoren, für die keine Nachhaltigkeitszertifizierung existiert, auf Natur- und Regenwaldflächen ausweichen.⁵⁰

⁴⁹ Legislative Entschließung des Europäischen Parlaments vom 6. Februar 2013 zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2013-0041+0+DOC+XML+V0//DE>

⁵⁰ <http://www.upi-institut.de/biosprit.htm>; vgl. auch BUND et al. 2013; IEEP 2011; Renewable Fuels Agency 2008; HLPE 2013

Dynamik und Resilienz – Eckpfeiler einer neuen Umweltpolitik

Neben den bereits genannten Implikationen für die strategische Ausrichtung der deutschen Umweltpolitik lassen sich aus den Ergebnissen der Teilberichte 1 und 2 noch weitere Schlussfolgerungen ziehen. Um die Herausforderungen, die sich mit den Entwicklungen auf den grünen Zukunftsmärkten verbinden, zu meistern, bedarf es einer technologieorientierten und technologieverständigen Umweltpolitik. Die umweltpolitischen Steuerungsprozesse müssen rasch funktionieren. Denn nur so lassen sich die sehr dynamischen Marktentwicklungen vorhersehen bzw. umgehend nachvollziehen. Einerseits wird es in einem gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Umfeld, das sich zunehmend komplexer und dynamischer entfaltet, vielleicht sogar noch wichtiger, für die Umweltpolitik langfristige Ziele zu formulieren und diese auch durch Schlüsselakteure zu vermitteln (vgl. Jänicke et al. 2003: S. 116; Jänicke 2012: S. 148). Andererseits kann Umweltpolitik nur dann wirken, wenn sie es versteht, sich in der Detailsteuerung den rasch wechselnden Gegebenheiten anzupassen.⁵¹ Sie muss daher selber in hohem Grade dynamisch und flexibel sein. Zudem muss sie nach Möglichkeit so ausgerichtet werden, dass sie für unterschiedliche Szenarien gleichermaßen wirksam ist.

Bewusstsein der Grenzen grüner Zukunftstechnologien

Die Szenarienberechnungen im Bereich der alternativen Antriebe im Teilbericht 2 führen noch zu einer weiteren Schlussfolgerung auf strategischer Ebene. Die viel diskutierten Grenzen des Wachstums äußern sich auch dort, wo grüne Zukunftstechnologien bereits auf den Markt treten und wo sie mittelfristig ihre Entlastungspotenziale entfalten können. Zwar können sie im Einzelfall substantiell dazu beitragen, bestehende und kommende Umweltprobleme zu lösen. Dennoch werden sie sich kaum dazu eignen, die Umweltprobleme vollständig in den Griff zu bekommen. Weiteres weltweites Bevölkerungswachstum, das damit verbundene Wirtschaftswachstum (vor allem in den Schwellenländern) sowie die zunehmende Akkumulation von Schadstoffen, die das Reinigungs- und Pufferpotenzial der verschiedenen Ökosysteme immer weiter absenkt: All das führt dazu, dass dem Erfolg der grünen Zukunftstechnologien Grenzen gesetzt sind.⁵² So wird eine Verringerung der Emissionen sowie des Energieverbrauchs durch alternative Antriebe dadurch ausgeglichen, dass die individuelle Fahrleistung zunimmt und die Zahl der Personen, die Pkws nutzen, wächst.

Die Umweltpolitik kann die erwachsenden Probleme nur lösen, wenn sie neben der gezielten Förderung grüner Zukunftstechnologien auch an anderer Stelle ansetzt und weitere Instrumente nutzt (vgl. Abschnitt 2.4.2.3).

4.4.2 Die Bedeutung von Foresight

Wie im vorigen Abschnitt dargestellt, zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass besonders im Bereich Foresight (einschließlich Monitoring) verstärkte Anstrengungen notwendig sind. Insofern ist ein verschärfter Blick auf dieses Thema zu werfen. Der Grund: Grüne Zukunftstechnologien können dazu führen, dass sich negative Umweltwirkungen medial oder räumlich verlagern und sich gegebenenfalls auch überlagern. Dadurch kann aus der Summe kleiner Umweltprobleme eine größere, substantielle Herausforderung erwachsen. Zudem ist es nötig und sinnvoll, jeweils bereits vorab zu prüfen, inwieweit die hohen Erwartungen, die sich mit einzelnen grünen Zukunftstechnologien verbinden, realistisch sind. Denn trotz aller Dynamik in der Technologieentwicklung haben bestimmte Entscheidungen und Weichenstellungen sehr langfristige Implikationen. Viel diskutiert wird etwa, dass aktuelle Entscheidungen zur Energiewende, die beispielsweise zum Neubau einzelner Kohlekraftwerke führen, noch in vielen Jahrzehnten die deutsche Treibhausgasbilanz massiv beeinflussen werden. Aber auch bei verschiedenen grünen Zukunftstechnologien (etwa in den Bereichen Energieinfrastruktur und alternative Antriebstechnologien) werden jetzt die Weichen für langfristige Infrastrukturen gestellt. Diese lassen sich später kaum noch rückgängig machen. Umso wichtiger ist es, die verschiedenen umweltpolitischen Maßnahmen, die zur Steuerung nötig sind, richtig zu setzen. Dazu bedarf es verbesserter Informationen, die zumindest partiell einen Blick in die Zukunft zulassen.

⁵¹ Ein gutes Beispiel hierfür sind die Entwicklungen im Bereich Photovoltaik. Dort machten es technologische Fortschritte und Marktveränderungen in den Jahren 2009 bis 2011 erforderlich, die Fördersätze rasch zu ändern. Die Tatsache, dass dies erst mit erheblicher Zeitverzögerung geschah, führte zu massiven Kostensprüngen für die Verbraucher sowie zu einer noch immer andauernden Diskussion über die (überhöhten) Kosten der Energiewende.

⁵² Vgl. auch UNIDO 2011: UNIDO Green Industry Initiative for Sustainable Industrial Development; Duraipappah et al. 2012: Rio+20 Policy Brief.

Diverse Studien haben gezeigt, dass dieser Blick in die Zukunft auf zahlreiche Hindernisse trifft: eine unzureichende Datenlage, methodische Schwierigkeiten, rasche Technikzyklen sowie die grundsätzlichen Probleme, die bei jeder Form von Technikfolgenabschätzung bestehen (vgl. Grunwald 2010; Schippl & Jörissen 2010).

Zugleich ergibt sich jedoch aus dem Teilbericht 2, dass zumindest grobe Abschätzungen möglich sind und der Aufwand dafür begrenzt ist. In vielen Fällen sind die zu erwartenden Folgen schon jetzt mit hinreichender Genauigkeit erkennbar. Auch lassen sich relativ einfach jene Bereiche identifizieren, wo solche groben Abschätzungen zurzeit noch nicht möglich sind. Hier werden zumeist weitere Detailstudien die Kenntnislücken schließen können.

Schon derzeit gibt es diverse Bemühungen in der deutschen Umweltpolitik, die Fähigkeiten zu Foresight zu stärken. Dazu gehören etwa die vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Vorhaben „Szenarien für eine integrierte Nachhaltigkeitspolitik“, „Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik“ und „Horizon Scanning und Trendmonitoring“, ein Vorhaben, das die Chancen und Risiken eines Horizon Scanning Systems für das Umweltressort ermittelte. Zu nennen ist auch die Technologievorausschau im Rahmen des BMBF-Foresight-Prozesses. Dort finden – mit Themen wie „Klimawandel und Umweltbelastung“ – auch umweltrelevante Fragestellungen Eingang.

Grund für diese Bemühungen ist u. a. die Erkenntnis, wie wichtig es ist, bisherige und geplante umweltpolitische Maßnahmen kritisch zu reflektieren. Während dies bei den laufenden Maßnahmen (Monitoring) erkennbar immer besser funktioniert (Beispiele dafür sind das inzwischen sehr ausgefeilte Energiewende-Monitoring sowie die umfangreichen Bemühungen für ein Wirkungsmonitoring der nationalen und internationalen Klimaschutzinitiative), genügen die Anstrengungen im Foresight-Bereich noch nicht. Denn sie sind noch zu wenig konzentriert und bislang kaum systematisch. Die aktuellen, umfangreicheren Bemühungen des Umweltbundesamtes, Foresight mit Blick auf gesellschaftliche Trends zu stärken, müssten durch ähnliche Ansätze gespiegelt werden. Nur so ließen sich Umwelttechnologietrends und die spezifisch daraus erwachsenden Umweltwirkungen offen legen.

Wie wichtig eine verbesserte umwelttechnologische Foresight ist, lässt sich sehr deutlich am Beispiel der Biokraftstoffe verfolgen. Wären die Implikationen der geplanten (und dann realisierten) Maßnahmen zur Förderung des Absatzes von Biokraftstoffen frühzeitig stärker abgeschätzt und das Ergebnis kritisch reflektiert worden, hätte dies gewiss zu einer anderen Herangehensweise geführt, etwa zu einer frühzeitigeren Lenkung der Entwicklung über Mindeststandards sowie durch weitere Maßnahmen.

Ein systematisches Foresight bei den grünen Zukunftstechnologien, etwa verknüpft mit den inzwischen regelmäßig stattfindenden Erhebungen der Märkte (Umwelttechnologie-Atlas), würde es künftig u. a. erlauben:

- ▶ neu aufkommende, durch grüne Zukunftstechnologien verursachte Umweltprobleme frühzeitig zu erkennen
- ▶ bestimmte Ausgleichsmaßnahmen für diese Umweltprobleme zu identifizieren und zu planen
- ▶ das umweltpolitische Instrumentarium schon jetzt auf künftige Herausforderungen hin auszulegen
- ▶ klarere Prioritäten zu setzen, etwa mit Blick auf die Förderung einzelner grüner Zukunftstechnologien (vergleiche Abschnitt 4.4.3)
- ▶ die Grenzen dessen, was grüne Zukunftstechnologien zur Lösung der weltweiten Umweltprobleme betragen können, klarer zu identifizieren und
- ▶ daraus wiederum Schlussfolgerungen zu ziehen, welche weiteren Maßnahmen – jenseits des Einsatzes grüner Zukunftstechnologien – noch nötig sind, um die anstehenden Probleme zu beherrschen

Um diese Erkenntnisse zu erlangen, genügen bereits begrenzte Maßnahmen zur Foresight. Wichtig wäre (s. o.), die Foresight-Bemühungen zu systematisieren und zu verstetigen. Denn nur so lassen sich Strukturen schaffen, die es ermöglichen, Foresight klar in die weitere umweltpolitische Planung einzubeziehen. Der Umwelttechnologie-Atlas böte dazu einen guten Ausgangspunkt.

4.4.3 Förderpolitische Implikationen

Die bisherige Förderpraxis im Bereich grüner Zukunftstechnologien berücksichtigt kaum Charakter und Ausmaß der Umweltwirkungen, die durch die einzelnen Technologien entstehen. Eine Durchsicht diverser Förderprogramme⁵³ hat gezeigt, dass die Umweltwirkungen nur selten ein Kriterium für die Vergabe von Fördermitteln sind. Inwieweit die erwarteten Umweltwirkungen (negative wie positive) bereits in die Gestaltung der Förderprogramme eingeflossen sind, lässt sich nur bedingt aus den unmittelbar zugänglichen Dokumenten erschließen. Aber auch hier dürfte tendenziell gelten, dass eine stärkere Differenzierung mit Blick auf Ausmaß und Charakter der Umweltwirkungen eher selten ist. Zwar gibt es teilweise erkennbare Bemühungen, etwa im Bereich des Wirkungsmonitorings der Klimaschutzinitiative, bei der Förderung von Energieeffizienz in Gebäuden sowie bei der angestrebten Verbesserung der Datenbasis bezüglich der „Netto“-Klimaschutzeffekte von Bioenergieträgern. Ebenso zu nennen ist die Förderung der ökologischen Begleitforschung zur umweltverträglichen Gestaltung von Photovoltaik- und Wasserkraftanlagen im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms sowie die Betrachtung der Rohstoffeffizienz über die gesamte Wertschöpfungskette im Rahmen des Schwerpunkts „Materialeffizienz“ des Umweltinnovationsprogramms 2013. Dennoch sind die Anstrengungen, konkrete Umweltwirkungen vorher abzuschätzen, sie in die Gesamtkonzeption der Förderprogramme einzubeziehen und bei der Fördermittelvergabe zu berücksichtigen sowie eine entsprechende Monitoring- und Evaluationspraxis zu etablieren, eindeutig eher die Ausnahme als die Regel im Setup der verschiedenen öffentlichen Förderprogramme zugunsten grüner Zukunftstechnologien.

Diese Feststellung ist im Grunde erstaunlich, denn die erwarteten Umweltwirkungen sollten eigentlich ein wesentliches Argument für die Förderung selbst sein. Wie in der Untersuchung „Exportförderung innovativer Umwelttechnologien“ (Kahlenborn et al. 2010) diskutiert, ist ein staatlicher Eingriff in den freien Markt über Fördermittel keineswegs unstrittig. Die Förderung einer bestimmten Technologie, eines bestimmten Projektes oder eines bestimmten Unternehmens ist zunächst einmal eine Marktverzerrung zuungunsten anderer Technologien, anderer Projekte und anderer Unternehmen. Der Staat kann natürlich einen solchen Markteingriff vornehmen. Aber dieser sollte gut begründet sein. Unter den verschiedenen denkbaren Argumenten für solche Eingriffe ist die Förderung des Umweltschutzes – auch aus ökonomischer Sicht – am überzeugendsten. So gesehen, müssten die erwarteten und erzielbaren Umweltwirkungen bei der Konzeption von Förderprogrammen viel stärker berücksichtigt werden.

Versucht man, zu einer Einschätzung zu gelangen, ob die Höhe der vergebenen Fördermittel zumindest tendenziell mit dem erwarteten Potenzial korrespondiert, zur Lösung der aktuellen Umweltprobleme beizutragen, dann trifft man auf diverse Probleme. Eine systematische Auswertung aller Förderprogramme zu grünen Zukunftstechnologien existiert nicht. Folglich ist es erforderlich, die Förderprogramme einzeln zu betrachten. Doch ihre Vielzahl sowie die Anzahl der Vergabeinstitutionen erschweren es erheblich, zu soliden Aussagen zu kommen. Auch ermöglichen es die zugänglichen Zahlen oft nur bedingt, zwischen den tatsächlichen Fördersummen, den Kosten des Förderprogramms und den aus der Förderung resultierenden investierten Mitteln zu unterscheiden. Zudem sind keineswegs alle Förderprogramme eindeutig auf einzelne Technologien oder Technologiezweige ausgerichtet. Dadurch ist eine Zuordnung mitunter problematisch. Und selbst wenn sich Fördersummen erschließen lassen, ist natürlich beim Bewerten zu berücksichtigen, dass – je nach Reifegrad der grünen Zukunftstechnologien – verschiedene Fördermaßnahmen sinnvoll sind. Damit verbunden ist auch ein unterschiedlich intensiver Ansatz der Fördermittel. Technologien, die sich noch im allerersten Entwicklungsstadium befinden, brauchen zur Weiterentwicklung deutlich weniger Mittel als Technologien, bei denen es nun nach erfolgter Demonstrationsphase um eine breite Markterschließung geht. Ferner liegt es in der Natur der einzelnen Technologien, dass sie verschieden kostenintensiv sind und ihre Förderung somit unterschiedlich kostenträchtig ist.

⁵³ Angesichts der Vielzahl der Förderprogramme und aufgrund der Tatsache, dass es nicht Aufgabe der Studie war, eine genauere Evaluierung der Förderung grüner Zukunftstechnologien vorzunehmen, konnte es sich natürlich nur um eine kursorische Durchsicht der zahlreichen Programme handeln. Betrachtet wurden unter anderem: die Leuchttürme „Recycling“ und „Antriebstechnologie“ sowie das Programm „Erneuerbar Mobil“ im Rahmen des Regierungsprogramms Elektromobilität. Ferner wurden betrachtet: das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP), die Erneuerbaren-Energien-Projektförderung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms, die Förderinitiative „Energiespeicher“ ebenfalls im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms; das Umweltinnovationsprogramm, die Förderinitiative zu Materialien für eine ressourceneffiziente Industrie und Gesellschaft „MatRessource“ sowie das CO₂-Gebäudesanierungsprogramm).

Kein Zweifel kann darin bestehen, dass die grünen Zukunftstechnologien in Deutschland generell recht umfangreich gefördert werden. Auch wenn aufgrund der o. g. Gründe eine genaue Abschätzung kaum möglich ist, so ist es doch unzweifelhaft, dass insgesamt staatlicherseits Milliardenbeträge in die einzelnen grünen Zukunftstechnologien fließen. Die in der Gesamtsumme größten Fördermittel gehen an die verschiedenen Erneuerbaren-Energien-Technologien sowie in die Entwicklung von Speichertechnologien.

Angesichts des im Bericht aufgezeigten Potenzials, zur Lösung von Umweltproblemen beizutragen, ist es durchaus diskussionswürdig, ob gerade in diese Bereiche die meisten Fördermittel fließen sollten. Zu bedenken wäre etwa, ob – angesichts ebendieses Potenzials zur Vermeidung von Umweltproblemen – nicht mehr Fördermittel in den Bereich der stofflichen Abfallverwertung investiert werden sollten.

Auch bei den einzelnen Technologielinien ergeben sich – im Lichte der Erkenntnisse der Studie – einige Fragezeichen. So erhalten die Biomassetechnologien insgesamt eine hohe Förderung, obwohl ihr Umweltnutzen sehr kritisch gesehen werden muss. Der inzwischen eingesetzte Schwenk in der Förderpolitik bei Biomasse, insbesondere die stärkere Einbeziehung der Umweltwirkungen und damit die differenziertere Förderung, sind hier gewiss ein Schritt in die richtige Richtung.

Für die Zukunft sollte es klares umweltpolitisches Ziel sein, die mit den grünen Zukunftstechnologien verknüpften Umweltwirkungen stärker in die diversen Förderpolitiken einfließen zu lassen. Auf der Basis einer genauen Würdigung der verschiedenen Förderprogramme sollten dazu Diskussionen mit den relevanten öffentlichen Fördermittelgebern geführt werden. Sowohl der Beitrag der einzelnen grünen Technologien zur Lösung der verschiedenen Umweltprobleme als auch die ggf. dadurch verursachten negativen Umwelteffekte sollten in die Gestaltung der Förderprogramme einfließen. Dies gilt für die Ausrichtung und Grundkonzeption, die konkrete Fördermittelvergabe, das laufende Monitoring und die Evaluation des jeweiligen Programms.

Bei der Konzeption und Ausrichtung aktueller und neuer Förderprogramme wäre jeweils zu fragen, welche Umweltprobleme in welchem Umfang das Förderprogramm adressieren soll. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht jedes Umweltproblem aus umweltpolitischer Sicht das gleiche Gewicht besitzt. Wie das Monitoring zur Nachhaltigkeitsstrategie zeigt, geht in einigen Bereichen die aktuelle Entwicklung bereits deutlich in die richtige Richtung. Hier ist Deutschland auf dem besten Weg, seine umweltpolitischen Ziele zu erreichen. Dagegen ist in anderen Bereichen die Zieldiskrepanz größer, da negative Entwicklungstrends vorherrschen. Obendrein ist schon bei der Konzeption der Förderprogramme darauf zu achten, wie relevant der Beitrag der betroffenen Zukunftstechnologien sein kann.

Weiterhin ist zu prüfen, ob die erreichbaren Umweltwirkungen auch ein Vergabekriterium für Fördermittel sein können. Dies gilt ganz gewiss für die Frage, ob überhaupt Fördermittel vergeben werden. Es gilt aber auch für die Frage, ob sich – mit Blick auf die Förderquote – eine Staffelung einführen lässt. Beides existiert zwar bereits bei einzelnen Förderprogrammen. Insgesamt ist es jedoch keineswegs gewährleistet.

Bei grünen Zukunftstechnologien, die erkennbar nennenswerte negative Umwelteffekte bewirken, sollte es ein gezielter Aspekt der Förderung sein, diese negativen Folgen zu verringern. Da, wie aufgezeigt, diverse grüne Zukunftstechnologien in Rohstoffabbauländern Umweltprobleme verursachen, müssen die Förderprogramme darauf reagieren.

Soweit Informationen fehlen, um die zu erwarteten Umweltfolgen verlässlich abzuschätzen, sollte es künftig Teil der Förderpolitik sein, vor der Einrichtung und Konzeption eines Förderprogramms eine solche Analyse vorzunehmen.

Wie bereits angeschnitten, sollte in ferner Zukunft gewährleistet sein, dass die Umwelteffekte, die die Förderprogramme bewirken, soweit wie möglich erfasst und evaluiert werden. Nur so ist es möglich, in der Folgezeit steuernd in die Konzeption der Förderprogramme einzugreifen und diese entsprechend den umweltpolitischen Zielen zu optimieren.

Zu bedenken ist schließlich, ob nicht – gerade aus der in dieser Studie diskutierten Perspektive der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien heraus – eine Sammlung von Best Practices von Förderprogrammen erstellt werden sollte. Auf diese Weise ließe sich ein Lernprozess der öffentlichen Fördermittelgeber initiieren. Gute Ansätze, die in Einzelfällen bereits bestehen, könnten so weiter verbreitet werden und als Ausgangspunkt dienen, um die Fördermittelvergabe umweltpolitisch zu optimieren. Im Rahmen eines Round-Tables mit verschiedenen Fördermittelgebern könnte eine solche Best-practice-Sammlung diskutiert und beworben werden.

4.4.4 Schlussfolgerungen mit Blick auf das Leitbild einer Green Economy

Neben dem nach wie vor gültigen Leitbild der „nachhaltigen Entwicklung“ hat sich ergänzend seit einigen Jahren das Leitbild der „Green Economy“ etabliert. Ähnlich wie bei dem Begriff der nachhaltigen Entwicklung changiert auch der Terminus „Green Economy“ in seiner Begrifflichkeit je nach Position und Interessenlage desjenigen, der ihn gebraucht.

Unbestritten dürfte sein, dass ein Kernaspekt dieses Konzepts der Gedanke ist, die wirtschaftliche Entwicklung nachhaltig zu gestalten und (privat-)wirtschaftliche Kräfte dazu zu nutzen, soziale und ökologische Ziele im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu verfolgen. Hinter dem Leitbild steht also auch stark der Gedanke, den in der Vergangenheit forcierten Antagonismus zwischen Ökonomie und Ökologie zu überwinden:

„Wir sehen Green Economy als ein Konzept, das Umwelt und Wirtschaft positiv miteinander verbindet, um die gesellschaftliche Wohlfahrt zu steigern. Dabei wird Wachstum umweltverträglich gestaltet.“ (BMU 2012, S. 6)

Bei dem Begriff der Green Economy geht es nicht darum, den sozialen Aspekt zugunsten der beiden anderen Säulen des Leitbilds Nachhaltigkeit (Umwelt und Wirtschaft) zurückzustufen. Vielmehr soll der Fokus darauf gelegt werden, aufzuzeigen, wie durch grüne Wirtschaftspolitiken und durch ein gelungenes Zusammenspiel zwischen Staat und Markt die wesentlichen Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Jenseits der entwicklungspolitischen Dimensionen der Genese des Begriffs drückt die Green Economy aus umweltpolitischer Sicht eine Weiterentwicklung der vorhergehenden Debatte zur ökologischen Modernisierung und zur ökologischen Industriepolitik aus.

Zwar lässt sich der öffentliche Diskurs zu Green Economy keineswegs nur auf den Aspekt der Energie- und Ressourceneffizienz reduzieren. Dennoch ist dieser Aspekt mit der Debatte um eine Green Economy deutlich in den Vordergrund gerückt (UNDESA 2012; UNIDO 2011; Bundesregierung 2012b). Partiiell in diese Richtung wirkte auch schon der low-carbon-economy-Diskurs, der dem Green-Economy-Diskurs zeitlich teilweise vorgelagert war (und nun weiter parallel dazu läuft).

Eine ganz wesentliche Rolle innerhalb des Konzepts der Green Economy spielen die Green Technologies. Grüne Zukunftstechnologien sollen es den Märkten erlauben, die mit dem bisherigen Wirtschaften verknüpften Umweltprobleme zu reduzieren und zu beseitigen. Gleichzeitig leisten sie einen entscheidenden Beitrag dazu, die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Unternehmen, Sektoren und ganzer Volkswirtschaften zu stärken. Im Zeichen zunehmender Ressourcenknappheit und einer steigenden Energie- und Ressourcennachfrage fällt den grünen Zukunftstechnologien und Umweltinnovationen eine Schlüsselrolle zu, Wachstum bei gleichzeitig sinkendem Ressourcen- und Energieverbrauch zu ermöglichen.

Das Leitbild der Green Economy leistet sicher einen wichtigen Beitrag dazu, weitere Bereiche der Wirtschaft für dieses Thema zu öffnen und sich den ökologischen Herausforderungen zu stellen. Gerade über das Effizienzthema und die damit verbundenen Fragen zu Kosten und Wettbewerbsfähigkeit ließ sich zu weiten Teilen der Wirtschaft eine Brücke schlagen.⁵⁴

„Das „Greening“ umfasst die gesamte Wirtschaft. Die klassischen Wirtschaftszweige sind integraler Bestandteil in diesem Prozess: Zum einen unterstützt die Verankerung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in den klassischen Industrien die Entwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Zum anderen erweisen sich diese Technologien als Modernisierungstreiber für die klassischen Industrien selbst, insbesondere bei der Verbesserung ihrer Energie-, Rohstoff- und Materialeffizienz.“ (BDI & BMU 2012: Memorandum für eine Green Economy)

Vor diesem Hintergrund haben die Ergebnisse der Studie auch Implikationen auf das Leitbild einer Green Economy.

- ▶ Grundsätzlich bestärken die Untersuchungsergebnisse das Leitbild. Wie die Auswertung zu den einzelnen grünen Zukunftstechnologien gezeigt hat, können sie vielfach in verschiedenen Bereichen deutliche positive Um-

⁵⁴ Vgl. etwa BDI 2009 BMU 2012a; BMU 2012g; BDI & BMU 2012; Deutsches Aktieninstitut 2011; Econsense 2012; sowie die Arbeit des Kompetenzpools Ressourceneffizienz oder der „Klimaschutz-Unternehmen“

weltwirkungen auslösen. Sie sind daher durchaus geeignet, einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der aktuellen und künftigen umweltpolitischen Herausforderungen zu leisten. Das bedeutet: Sie können die große Bedeutung, die ihnen das Leitbild Green Economy zuschreibt, erfüllen. Dies ist sicherlich wichtig für die Glaubwürdigkeit des Leitbildes innerhalb Deutschlands. Es ist aber auch wichtig für die internationale Diskussion. Gerade jene Länder, die unter akuten Umweltproblemen noch stärker leiden als Deutschland, können von dem Leitbild einer Green Economy und der forcierten Weiterentwicklung grüner Zukunftstechnologien besonders profitieren.

- ▶ Gleichzeitig weisen die Studienergebnisse darauf hin, dass nicht alle Umweltprobleme in gleicher Weise und gleich gut von den umwelttechnologischen Fortschritten adressiert werden. Nachdem das Leitbild einer Green Economy inzwischen breite Akzeptanz auch in der Wirtschaft gefunden hat, ist es nun wichtig, auch jene umweltpolitischen Bereiche wieder verstärkt in den Fokus zu nehmen, die sich rein marktwirtschaftlichen und technologischen Lösungen verschließen bzw. auf diesem Wege nur schwer zu erreichen sind. Der klassische, medienintegrierte Umweltschutz wird weiterhin eine wichtige Rolle spielen müssen, um die ökologischen Ziele einer nachhaltigen Entwicklung zu verwirklichen. Im gemeinsamen Memorandum zwischen BMU und BDI wird dies partiell aufgegriffen: „Eine Green Economy begrenzt ökologische Risiken und nutzt wirtschaftliche Chancen. Es geht insbesondere darum, schädliche Emissionen und Schadstoffeinträge in alle Umweltgüter noch stärker zu vermeiden [...]“ (BDI & BMU 2012). Wichtig wird sein, diesen Gedanken weiter voranzutragen und den Gedanken des Umweltschutzes allgemein, der in der Diskussion um eine Green Economy mitunter etwas zurücktritt, wieder zu stärken.⁵⁵
- ▶ Damit das Leitbild einer Green Economy auch international weiter an Bedeutung gewinnt, wird es drauf ankommen, auch die in der Studie skizzierten negativen Wirkungen grüner Zukunftstechnologien, insbesondere in den Abbaugebieten von Rohstoffen, offenzulegen. Wie die Konferenz Rio+20 im Jahr 2012 gezeigt hat, gibt es gerade auf Seiten der Entwicklungsländer nicht unerhebliche Vorbehalte gegenüber dem Konzept einer Green Economy. Die Fokussierung auf eine marktwirtschaftliche Lösung der zentralen entwicklungs-, sozial- und umweltpolitischen Probleme sehen durchaus viele Länder kritisch. Entsprechend gibt es auf internationaler Ebene zum Thema Green Economy zurzeit nur begrenzt Fortschritte. Weitere Erfolge in diesem Politikfeld werden zentral davon abhängen, dass es gelingt, die Glaubwürdigkeit des Leitbildes zu stärken. Hierzu müssen jedoch die Probleme, die bei einer weiteren Entwicklung der grünen Zukunftstechnologien entstehen, offen angesprochen werden. Gemeinsam mit den betroffenen Ländern müssen umwelt- und entwicklungspolitische Lösungen gesucht werden (vgl. Abschnitt 4.4.6). Andernfalls werden mit dem Ausbau der grünen Zukunftstechnologien im Leitbild Green Economy braune Flecken entstehen.
- ▶ Bedeutsam für das Leitbild ist auch, dass die vorliegende Studie die Grenzen der Wirkfähigkeit grüner Zukunftstechnologien aufzeigt. Wie etwa in den Szenarien zu alternativen Antriebsystemen (vgl. Teilbericht 2) dargestellt, ist nicht damit zu rechnen, dass der umwelttechnologische Fortschritt hier die Umweltsituation verbessern wird. Vielmehr werden die technischen Fortschritte durch eine zunehmende Fahrleistung sowie (international) durch einen Bevölkerungsanstieg überkompensiert. Marktwirtschaftliche Mechanismen allein können also nicht zu einer nachhaltigen Entwicklung führen. Die Green Economy endet dort, wo sie nur als Umsetzung von „green growth“ verstanden wird. Um die bevorstehenden umweltpolitischen Herausforderungen zu bewältigen, muss das Leitbild vielmehr auch Elemente beinhalten, die eine absolute Reduktion von Rohstoff- und Energieverbräuchen sowie absolute Minderungen bei Schadstoffeinträgen garantieren. Dies in einer Weise zu tun, dass das Leitbild einer Green Economy weiterhin weltweit Anziehungskraft ausübt, ist eine große Herausforderung. Dies muss jedoch, wie die Erkenntnisse der Studie nahelegen, gemeistert werden.

⁵⁵ Der Begriff „Umweltschutz“ findet sich beispielsweise kaum in der BMU-Publikation (BMU 2012d) sowie im gemeinsamen Memorandum mit dem BDI (BDI & BMU 2012).

4.4.5 Grenzen der Kommunikation zu Green Technologies

Nicht nur das Leitbild der Green Economy sollte angesichts der Erkenntnisse der Studie überdacht und gegebenenfalls künftig anders kommuniziert werden, sondern auch das Bild der grünen Zukunftstechnologien.

Fast alle betrachteten grünen Zukunftstechnologien weisen – zwar keine bedeutenden, aber eben vorhandene – negative Umweltwirkungen in einem oder mehreren Bereichen auf. „Grün“ im Sinne von wirklich umweltverträglich sind nur die wenigsten Technologien. Natürlich wird man den Standpunkt vertreten können, dass Umweltverträglichkeit aus pragmatischen Gründen vielfach ein gewisses Maß an negativen Umweltwirkungen einschließen muss. Aber für die Kommunikation mit der breiten Öffentlichkeit müsste auch dies transparent sein. Denn die breite öffentliche Unterstützung für die umfangreichen Fördermaßnahmen zugunsten grüner Zukunftstechnologien könnte schnell ins Wanken geraten, wenn der Eindruck entstünde, dass unter dem Deckmantel „grüner“ Technologien in Wirklichkeit (teils) umweltunverträgliche Techniken verkauft werden sollen.

Zudem sollte in der Öffentlichkeit der Anschein vermieden werden, grüne Zukunftstechnologien würden – gemessen am gegenwärtigen Zustand – nicht nur relativ, sondern auch absolut dem Umweltschutz dienen, frei nach dem Motto: Je mehr grüne Umwelttechnologien wir einsetzen, desto mehr tun wir für die Umwelt. Dort, wo grüne Zukunftstechnologien allein in der Produktion zum Einsatz kommen, spielt dies eine geringere Rolle. Denn hier wird ihre Verwendung durch die Nachfrage nach den hergestellten Gütern begrenzt. Anders sieht es dort aus, wo die grünen Zukunftstechnologien unmittelbar mit Konsumgütern verknüpft sind. Bei alternativen Antrieben etwa könnte ein Label „Grüne Zukunftstechnologien“ dazu führen, dass bei den Konsumenten der Eindruck entsteht, Autofahren sei nun nicht mehr umweltschädlich und somit eine Erhöhung der Fahrleistung oder der Erwerb weiterer Autos ökologisch unbedenklich.

Präzise genommen wird man bei den meisten grünen Zukunftstechnologien nicht von *grün*, sondern nur vergleichend von *grüner* sprechen können. Dies ist natürlich weniger attraktiv, um für eine breite öffentliche Unterstützung zu werben. Doch es spiegelt die Sachlage deutlich besser wider. Die grünen Zukunftstechnologien lösen in den wenigsten Fällen die mit dem bestehenden Wirtschaften verbundenen Umweltprobleme völlig auf. Vielmehr mildern sie diese nur.

In der recht vielfältigen Kommunikation des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes zu grünen Zukunftstechnologien wird dieser Aspekt bislang wenig deutlich.⁵⁶ Seinen Niederschlag findet das Thema zurzeit nur dort, wo in Einzelfällen öffentliche Debatten über negative Umweltwirkungen bestimmter Technologien stattfinden. Beispiele dafür sind die Windkraft, die energetische Nutzung von Biomasse sowie (sporadisch) Kleinwasserkraftanlagen und Pumpspeicherwerke. Eine deutlichere Bewertung der Umweltwirkungen der verschiedenen grünen Zukunftstechnologien und eine transparentere Kommunikation können sicher dazu beitragen, solche Diskussionen zu objektivieren, sie schon im Vorfeld in sachgerechte Bahnen zu lenken und insgesamt in der Gesellschaft eine tragfähige Grundlage für den Ausbau grüner Zukunftstechnologien zu schaffen.

4.4.6 Das weitere umweltpolitische Instrumentarium

Jenseits der bisher behandelten Ansätze, umweltpolitische Strategien zu optimieren, sollten weitere Instrumente genutzt werden, um das Potenzial grüner Zukunftstechnologien, Umweltprobleme zu lösen, noch besser auszuschöpfen und negative Umweltwirkungen stärker zu kontern.

Wie bereits erwähnt, zeichnet sich ab, dass die Probleme, die aus dem Einsatz grüner Zukunftstechnologien in Rohstoffabbauländern erwachsen, künftig noch stärker als bisher im Fokus stehen müssen. Erforderlich ist eine genaue Analyse, welche Rohstoffe/Abbauländer im Einzelnen betroffen sind und wie die zu erwartenden Effekte konkret ausfallen werden. Daneben gilt es, ein Instrumentarium zu entwickeln, das diese Umweltprobleme weitestgehend reduzieren kann. Hierbei ist es möglich, teilweise auf die sehr umfangreichen Bemühungen im Bereich der Ressourcengovernance zurückzugreifen.

⁵⁶ Vgl. etwa BMU, UBA 2008: Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten; BMU, UBA 2007c: Wirtschaftsfaktor Umweltschutz; BMU & BMBF 2008: Masterplan Umwelttechnologien; BMU 2012: GreenTech made in Germany 3.0

International hat sich in den letzten Jahren eine große Dynamik entfaltet, um neue Ansätze zur Verbesserung der Ressourcengovernance zu entwickeln. Ein breites Spektrum von Maßnahmen, Programmen und Initiativen zielen (neben der Verbesserung von Good Governance und staatlichen Rahmenbedingungen in den Abbauländern) primär auf die Verbesserung von Umwelt- und Sozialstandards bei der Gewinnung von Rohstoffen. Gleiches gilt bezüglich der Verbesserung von Transparenz sowie für die Zertifizierung von Lieferketten.

Die Akteure sind einerseits u. a. Staaten und internationale Organisationen sowie andererseits Unternehmen, Unternehmensverbände und zivilgesellschaftliche Organisationen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Entwicklung hin zu hybriden Governanceformen, die formale Regularien und staatliche Akteure mit stakeholder-getriebenen Ansätzen aus Zivilgesellschaft und Privatsektor in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern verbinden.

Bei der metallischen Rohstoffgewinnung haben – u. a. getrieben durch die sehr großen, international agierenden Bergbaukonzerne – die Unternehmen selbst begonnen, eigene Corporate Social Responsibility Standards (CSR) sowie Umweltmanagementsysteme zu etablieren. Diese werden zum Teil durch internationale Organisationen (wie den UN-Global-Compact), durch Initiativen und Selbstverpflichtungen von Unternehmensverbänden (zum Beispiel: Nachhaltigkeitsinitiativen des International Council on Mining and Metals, International Cyanide Management Code) angetrieben und unterstützt. Nichtregierungsorganisationen, wie Global Witness, Human Rights Watch, das Enough Project, die „Erklärung von Bern“ oder das Projekt „Rechte ohne Grenzen“ übernehmen hier oft die informelle oder formelle Rolle als Monitoringorganisationen.

Die bi- und multilaterale staatliche und nicht-staatliche Entwicklungszusammenarbeit ist ebenfalls aktiv in diesem Bereich. Dabei steht oft die Stärkung staatlicher Institutionen, z.B. der Monitoringkapazitäten von Umweltministerien und entsprechenden Kontrollorganen, im Mittelpunkt. Ebenso fokussiert die Entwicklungszusammenarbeit darauf, die Transparenz in der Ressourcengovernance zu erhöhen. Transparenz ist eine der grundlegenden Herausforderungen, um Korruption und Misswirtschaft aufzudecken und damit die Destabilisierung staatlicher Institutionen zu bekämpfen, die ihrerseits wiederum zur mangelnden Implementierung oder dem völligen Fehlen von Sozial- und Umweltstandards im Bergbausektor führt. Eine verbindliche staatliche Regelung wurde mit dem Dodd-Frank-Act in den USA geschaffen. Das Gesetz sieht eine Berichtspflicht für bestimmte Rohstofflieferungen vor. Es gilt verpflichtend für alle an US-Börsen notierten Rohstoff fördernden und verarbeitenden Unternehmen (Knoke/Binnewies 2011, Lauster/Mildner/Wodni 2010). Ähnliche Regelungen werden zurzeit auf EU-Ebene geplant.

Als weiteren Ansatz, Transparenzkriterien auf Rohstoffe anzuwenden, dienen Zertifizierungssysteme. Bedeutend sind dabei vor allem zertifizierte Handelsketten für Konfliktmineralien, etwa die „Regional Initiative Against Illegal Exploitation of Natural Resources“ oder die „Certified Trading Chains“. Allerdings führt der finanzielle Aufwand häufig dazu, dass lediglich große Minen zertifiziert werden. Zudem bleiben Fragen zur Skalierung offen.

Um die negativen Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien zu verringern, kann, wie bereits erwähnt, auf die skizzierten Ansätze aufgebaut werden.

Vorrangig geht es darum, mit den Lieferländern an der Problematik zu arbeiten und Fortschritte zu erzielen. Pilotprojekte zur Entwicklung neuer, umweltschonender Abbautechnologien, zur Optimierung bestehender Prozesse sowie zur Regenerierung der Umwelt nach erfolgtem Rohstoffabbau etc. sollten jeweils gestartet werden. Deutschland kann hier spezifische umweltpolitische und umwelttechnologische Erfahrungen einbringen. So verfügt Deutschland – mit Blick auf den Braunkohletagebau – über umfangreiche administrative und technische Erfahrungen, um betroffene Flächen zu regenerieren. Auch bieten die breiten Kenntnisse im Bereich Effizienztechnologien einen Ansatz, um den Rohstoffabbau effizienter und somit weniger schädigend zu gestalten. Im Rahmen der bilateralen umweltpolitischen Zusammenarbeit sollten solche Ansätze künftig systematisch ausgeleuchtet und weiterverfolgt werden.

Parallel dazu ist es notwendig, mit der Wirtschaft einen Dialog darüber zu starten, wie sie zur Lösung dieser Probleme beitragen kann. Ein nachhaltiges Lieferketten-Management ist in vielen Sektoren seit längerem ein Thema. Für die grünen Zukunftstechnologien gilt dies jedoch weniger. Hier kommt es zunächst darauf an, Aufmerksamkeit zu schaffen und Lösungsansätze zu diskutieren. Eine – durch das Bundesumweltministerium initiierte Konferenz – könnte das Thema stärker in den Blickwinkel der betroffenen Bereiche in Deutschland rücken. Beispiele, wie andere Sektoren ein nachhaltiges Lieferketten-Management betreiben und wie sie versuchen, auch Lieferanten der zweiten, dritten oder vierten Ebene

zu erreichen, können für eine solche Diskussion nützlich sein. Als Best-Practice-Beispiele ließen sich die Technologiehersteller Intel und Hewlett Packard (HP) nennen: Intel hat durch Umfragen und Audits bei Lieferanten begonnen, die Arbeitsbedingungen in den Lieferketten zu überprüfen. Zudem versucht das Unternehmen, durch sektorübergreifende Konferenzen das Problembewusstsein und die Zusammenarbeit der Industrie beim Lieferkettenmanagement zu stärken. HP wiederum hat ein integriertes, abteilungs- und standortübergreifendes „supply chain social and environmental (SCSER) governance system“ entwickelt: Produktentwickler, Einkäufer und Umweltbeauftragte ermitteln gemeinsam die Umweltmanagement-Anforderungen an Lieferanten. Diese führen Selbsteinschätzungen durch, zu denen Sie von HP ein differenziertes Feedback erhalten. Vor-Ort-Audits ergänzen das Kontrollsystem dann fallweise.⁵⁷

Diskutiert werden könnten auch bestehende Ansätze zu Mindeststandards beim Abbau von Rohstoffen. Wie erwähnt, existieren bereits einzelne Mindeststandards, wie etwa der International Cyanid Management Code für die Goldgewinnung. Über umfassende Zertifizierungs- und Herkunftsnachweise, wie die von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unterstützten Certified Trading Chains for Mineral Resources im Kongo und Ruanda, müsste sichergestellt werden, dass hierzulande nur solche Rohstoffe in den Handel gelangen und weiterverarbeitet werden, die diesen Standards genügen. Beispielgebend könnten auch die Bemühungen um nachhaltige Biomassestandards sein. Das Umweltbundesamt ließ hierzu im Jahr 2010 Vorschläge erarbeiten. Diese formulieren Anforderungen an nachhaltige Biomasse sowie zu deren Implementierung auf nationaler, europäischer und globaler Ebene (UBA 2010: Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel). Wichtig wäre es, zu verdeutlichen, dass es aus umweltpolitischer Sicht, aber auch aus wirtschaftspolitischer Perspektive sinnvoll wäre, eine Entwicklung, wie sie bei der Biomasse stattgefunden hat, zu verhindern. Dort wurden erst viel zu spät die potenziell erheblichen negativen Umweltwirkungen in den Lieferländern erkannt. Dadurch entstanden für die vielen Unternehmen, die sich in diesem Bereich neu gründeten oder sich erstmals engagierten, massive Probleme. Angesichts dieser Erfahrung sollte jetzt prospektiv gehandelt werden.

Gemeinsam und unter Einbeziehung der Europäischen Union sollten die sich abzeichnenden Probleme identifiziert, Lösungsansätze entwickelt und die sich ergebenden Maßnahmen umgesetzt werden. Für die EU-Ebene gilt, dass auch hier wiederum ein erster Schritt vermutlich darin bestehen müsste, stärkere Aufmerksamkeit auf das Thema zu lenken. Ein policy paper, das sich speziell an die europäischen Akteure richtet, wäre ein adäquater Ansatz. Gleiches gilt für die koordinierte Einbringung des Themas in laufende relevante EU-Politikprozesse, zum Beispiel: die Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources (Europäische Kommission 2005), die Öko-Design-Richtlinie (Europäisches Parlament, Rat (2009)), die Bemühungen zum Ausbau des Product Environmental Footprints sowie des Organisational Environmental Footprints (Europäische Kommission 2013).

Wie die vorliegende Studie weiterhin verdeutlicht, kann insbesondere die stoffliche Abfallverwertung einen wichtigen Beitrag leisten, um Umweltprobleme, die im In- oder Ausland auftreten, zu lösen. Denn die geringsten Umweltwirkungen entstehen natürlich durch jene Rohstoffe, die erst gar nicht abgebaut werden müssen.

Recyclingsysteme haben in Deutschland eine lange Tradition. Sie basieren auf einer inzwischen sehr ausgereiften Umweltgesetzgebung. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde gerade jüngst noch weiter optimiert. Es soll nun verstärkt zur Ressourceneffizienz und zum Umweltschutz beitragen: Die Einführung der fünfstufigen Abfallhierarchie soll die Kreislaufwirtschaft noch mehr auf Abfallvermeidung und Recycling ausrichten. Zudem hat nun bei der Wahl der Entsorgungsverfahren die ökologisch jeweils beste Option Vorrang (BMU 2012j). Für die mit den grünen Zukunftstechnologien verbundenen Rohstoffe bedarf es keiner eigenen Regelung. Wichtig ist aber, schon in der Entwicklungs- und Diffusionsphase das später notwendige Recycling mit zu bedenken. Produktgestaltung und Marktstrukturen haben einen wesentlichen Einfluss auf die erzielbaren Recyclingquoten.

Diverse Rohstoffe, die bei grünen Zukunftstechnologien eingesetzt werden, sind unter dem Aspekt Versorgungssicherheit bereits Gegenstand einer intensiven fachlichen Debatte. Ressourceneffizienz und stoffliche Abfallverwertung erfahren daher in diesen – sich gerade erst entwickelnden – Technologiesektoren oft eine hohe Aufmerksamkeit. Allerdings betrifft dies vorrangig Rohstoffe, bei denen Knappheiten diskutiert werden oder die Rohstoffpreise relativ hoch sind.

⁵⁷ Siehe: United Nations Global Compact Sustainable Supply Chains: Resources & Practices. <http://supply-chain.unglobalcompact.org/site/index>

Die Frage, welche negativen Umwelteffekte durch den Abbau der jeweiligen Rohstoffe entstehen, ist hingegen weniger entscheidend für die Priorität, über Recyclingsysteme nachzudenken. Die im Wesentlichen als „scoping study“ angelegte Untersuchung kann nicht im Einzelnen aufzeigen, in welchen Rohstoffbereichen besonders deutliche Diskrepanzen bestehen bzw. zu erwarten sind. Diese beziehen sich auf den Vergleich zwischen dem aktuellen Recyclingpotenzial und dem künftigen Rohstoffbedarf, der mit dem Ausbau grüner Zukunftstechnologien ansteigt. Um dies genauer zu klären, bedarf es weiterer Diskussionen mit den betroffenen Industriezweigen sowie weiterer sektorspezifischer Analysen.

Ein weiterer, sehr konkreter Ansatz, um die negativen Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien zu verringern, ist die Weiterverfolgung und Stärkung der bisherigen Bemühungen zu environmental technology verification. 2004 initiierte die Europäische Union einen Environmental Technology Action Plan (ETAP). Dieser verfolgt langfristig das Ziel, die Entwicklung und Verbreitung von Umwelttechnologien voranzutreiben. Dazu soll ein europäisches Netzwerk dienen, das sich mit der Prüfung, Standardisierung und Garantie der Leistungsfähigkeit dieser Technologien (Environmental Technology Verification - ETV) befasst. In einer ersten Pilotphase, die zwei bis drei Jahre dauert, soll das erarbeitete Modell eines europäischen ETV-Systems in folgenden Bereichen getestet werden: Wassertechnologien, Material-, Abfall- und Ressourcentechnologien sowie Energietechnologien. Einzelne EU-Mitgliedstaaten unternehmen parallel dazu eigene Pilotprogramme. Dabei kommen weitere Technologien zum Einsatz. Langfristiges Ziel ist es, eine Zusammenarbeit und gegenseitige Anerkennung bzw. gemeinsame Co-Verifizierung des in der EU erarbeiteten ETV-Programms sowie bereits vorhandener, internationaler ETV-Systemen zu erreichen. Allerdings ist ETV kein Kennzeichnungssystem, da es nicht auf festgelegten Kriterien basiert. Es beurteilt zudem nicht die Leistungsfähigkeit einer Technologie. Vielmehr bewertet es lediglich die Richtigkeit der Testergebnisse, die der Hersteller angibt (AdvanceETV 2012).

Wie bereits mehrfach angesprochen, weisen die Untersuchungsergebnisse darauf hin, dass umweltpolitische Schritte, die dazu dienen, Umweltinnovationen und grüne Zukunftsmärkte zu fördern, durch Maßnahmen begleitet werden müssen, die einen nachhaltigen Konsum/ eine nachhaltige Nutzung anstreben.

Unabhängig davon, wie schnell etwa der Transfer von konventionellen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien geschafft werden kann, gilt, dass auch hier jeder Technologiezweig (Solar, Wind, Biomasse) nicht nur zahlreiche Vorteile bringt, sondern auch negative Umwelteffekte bewirken kann. Aus umweltpolitischer Sicht sind daher Maßnahmen, die die Energieeffizienz erhöhen, nicht nur wichtig, um eine schnellere Transformation hin zu erneuerbaren Energien zu ermöglichen. Vielmehr sollen sie auch dazu dienen, dauerhaft die – selbst bei einer 100-prozentigen Versorgung aus erneuerbaren Energien noch existierenden – negativen Umwelteffekte zu begrenzen.

Bei der Planung weiterer Maßnahmen, um die nachhaltige Nutzung grüner Zukunftstechnologien zu fördern, wird sinnvollerweise zwischen Industrie und privaten Verbrauchern differenziert. Industrieseitig bedeutet eine nachhaltige Nutzung grüner Zukunftstechnologien vor allem, dass sich die Effizienz erhöhen muss. Dies betrifft nicht nur, wie bisher vorwiegend diskutiert, klassische Industriezweige, sondern auch grüne Zukunftstechnologien. Die Förderung der Effizienz in diesem Bereich, etwa beim Einsatz von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energieträgern, ist hier ganz wesentlich mit dem Einsatz bestimmter anderer grüner Zukunftstechnologien verknüpft, nämlich mit Zukunftstechnologien im Bereich der Ressourcen- und Energieeffizienz. Darüber hinausgehende Anstöße zur Reduzierung des Gesamtverbrauchs müssen letztendlich vom Endverbraucher und damit im Wesentlichen vom privaten Konsum kommen.

Beim privaten Konsum geht es nicht nur darum, die Effizienz (bei der Nutzung grüner Zukunftstechnologien) zu erhöhen. Vielmehr geht es hier auch um Suffizienz (vgl. Grober 2001; Renner et al. 2002; Linz 2004). Da sich kaum eine der verschiedenen grünen Zukunftstechnologien wirklich ohne negative Umwelteffekte bereitstellen lässt, können die grünen Zukunftstechnologien zwar die bestehenden Umweltprobleme abmildern, aber nicht gänzlich vermeiden. Soweit es erforderlich ist, Umweltbelastungen weiter zu reduzieren, kann es in bestimmten Fällen nötig sein, Maßnahmen zu ergreifen, die über eine Effizienzerhöhung hinausgehen. Eine Senkung des Verbrauchs und eine Bedürfnisreduktion sind jedoch nicht pauschal erforderlich. Vielmehr sind, wie schon im Kontext der Förderpolitik (Abschnitt 4.4.3) thematisiert, umweltpolitische Maßnahmen vor allem dort gefordert, wo durch grüne Zukunftstechnologien in größerem Maße negative Umwelteffekte entstehen können. Gleiches gilt, wenn die negativen Umweltfolgen absehbar dazu führen, dass gesetzte umweltpolitische Ziele nicht oder erst verspätet erreicht werden. In den Bereichen, wo selbst unter der Annahme, dass ausschließlich grüne Zukunftstechnologien zum Einsatz kommen, absehbar ist, dass dort in 30, 40 oder 50 Jahren erhebliche Umweltprobleme fortbestehen, ist die Frage eines nachhaltigen Konsums besonders virulent.

Die vorliegende Untersuchung hat nicht alle grünen Technologielinien analysiert. Auch diente sie nicht dazu, abzuschätzen, inwieweit – trotz oder gerade wegen der Verwendung grüner Zukunftstechnologien – auch künftig Diskrepanzen zwischen tatsächlichen Umweltbedingungen und gesetzten Umweltzielen auftreten werden. Insofern können auch keine Prioritäten genannt werden, in welchen Feldern vorrangig auf einen nachhaltigen Konsum hinzuwirken ist.

Starke Indizien ergeben sich jedoch – aufgrund der Untersuchungsergebnisse – auf jeden Fall für den Bereich der alternativen Antriebe. Denn allein der Wandel der Technologien wird kaum dazu führen, dass sich die Umwelteffekte im gewünschten Maße verringern. Eine deutliche Skepsis bleibt – nach den Betrachtungen in Teilbericht 2 – auch beim Bereich Gebäudedämmung. Ebenso kritisch ist der Einsatz von Biomasse zu sehen. Dies gilt erst recht bezüglich eines ggf. weiteren Ausbaus der Biomassenutzung. Biomasse soll ja eigentlich im Mix der erneuerbaren Energien eine besondere Rolle einnehmen, da die Bereitstellung dieser Energieform gut steuerbar ist. Maßnahmen, die zu einem Wandel der bisher eingesetzten Technologien hin zu grünen Zukunftstechnologien führen, sollten hier mit Schritten kombiniert werden, die den absoluten Verbrauch reduzieren.

Da in einer freien Marktwirtschaft der Verbrauch vom Preis abhängt, ist eine umweltpolitische Steuerung, die am Preis ansetzt, besonders wirksam. Zwar sind Bewusstseins-schaffung durch Aufklärung, Schulungen und andere begleitende Maßnahmen gewiss wichtig. Gleichwohl wird man auch künftig kaum auf den Einsatz von Steuern verzichten können, um den Verbrauch umweltschädigender Produkte zu verringern. Vor allem dort, wo absehbar die Umweltprobleme – trotz des Einsatzes grüner Zukunftstechnologien – zunehmen werden, können höhere Steuern kein Tabu bleiben.

Ein letzter Punkt ist die Frage, inwiefern die Einführung grüner Zukunftstechnologien mit einem Nutzungswandel einhergeht. Es ist ja keinesfalls sicher, dass neue Technologien lediglich alte ablösen und darüber hinaus keine Nutzungsänderung stattfindet. Vielmehr lässt sich im Einzelfall zeigen, dass neue Technologien auch auf das Nutzungsverhalten der Verbraucher rückwirken. Ein Beispiel dafür ist die Einführung von Energiesparlampen: So kommt es infolge der LED-Einführung zu einer Mehrnachfrage nach Beleuchtung (vgl. Tsao et al. 2010). Um zu einer sachgerechten Einschätzung der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien zu kommen, bedarf es also auch einer Abschätzung des künftigen Nutzerverhaltens. Zugleich erlaubt es die Kenntnis von Änderungen des Nutzerverhaltens, hier ggf. proaktiv tätig zu werden. Sofern klar ist, dass zu erwartende Nutzungsänderungen mit weiteren schädlichen Umweltwirkungen verknüpft sind (etwa durch Mehrnutzung oder durch eine intensivere Nutzung), können schon im Vorfeld geeignete Maßnahmen erfolgen, etwa eine verstärkte Verbraucherinformation.

4.4.7 Rückwirkungen auf die grünen Zukunftsmärkte

Die Untersuchungsergebnisse sind nicht nur aus umweltpolitischer Sicht von Bedeutung. Auch wirtschaftspolitisch lassen sich interessante Schlüsse ziehen. In positiver wie negativer Hinsicht ergeben sich Rückwirkungen auf die Marktpotenziale deutscher Hersteller grüner Zukunftstechnologien.

Positiv ist zu vermerken, dass durch das Fortbestehen von Umweltproblemen – trotz bzw. wegen der absehbaren Marktdiffusion verschiedener grüner Zukunftstechnologien – auch weitere Marktchancen entstehen. Denn natürlich haben grüne Zukunftstechnologien dort Marktpotenziale, wo Umweltprobleme existieren bzw. diese besonders groß sind. Je mehr und je besser Technologien Umweltprobleme lösen, umso mehr verringert sich auch der Spielraum für die Einführung weiterer grüner Zukunftstechnologien.

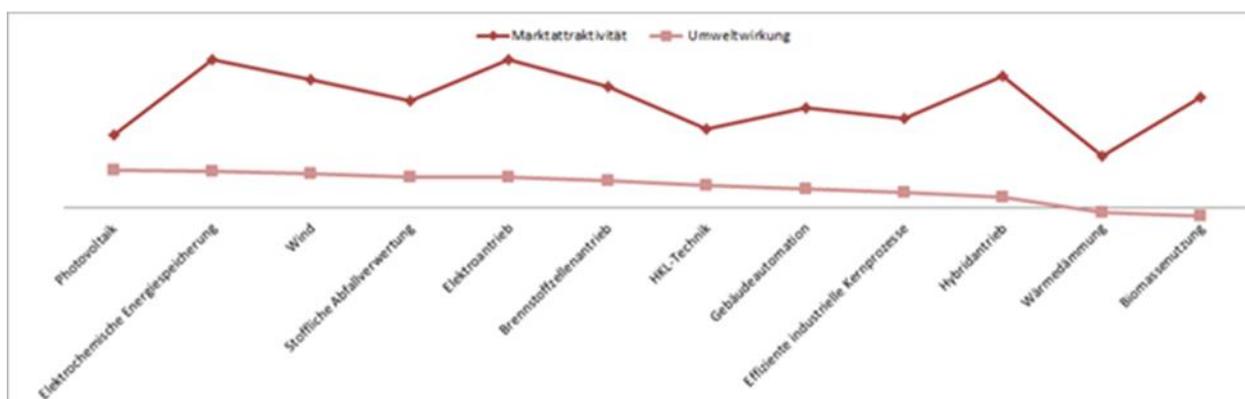
Die Untersuchungsergebnisse deuten spezifisch darauf hin, dass vor allem in folgenden Bereichen Potenziale bestehen: die Reduzierung der Beeinträchtigungen durch Rohstoffabbau sowie die weitere Verlagerung negativer Umweltwirkungen aus Deutschland in die Lieferländer von Vorprodukten grüner Zukunftstechnologien. Hier sollte also gezielt geschaut werden, inwieweit die deutsche Industrie darin unterstützt werden kann, diese Bereiche durch neue Technologien und deren Vermarktung im Ausland gezielt zu erschließen.

Auch für das Recycling künftig wichtiger Rohstoffe und die Optimierung der Kreislaufführung der Stoffströme lassen sich – aus den Untersuchungsergebnissen heraus – wichtige Argumente finden. Hier gibt es somit weitere, bisher noch nicht umfassend genutzte Marktpotenziale. Auch in diesem Bereich wäre zu prüfen, inwieweit die deutsche Industrie hier künftig eine bedeutende Rolle spielen kann.

Auch aus einer anderen Sicht sind die Untersuchungsergebnisse positiv zu werten: Die insgesamt deutlich erkennbaren Fortschritte, die sich durch den umfassenden Einsatz grüner Zukunftstechnologien abzeichnen, sind ein gutes Argument für den weiteren Export dieser Technologien. In bi- und multilateralen Gesprächen zur Wirtschaftsförderung sowie zum Handel mit grünen Zukunftstechnologien kann auf entsprechende Erfolge verwiesen werden. Diese schlagen sich letztlich auch in einer deutlichen Reduzierung der externen Kosten in den Importländern nieder. Dies wiederum rechtfertigt auf Seiten der Importländer ein starkes staatliches Engagement bei der Einführung und Umsetzung geeigneter Rahmenbedingungen zum Einsatz grüner Zukunftstechnologien.

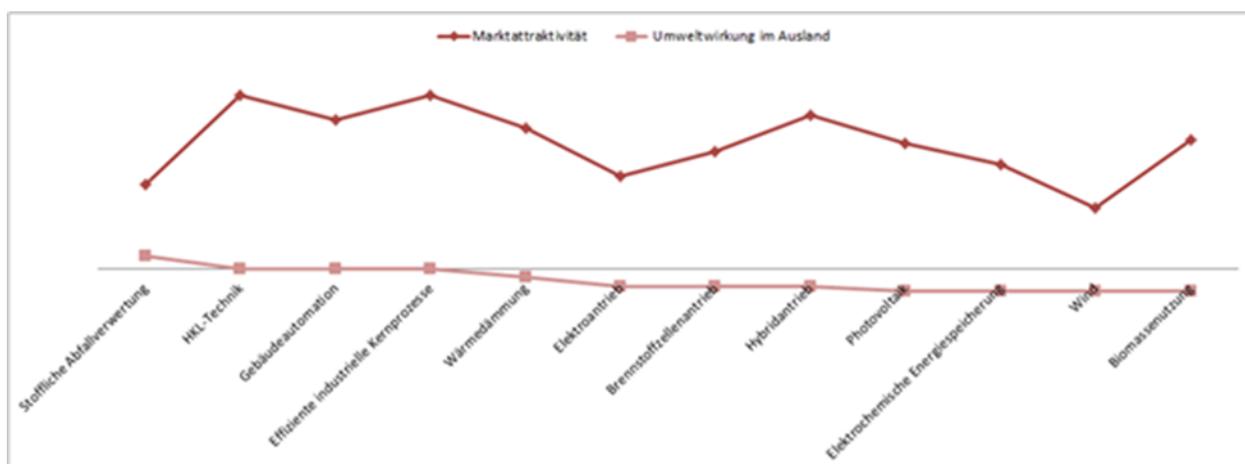
Etwas kritischer sind jedoch die Untersuchungsergebnisse zu sehen, wenn man eine etwas andere Perspektive einnimmt. Weiter fortbestehende Umweltprobleme in bestimmten Bereichen oder sogar das Entstehen neuer Umweltprobleme durch den stark ausgeweiteten Einsatz bestimmter grüner Zukunftstechnologien bedeuten auch ein Risiko für die Marktdurchdringung der jeweiligen Technologien. Sowohl die Produzenten als auch die wirtschaftspolitischen Akteure auf staatlicher Seite sollten dies im Auge behalten.

Abbildung 23: Marktattraktivität gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung. Basierend auf Daten der Teilberichte 1 und 2 (Marktattraktivität: siehe S. 93; Umweltwirkungen: siehe S. 122)

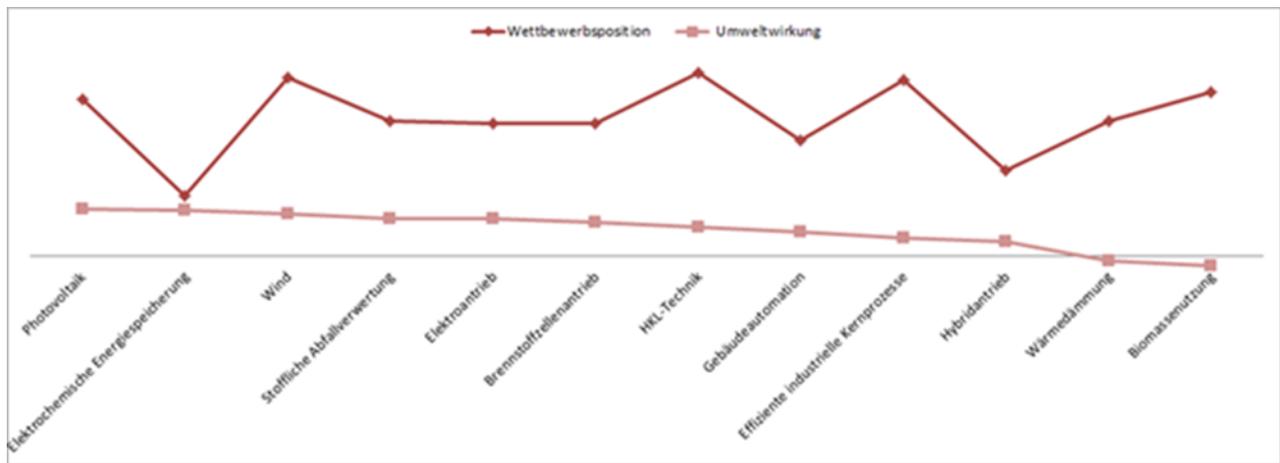
Abbildung 24: Marktattraktivität gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien in den Abbaugebieten



Quelle: Eigene Darstellung. Basierend auf Daten der Teilberichte 1 und 2 (Marktattraktivität: siehe S. 93; Umweltwirkungen: siehe S. 122)

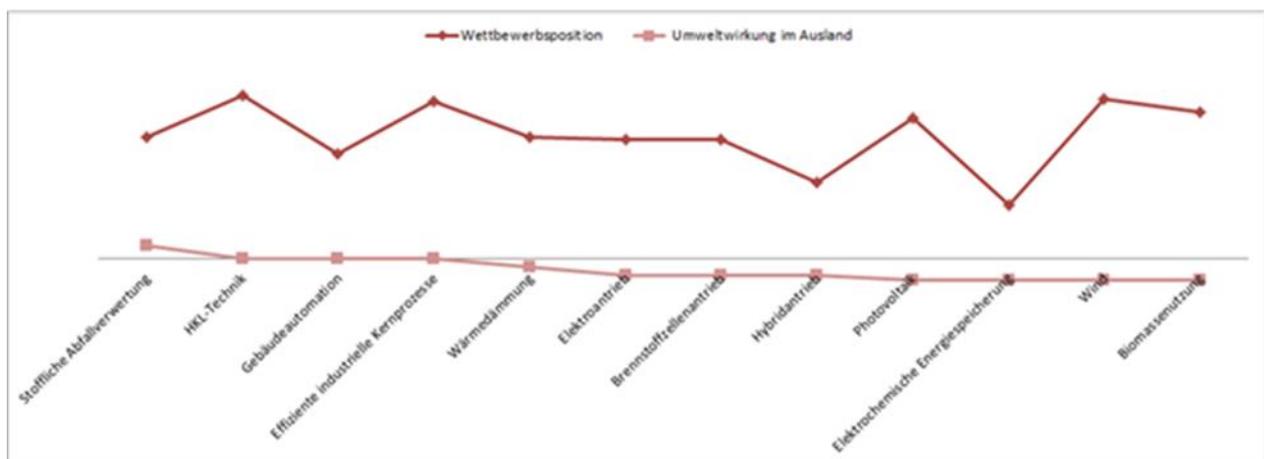
Glücklicherweise kann man nicht davon sprechen, dass die deutsche Industrie ganz besonders in jenen Sektoren fokussiert wäre, wo durch den Einsatz grüner Zukunftstechnologien verstärkt negative Umwelteffekte entstehen können.

Abbildung 25: Wettbewerbsposition gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung. Basierend auf Daten der Teilberichte 1 und 2 (Marktattraktivität: siehe S. 93; Umweltwirkungen: siehe S. 122)

Abbildung 26: Wettbewerbsposition gegenüber Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien im Ausland



Quelle: Eigene Darstellung. Basierend auf Daten der Teilberichte 1 und 2 (Marktattraktivität: siehe S. 93; Umweltwirkungen: siehe S. 122)

4.5 Ausblick und offene Forschungsfragen

Die vorliegende Untersuchung ist ihrem Charakter nach in wesentlichen Teilen eine „scoping study“. Das heißt: Sie liefert einen ersten Einblick in den Themenkomplex der Umweltwirkungen grüner Zukunftstechnologien. Allerdings konnte sie diesen Komplex nur sehr partiell durchleuchten. Zwar ermöglicht diese erste Betrachtung eine Anzahl von Schlussfolgerungen für die weitere Gestaltung der Umweltpolitik. Zugleich zeigt sich jedoch, dass an vielen Stellen weiterer Forschungsbedarf besteht. Einzelne wichtige Fragestellungen seien hier nachfolgend kurz benannt.

Eine systematische Erfassung der weiteren umweltpolitischen Bilanz des Klimaschutzes

Wie sich aus den Bewertungen der einzelnen Umweltechnologien ablesen lässt, gibt es einen starken Fokus auf den Bereich des Klimaschutzes. Gerade hier sind große Fortschritte durch den weiteren Einsatz grüner Zukunftstechnologien

möglich und gewollt. In vielen Fällen ermöglichen diese Technologien auch Fortschritte in anderen umweltpolitischen Problemfeldern. Dies ist jedoch keineswegs überall gewährleistet. In bestimmten Bereichen stellt sich die Situation sogar umgekehrt dar, wie aufgezeigt werden konnte. Die Bilanz des Klimaschutzes ist damit durchaus gemischt. Für die weitere klimapolitische Strategieplanung könnte es sehr wohl sinnvoll sein, die Umweltwirkungen einzelner grüner Zukunftstechnologien stärker im Blick zu behalten. Dies wiederum kann eine bessere Sicht für die Möglichkeiten und Grenzen technologiebezogener Lösungen im Klimaschutz gewähren.

Forschung zu neuen Umweltproblemen im Ausland: Verlagerungseffekte

Die beschriebene Verlagerung negativer Umwelteffekte von Deutschland ins Ausland ist grundsätzlich keine neue Erscheinung. Vielmehr sind Verlagerungseffekte spätestens seit den 70er-Jahren als umweltpolitisches Thema identifiziert. So stellte bereits die UNO-Konferenz über die menschliche Umwelt 1972 die Weichen für eine internationale Umweltpolitik. Und auch das erste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft aus dem Jahr 1973 identifizierte die Notwendigkeit einer grenzüberschreitenden Kontrolle von Umweltverschmutzungen. 1979 folgte die erste Weltklimakonferenz; 1987 bekräftigte der sogenannte Brundtland-Bericht der UN-Kommission für Umwelt und Entwicklung die globale Dimension von Umweltproblemen sowie ihrer Lösungsansätze. Insbesondere im Zuge der stärkeren umweltpolitischen Reglementierung einzelner Industriezweige wurden bereits Verlagerungseffekte intensiv untersucht. Mit den neuen grünen Zukunftstechnologien treten die Umweltwirkungen nun aber in neuem Gewand auf. Über das genaue Ausmaß, über ihre spezifische Natur und über die Möglichkeiten ihrer Reduktion wurde bislang wenig geforscht, sodass nur relativ wenig bekannt ist. Um die umwelt- und wirtschaftspolitischen Chancen der grünen Zukunftstechnologien zu erhalten und zu fördern, dürfte es sinnvoll sein, diesen Bereich forschungsmäßig stärker auszuleuchten. Hier könnte sich gegebenenfalls auch ein weiterer Ansatz für den neuen Forschungsschwerpunkt „Green Economy“ des BMBF finden, der zurzeit konzipiert wird.

Analyse weiterer Leitmärkte

Die Untersuchung hat nicht alle grünen Zukunftsmärkte und grünen Zukunftstechnologielinien betrachten können. Um ein vollständiges Bild zu erhalten, wären weitere Studien in den bislang nicht berücksichtigten Bereichen nötig. Wie sich ebenfalls gezeigt hat, lässt sich ein erster grober Überblick mit vergleichsweise geringem Aufwand erreichen. Um in der weiteren umweltpolitischen Planung von einem vollständigen Bild ausgehen zu können, dürfte es sich empfehlen, die noch fehlenden grünen Zukunftsmärkte/ Technologielinien ebenfalls bezüglich ihrer Umwelteffekte zu untersuchen. Dies betrifft insbesondere, aber nicht nur folgende Bereiche: nachhaltige Wasserwirtschaft, Solarthermie, Geothermie, Kraft-Wärme-Kopplung, CO₂-Abscheidung und -speicherung, energieeffiziente Geräte, stoffliche Verwendung nachwachsender Rohstoffe.

Analyse der Umweltwirkungen im Dienstleistungsbereich

Jenseits der Umwelttechnologien wäre es angesichts der hohen Anteils des Dienstleistungssektors an der gesamten Wertschöpfung und seiner wachsenden Bedeutung im Rahmen einer green economy auch interessant, sich dem Thema der Umweltdienstleistungen zu widmen. Einschätzungen zu den Umweltwirkungen einzelner Umweltdienstleistungen, insbesondere innovativer, neuer Dienstleistungen dürften zwar in diesem Bereich noch etwas schwieriger als im Bereich der Technologiemarkte, aber dies sollte kein Hinderungsgrund sein, das Themenfeld zumindest im Rahmen einer Scoping-Studie zu erschließen und damit die Grundlagen zu schaffen, auch bei Umweltdienstleistungen gezielter eine Förderpolitik anzusetzen.

Der potenzielle Beitrag der Umwelttechnologien zur umweltpolitischen Zielerreichung

Ebenfalls konnte nur angerissen werden, inwieweit die Entwicklungen im Bereich der grünen Zukunftstechnologien absehbar dazu beitragen werden, die politisch fixierten und in verschiedenen Strategiedokumenten sowie teils auch in rechtlich verbindlichen Regelungen niedergelegten Umweltziele zu erreichen. Wie schon besprochen (vergleiche Abschnitt 4.4.1), wird es sinnvoll sein, einen solchen Abgleich vorzunehmen. Dieser sollte sich einerseits der Frage widmen, bis zu welchem Grad der Einsatz grüner Zukunftstechnologien dazu beitragen kann, bestehende positive Trends zur Zielerreichung weiter zu verstärken. Dazu gehört auch, zu prüfen, inwieweit sich die Diskrepanzen, die in einzelnen Feldern zwischen den tatsächlichen Umweltbedingungen und den gewünschten Umweltzielen bestehen, mittel- bis lang-

fristig überwinden lassen. Andererseits sollte sich die Untersuchung auch der Frage widmen, in welchen Bereichen der verstärkte Einsatz grüner Zukunftstechnologien absehbar nicht dazu führen wird, diese Diskrepanzen aufzulösen. Gleiches gilt für die Frage, inwiefern sich bestehende negative Trends weiter fortsetzen oder sich sogar vereinzelt ggf. verstärken können. Auch sollte erforscht werden, inwieweit der Pfad, über grüne Zukunftstechnologien Umweltprobleme zu lösen, trägt. Die Grenzen der Umwelttechnologien sollten deutlicher als bisher umrissen werden, um damit auch Klarheit zu erhalten, wo weitere reglementierende Eingriffe seitens der Umweltpolitik unvermeidbar, aber eben auch gerechtfertigt sind.

Best Practice in der Fördermittelvergabe

Wie bereits ausgeführt, besteht ein wichtiger Ansatz zur Überwindung negativer Umweltwirkungen durch grüne Zukunftstechnologien darin, die Fördermittelvergabe besser zu steuern. Eine Untersuchung zu der Frage, in welchen Programmen hier in den einzelnen Phasen (Konzeption, Auswahl der Förderprojekte, Vergabekriterien und Vergabemodalitäten, Monitoring und Evaluation) bereits gute Ansätze bestehen und inwiefern diese auch in anderen Programmen künftig Platz greifen könnten, wäre eine gute Grundlage für weitere Diskussionen mit allen relevanten Schlüsselakteuren auf Bundes- und ggf. auch auf Landesebene.

5 Quellenverzeichnis

- AdvanceETV 2012: Ausführlicher Leitfaden für Antragsteller im Rahmen des EU-Pilotprogramms zur Überprüfung von Umwelttechnologien (ETV). Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://ec.europa.eu/environment/etv/pdf/ETV_Guide_for_Proposers_de.pdf.
- ARGE 2007: Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen, Stand 28.11.2007, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pv_leitfaden.pdf
- Battelle 2012: 2013 Global R&D Funding Forecast. Zuletzt eingesehen am 12.12.2013, unter http://battelle.org/docs/r-d-funding-forecast/2013_r_d_funding_forecast.pdf?sfvrsn=0.
- Batteriezukunft 2012: Durch neue Anodenbeschichtung steigert Toyota Energiedichte von Natrium-Schwefel-Batterien im Vergleich zu Li-Ion-Akkus um ein Drittel. . Zuletzt eingesehen am 12.12.2013, unter <http://www.batteriezukunft.de/news/article/durch-neue-anodenbeschichtung-steigert-toyota-energiedichte-von-natrium-schwefel-batterien-im-vergle.html>.
- BDEW 2013: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://bdew.de/internet.nsf/id/brutto-stromerzeugung-nach-energetraegern-de?open&ccm=500030080>.
- BDI & BMU 2012: Memorandum für eine Green Economy. Eine gemeinsame Initiative des BDI und BMU. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_green_economy_bf.pdf.
- Behrendt, Siegfried; Lorenz Erdmann; Max Marwede und Sophie Caporal 2010: Roadmap: Ressourceneffiziente Photovoltaik 2020+. Arbeitspaket 9 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes). IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, gemeinnützige GmbH. Ressourceneffizienz Paper 9.1. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess_AP9_1.pdf.
- BfN 2005: Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. Bonn: BfN. BfN-Skripten 136. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript136.pdf>.
- BfN 2010: Bioenergie und Naturschutz. Synergien fördern, Risiken vermeiden. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Bieger, Thomas; Dodo zu Knyphausen-Aufseß und Christian Krys, (Hrsg.) 2011: Innovative Geschäftsmodelle. Berlin: Springer.
- BioÖkonomieRat 2012: Nachhaltige Nutzung von Bioenergie – Empfehlungen des BioÖkonomieRats. Kapitel 4.3 Ökologische Aspekte. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.biooekonomierat.de/files/downloads/120120/BioOEkonomieRat-Empfehlungen-Bioenergie.pdf>.
- BMBF 2010: Ideen. Innovation. Wachstum. Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmbf.de/pub/hts_2020.pdf.
- BMBF 2012: Konferenz Green Economy – Ein neues Wirtschaftswunder? Zuletzt eingesehen am 12.12.2013, unter http://www.fona.de/mediathek/pdf/GEK_Programmheft.pdf.
- BMU 1998: Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms. Pressearchiv. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.bmub.bund.de/bmub/presse-reden/pressemitteilungen/pm/artikel/mit-dem-entwurf-eines-umweltpolitischen-schwerpunktprogrammes-neue-etappe-in-der-umweltpolitik-eingeleitet/>.
- BMU 2007: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.biologischesvielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf.
- BMU 2008: Strategie Ressourceneffizienz. Impulse für den ökologischen und ökonomischen Umbau der Industriegesellschaft. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ressourceneffizienz.pdf>.
- BMU 2010: Gebäude. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.bmu.de>.

- BMU 2011a: Kurzinfo Windenergie. Zuletzt eingesehen am 6.10.2012, unter <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4642/>.
- BMU 2011b: Röttgen: Mehr Effizienz, mehr Wettbewerb, mehr Bürgernähe!; Pressemitteilung Nr. 131/2011 vom 28. Oktober 2011. Zuletzt eingesehen am 8.10.2012, unter http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/47898.php.
- BMU 2011c: Erneuerbare Energien in Zahlen – Internet Update ausgewählter Daten. Berlin: BMU, Referat Öffentlichkeitsarbeit.
- BMU 2012a: GreenTech made in Germany 3.0 - Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. München: BMU.
- BMU 2012b: Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin: BMU.
- BMU 2012c: Wichtige Weichenstellung bei Rio plus 20. Zuletzt eingesehen am 12.10.2012, unter http://www.bmu.de/rio_plus_20/doc/48883.php.
- BMU 2012d: Green Economy. Neuer Schwung für Nachhaltigkeit. Berlin: BMU.
- BMU 2012e: Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung. Zuletzt eingesehen am 17.10.2012, unter http://www.bmu.de/produkte_und_umwelt/umweltfreundliche_beschaffung/doc/39042.php.
- BMU 2012f: Green Economy. In: Umwelt, 6/2012, 58-61.
- BMU 2012g: Green Economy. Mit CSR den Wandel gestalten. Zuletzt eingesehen am 6.11. 2012, unter http://www.bmu.de/wirtschaft_und_umwelt/downloads/publ/49062.php.
- BMU 2013: Erneuerbare Energien 2012, Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Vorläufige Angaben, Stand 28. Februar 2013.
- BMU, UBA 2007a: Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung. Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Forschungsprojektes Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern. Umwelt, Innovation, Beschäftigung 05/07.
- BMU, UBA 2008: Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- BMU, UBA 2011: Umweltwirtschaftsbericht 2011. Daten und Fakten für Deutschland.
- BMU, BMWi, BMBF 2011: Förderinitiative Energiespeicher – 200 Mio. Euro für die Speicherforschung. Zuletzt eingesehen am 7.10.2012, unter <http://www.bmw.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=390582.html>.
- BMVBS 2012a: Förderprogramm „Schaufenster Elektromobilität“. Zuletzt eingesehen am 7. Oktober 2012, unter <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/IR/elektromobilitaet-steckbriefe.html>.
- BMVBS 2012b: Entwicklung einer nationalen „Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie“ im Kontext der Energiewende. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.bmvbs.de>.
- BMVBS 2012c: Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Zuletzt eingesehen am 7.10.2012, unter <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html?linkToOverview=js>.
- BMVBS 2012d: Bundesregierung und Industrie errichten Netz von 50 Wasserstoff-Tankstellen. Zuletzt eingesehen am 7.10.2012, unter <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html?linkToOverview=js>.
- BMWi 2010: Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.bmw.de/Dateien/BMWi/PDF/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.property=pdf.bereich=bmw.sprache=de.rwb=true.pdf>.
- BMWi, BMU 2010: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.
- BMWi, BMVBS, BMU, BMBF 2011: Regierungsprogramm Elektromobilität.

- Breitschopf, Barbara et al. 2010: Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt - Update der quantifizierten Kosten- und Nutzenwirkungen für 2010, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Eingesehen unter: http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/knee_update_2011_bf.pdf.
- Breitschopf, Barbara und Michael Memmler 2012: Ermittlung vermiedener Umweltschäden - Hintergrundpapier zur Methodik - im Rahmen des Projekts „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien“, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hg_umweltschaeden_bf.pdf.
- Brinkmann, Robert; Oliver Behr; Ivo Niermann und Michael Reich 2011: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen, Leibniz Universität Hannover, Studie gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Brookings 2011: Sizing the Clean Economy. Washington: Brookings.
- BUND, Misereor, Oxfam (2013): Verordnete Verantwortungslosigkeit – Die Förderung von Biosprit in der EU. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.misereor.de/fileadmin/redaktion/FactSheet_Biosprit_online.pdf.
- Bundesgesetzblatt 2012: Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.zks-abfall.de/>.
- Bundesregierung 1971: Umweltprogramm. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/06/027/0602710.pdf>.
- Bundesregierung 2002: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf;jsessionid=0047BDFC039763CAE29732595D4FE8EC.s1t1?_blob=publicationFile&v=2.
- Bundesregierung 2008: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf.
- Bundesregierung 2009: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nep_09_bmu_bf.pdf.
- Bundesregierung 2012a: Schloss Meseberg 10.02.2012 – Batterien für die Energiewende & 22.02.2012 – Strom chemisch gespeichert. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung.
- Bundesregierung 2012b: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Publikation/Bestellservice/2012-05-08-fortschrittsbericht-2012.pdf?_blob=publicationFile.
- Capozza, I. 2011: Greening Growth in Japan. OECD Environment Working Papers, No. 28. Paris: OECD Publishing.
- China Greentech Initiative 2011: The China Greentech Report 2011. Beijing: Greentech Networks Limited.
- Cleanenergy 2013: Umweltschäden durch Neodym in der Windkraft. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.cleanenergy-project.de/erneuerbare-energien/item/4301-seltene-erden-in-der-windkraft>.
- CO₂-Handel 2012: NF³ - ein besonders schädliches Treibhausgas macht "Karriere". Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.co2-handel.de/article306_19499.html.
- Conservação Internacional 2011: Green Economy: Challenges and Opportunities. Belo Horizonte: Conservação Internacional.
- CSR Forum 2009: Gemeinsames Verständnis von Corporate Social Responsibility (CSR) in Deutschland. Zuletzt eingesehen am 06.06.2012, unter <http://www.csr-in-deutschland.de/ueber-csr/was-ist-csr.html>
- Daimler AG 2012: Umweltbroschüre smart fortwo electric drive, Stuttgart.

- DENA 2011: Energetische Modernisierung industrieller Wärmeversorgungssysteme. Berlin: DENA.
- Deutsches Aktieninstitut e.V. & Sustainable Business Institute e.V. 2011: Nachhaltigkeit und Shareholder Value aus Sicht börsennotierter Unternehmen. In: Prof. Dr. Rüdiger von Rosen (Hrsg.): Studien des Deutschen Aktieninstituts, Heft 50. Frankfurt am Main. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.cfi21.org/fileadmin/user_upload/pdfs/2011-09-13_DAI-SBI-Studie_Nachhaltigkeit_und_Shareholder_Value.pdf.
- Deutsche Energie-Agentur 2011: Ungeliebt aber unentbehrlich. Bedarf und Produktion von Mineralöl im künftigen Energiemix. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.dena.de>.
- Diembeck, Doris 2006: Ökologische Auswirkungen von Offshore-Windparks in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee. In: FORUM GEOÖKOL. 17:2, 20-23. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.geoökologie.de/download_forum/forum_2006_2_spfo062c.pdf.
- Draper, Stephanie 2006: Key models for delivering sector-level corporate responsibility. Corporate Governance, 6:4, 409-419.
- EEA - European Environment Agency 2006: Progress towards halting the loss of biodiversity by 2010. Copenhagen: EEA. EEA Report 5/2006.
- EC Research Fund for Coal and Steel 2008: Most appropriate treatments to control the environmental impact of effluents in the iron and steel industry. Final report. Luxembourg: European Communities.
- EC 2010: Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. European Commission DG Enterprise and Industry. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report_en.pdf.
- EC 2012: Environmental impacts of batteries for low carbon technologies compared. Science for Environment Policy, News Alert Service, Issue 303, 25 October 2012. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/303na1.pdf>.
- Econsense 2012: Herausforderung Ressourceneffizienz Meinungen, Beispiele und Management-Instrumente. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.econsense.de/sites/all/files/edition%20econsense%20-%20Herausforderung%20Ressourceneffizienz.pdf>.
- ECORYS 2009: Study on the Competitiveness of the EU eco-industry. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, DG Enterprise & Industry. Brüssel: Europäische Kommission.
- EHPA – European Heat Pump Association: The EHPA Quality Label for Heat Pumps. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.ehpa.org/fileadmin/red/EHPA_Quality_Label/2011_EHPA-Q_overview.pdf.
- EIO 2011: The Eco-Innovation Challenge: Pathways to a resource-efficient Europe. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, DG Environment. Brüssel: Eco-Innovation Observatory.
- EP 2007: Outlook of Energy Storage Technologies. European Parliament Policy Department: Economic and Scientific Policy. Study IP/A/ITRE/FWC/2006-087/Lot 4/C1/SC2 Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201109/20110906ATT26009/20110906ATT26009EN.pdf>.
- EPIA 2011: EPIA Sustainability Working Group Fact Sheet, 13.Mai 2011.
- Europäische Kommission 2001: Nachhaltige Entwicklung in Europa für eine bessere Welt: Strategie der Europäischen Union für die nachhaltige Entwicklung. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2001:0264:FIN:DE:PDF>.
- Europäische Kommission 2005: Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0670:FIN:DE:HTML>.
- Europäische Kommission 2008: European Competitiveness Report 2008. Luxemburg: Europäische Union.
- Europäische Kommission 2011a: Weißbuch. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, un-

ter

http://www.dstgb.de/dstgb/Schwerpunkte/Verkehrspolitik/Weitere%20Informationen/Wei%C3%9Fbuch%20Verkehr%20der%20EU-Kommission/white_paper_com%282011%29_144_de.pdf.

- Europäische Kommission 2011b: Eine neue EU-Strategie (2011-14) für die soziale Verantwortung der Unternehmen (CSR). Zuletzt eingesehen am 06.06.2012, unter http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/files/csr/new-csr/act_de.pdf.
- Europäische Kommission 2013a: Empfehlung der Kommission vom 9. April 2013 für die Anwendung gemeinsamer Methoden zur Messung und Offenlegung der Umwelleistung von Produkten und Organisationen (Amtsblatt L 124 vom 04.05.2013).
- Europäische Kommission 2013b: European Union Innovation Scoreboard. Zuletzt eingesehen am 08.12.2013, unter <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/policy/innovation-scoreboard>.
- Europäisches Parlament, Rat (2009): Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:01:DE:HTML>.
- Europäische Gemeinschaft 1973: Erklärung des Rates der Europäischen Gemeinschaften und der im Rat Vereinigten Vertreter der Regierungen der Mitgliedstaaten vom 22. November 1973 über ein Aktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaften für den Umweltschutz (Amtsblatt C 112 vom 20.12.1973).
- Europäische Gemeinschaft 1977: Entschließung des Rates der Europäischen Gemeinschaften und der im Rat vereinigten Vertreter der Regierungen der Mitgliedstaaten vom 17. Mai 1977 zur Fortschreibung und Durchführung der Umweltpolitik und des Aktionsprogramms der Europäischen Gemeinschaften für den Umweltschutz (Amtsblatt C 139 vom 13.06.1977).
- Europäische Gemeinschaft 1983: Entschließung des Rates der Europäischen Gemeinschaften und der im Rat vereinigten Vertreter der Regierungen der Mitgliedstaaten vom 7. Februar 1983 zur Fortschreibung und Durchführung einer Umweltpolitik und eines Aktionsprogramms der Europäischen Gemeinschaften für den Umweltschutz (1982—1986) (Amtsblatt C 46 vom 17.02.1983).
- Europäische Gemeinschaft 1987: Entschließung des Rates der Europäischen Gemeinschaften und der im Rat vereinigten Vertreter der Regierungen der Mitgliedstaaten vom 19. Oktober 1987 zur Fortschreibung und Durchführung einer Umweltpolitik und eines Aktionsprogramms der europäischen Gemeinschaften für den Umweltschutz (1987—1992) (Amtsblatt C 328 vom 07.12.1987).
- Europäische Union 1993: Entschließung des Rates und der im Rat vereinigten Vertreter der Regierungen der Mitgliedstaaten vom 1. Februar 1993 über ein Gemeinschaftsprogramm für Umweltpolitik und Maßnahmen im Hinblick auf eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung (Amtsblatt C 138 vom 17.05.1993).
- Europäische Union 2002: Beschluss 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juli 2002 über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft (Amtsblatt L 242 vom 10. 09. 2002).
- Europäische Union 2006: Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:161:0001:0011:DE:PDF>.
- Eurostat 2010: Environmental statistics and accounts in Europe. Luxemburg: Europäische Union.
- Eurostat 2011a: Sustainable development in the European Union. 2011 monitoring report of the EU sustainable development strategy. Luxemburg: Europäische Union.
- Eurostat 2011b: Energy, transport and environment indicators. 2011 edition. Luxemburg: Europäische Union.
- Eurostat 2012: Science, technology and innovation in Europe, 2012 edition. Luxemburg: Europäische Union.

- EWEA 2010: Wind energy factsheets by the European Wind Energy Association 2010. Brussels: EWEA. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/factsheets/Factsheets.pdf.
- EWI 2010: Potenziale der Elektromobilität bis 2050. Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration. Endbericht 2010. Köln.
- Forschungsrat Kältetechnik: Daten zur Kältetechnik. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.fkt.com/>.
- Fraunhofer ISI 2009: Kurzstudie zur Energieeffizienz, Wachstum und Beschäftigung. Analyse der Potenziale und volkswirtschaftlichen Effekte einer ambitionierten Effizienzstrategie für Deutschland. Projektbericht im Auftrag des BMU. Berlin: BMU.
- Fraunhofer ISI 2011a: Gesellschaftspolitische Fragestellungen der Elektromobilität, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/elektromobilitaet_broschuere.pdf?WSESSIONID=b79876c31e43735bd8f8a7c8a30e32fb.
- Fraunhofer ISI 2011b: Zukunftsmarkt Effiziente Elektromotoren. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/Fallstudie_Elektromotoren.pdf.
- Fraunhofer ISI 2013: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Frick, Stephanie und Martin Kaltschmitt 2009: Ökologische Aspekte einer geothermischen Stromerzeugung - Analyse und Bewertung der Umwelteffekte im Lebensweg. - Erdöl, Erdgas, Kohle, 125, 1, 37-42.
- Fthenakis Vasilis M. 2008: Environment, Health and Safety. In: Solar Annual Review Meeting 2008.
- Gabriel, Sigmar und Frank-Walter Steinmeier 2009: Eine Wachstumsstrategie für Deutschland. Neue Arbeit durch Investitionen in Energie und Umwelt. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/green_recovery_bf.pdf.
- Ganswindt, Katrin et al. 2013: Bitter coal – Ein Dossier über Deutschlands Steinkohleimporte. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://urgewald.org/sites/default/files/bittercoal_1_15_13.pdf.
- GHK 2011: Impacts of Structural Change: Implications for policies supporting transition to a Green Economy. Projektbericht im Auftrag der Europäischen Kommission. Birmingham: Europäische Kommission.
- GFN 2012: Gesetz über Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) – Schwerpunkt Windkraft. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.gfn-umwelt.de/Leistungsspektrum/Windenergienutzung/UVPG-wind/uvpg-wind.html>.
- Grober, Ulrich 2001: Die Idee der Nachhaltigkeit als zivilisatorischer Entwurf. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, 24/2001, 3-5.
- Grunwald, Armin 2010: Technikfolgenabschätzung: eine Einführung (2., überarbeitete Auflage). Berlin: edition sigma.
- GWEC o.J.: Windpower is crucial for combating climate change. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.gwec.net/uploads/media/Wind_climate_fact_sheet_low_res.pdf.
- Hacker, Florian et al. 2009: Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe - Critical Review of Literature. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/636341/1/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf
- Handelsblatt online 2012: Chinas gefährliches Rohstoff-Monopol, 21.06.2012, Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/seltene-erden-chinas-gefaehrliches-rohstoff-monopol/6772796.html>.
- Helms, Hinrich; Udo Lambrecht und Nils Rettenmaier 2011: The 'Renewables' Challenge – Biofuels vs. Electric Mobility. Ifeu. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter [http://ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/Helms\(2011\)Konferenzbeitrag_The%20Renewables%20Challenge.pdf](http://ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/Helms(2011)Konferenzbeitrag_The%20Renewables%20Challenge.pdf).

- HLPE 2013: Biofuels and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-5_Biofuels_and_food_security.pdf.
- Hotz-Hart, Beat und Adrian Rohner 2013: Nationen im Innovationswettbewerb. Ökonomie und Politik der Innovation. Wiesbaden: Springer.
- HSBC 2010: Sizing the climate economy. London: HSBC Global Research.
- IAB 2011: Plattform Innovative Antriebe Bus, Abschlussbericht. Gefördert durch das BMVBS. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.ssb-ag.de/files/iab_abschlussbericht.pdf.
- IEA 2010: World Energy Outlook 2011. Zusammenfassung. German Translation. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://iea.org>.
- IEA 2011a: CO₂ Emissions from Fuel Combustion, Highlights, 2011 Edition. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.iea.org>.
- IEA 2011b: Deploying Renewables – Best and future policy practice.
- IEEP 2011: Anticipated Indirect Land Use Change Associated with Expanded Use of Biofuels and Bioliquids in the EU – An Analysis of the National Renewable Energy Action Plans. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.ieep.eu/assets/786/Analysis_of_ILUC_Based_on_the_National_Renewable_Energy_Action_Plans.pdf.
- IFEU 2011a: UMBReLA - Umweltbilanzen Elektromobilität. Wissenschaftlicher Grundlagenbericht. Institut für Energie- und Umweltforschung. Heidelberg.
- IFEU 2011b: UMBReLA - Umweltbilanzen Elektromobilität. Ergebnisbericht Institut für Energie- und Umweltforschung. Heidelberg.
- IFEU 2013: Ökologische Begleitforschung zum Flottenversuch Elektromobilität. Endbericht im Auftrag des BMU. Heidelberg.
- IFEU und WI 2007: Elektromobilität und erneuerbare Energien. Arbeitspapier Nr. 5 im Rahmen des Projektes „Energiebalance – Optimale Systemlösungen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz“. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Energiebalance-AP5.pdf.
- INKLIM 2007: Potenziale zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Wärmeversorgung von Gebäuden in Hessen bis 2012. Studie im Rahmen von INKLIM 2012 (Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen 2012) durchgeführt von IWU Darmstadt.
- International Transport Forum 2011: Transport Outlook 2011. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.internationaltransportforum.org>.
- ISEA 2012: Batterietechnologie und Speichersysteme – Hochtemperatur-Batterien. Zuletzt eingesehen am 10.02.2012, unter http://www.isea.rwth-aachen.de/de/energy_storage_systems_technology_high_temperature_batteries/.
- ITWissen 2012: Lithium-Ionen-Akku. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Lithiumionen-Akku-LiIon-lithium-ion.html>.
- Jänicke, Martin; Philip Kunig und Michael Stitzel 2003: Umweltpolitik. Lern- und Arbeitsbuch (2., aktualisierte Auflage). Bonn: Dietz.
- Jänicke, Martin 2012: Megatrend Umweltinnovation. Zur ökologischen Modernisierung von Wirtschaft und Staat (2., aktualisierte Auflage). München: Oekom.
- Janssens, Ivan A., et al. 2005: The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – a European case study. Biogeosciences 2/2005, 15-26.
- Jones, Randall S. und Byungseo Yoo 2011: Korea's Green Growth Strategy: Mitigating Climate Change and Developing New Growth Engines. OECD Economics Department Working Papers, No. 798. Paris: OECD Publishing.

- Kahlenborn, Walter; Rainer Agster; Vincent Pelikan; Daniel Gyamerah; Dr. Christine Wörlen; Gisa Holzhausen; Magali Menant 2010: Exportförderung innovativer Umwelttechnologien. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin: adelphi.
- Khan, Siddiq und Martin Kushler 2013: Plug-In Electric Vehicles: Challenges and Opportunities. ACEEE Research Report Number T133, June 2013.
- KfW 2011: Evaluation der KfW-Programme „KfW-Kommunalkredit - Energetische Gebäudesanierung“, „Energieeffizient Sanieren – Kommunen“ und „Sozial investieren – Energetische Gebäude-sanierung“ der Jahre 2007 bis 2010. Gutachten für die KfW-Bankengruppe durchgeführt vom Bremer Energie Institut.
- Kleeman, Manfred; Rainer Heckler, Armin Kraft und Wilhelm Kuckshinrichst 2003: Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO₂-Minderung und KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm. Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt, Band 34.
- Knoke, Irene und Jan Binnewies 2011: Wem nutzt der Rohstoffreichtum? Für mehr Balance in der Rohstoffpolitik. Siegburg: Südwind e.V.
- Knopf, Jutta et al. 2011: Corporate Social Responsibility - National Public Policies in the European Union. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission. Luxemburg: Europäische Union.
- Konietzko, Stella und Marko Gernuks 2011: Ressourcenverfügbarkeit von sekundären Rohstoffen – Potenzialanalyse für Lithium und Kobalt – Umbrella-Arbeitsgruppe Ressourcenverfügbarkeit im Rahmen der BMU-geförderten Projekte LithoRec und LiBRI, Abschlussbericht. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/batterierecycling/abschlussberichte-recycling/bericht-ressourcenverfuegbarkeit-projektuebergreifend.pdf>.
- Krafftahrt-Bundesamt 2012a: Herkömmliche Antriebe bestimmen die Neuzulassungen. Zuletzt eingesehen am 07.10.2012, unter http://www.kba.de/cln_031/nn_191064/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/EmissionenKraftstoffe/2011_n_herkoemmlische_antriebe.html.
- Krafftahrt-Bundesamt 2012b: Pressemitteilung Nr. 3/2012. Zuletzt eingesehen am 07.10.2012, unter http://www.kba.de/cln_031/nn_124832/DE/Presse/PressemitteilungenStatistiken/2012/Fahrzeugbestand/fz_bestand_pm_text.html
- Lauster, Gitta; Stormy-Annika Mildner und Wiebke Wodni 2010: Transparenz im Rohstoffhandel. SWP-Aktuell 76/2010. Berlin.
- Linz, Manfred 2004: Weder Mangel noch Übermaß. Über Suffizienz und Suffizienzforschung. Wuppertal Papers, Nr. 145 / Juli 2004. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://zappo-berlin.de/content/zappopedia/pub_docs/WP145.pdf.
- LLA 2012: Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth. Windkraftanlagen – Technologie und Wirtschaftlichkeit. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.lla-bayreuth.de/files/5_Erneuerbare_Energien/Wind/WEA_TechnikundWirt1.pdf.
- Lowe, Marcy; Saori Tokuoka; Tali Trigg und Gary Gereffi 2010: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: The U.S. Value Chain. Durham, North Carolina: Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University.
- LSKN – Landesbetriebe für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen 2011: Jährliche Holzernte in Niedersachsen seit 1992 mehr als Verdoppelt. Pressemitteilung 25/11, 17.März 2011. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.lskn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=25666&article_id=94985&psmand=40.
- Manhart, Andreas 2012: Ressourcenfieber – Seltene Erden und kritische Metalle. Vortrag in der Reihe „Wissenschaft für jedermann“, Deutsches Museum München, 08.02.2012. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.oeko.de/oekodoc/1496/2012-065-de.pdf>.

- MaRes 2010: Indikatoren / Bottom-up Modelle und Szenarien. Abschlussbericht zu AP 6 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“, im Auftrag des BMU & UBA. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRes_AP6_7_AbschlussBer.pdf
- Martinuzzi, Andre 2011: Responsible Competitiveness - Linking CSR and Competitive Advantage in three European Industrial Sectors. Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht, 3, 297-337.
- Martinuzzi, Andre; Sabine Gisch-Boie und Adele Wiman 2010: Does Corporate Responsibility pay off? Exploring the links between CSR and competitiveness in Europe's industrial sectors. Wien: RIMAS.
- METI 2010: Top Runner Program. Developing the World's best Energy-Efficient Appliances.
- Meyer, Rolf; Armin Grunwald; Christine Rösch und Arnold Sauter 2007: Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen – Basisanalysen, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 121.
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft Schleswig-Holstein 2003: Umweltverträglichkeit von Gebäudedämmstoffen.
- NABU 2013: Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.izt.de/themenschwerpunkte/zukunftsforschung-technologiebewertung-nachhaltige-entwicklung/abgeschlossene-projekte/projekt/gruenetechnologien/>.
- Nitsch, Joachim; Frithjof Staiß; Bernd Wenzel und Manfred Fishedick 2005: Ausbau Erneuerbarer Energien im Stromsektor bis zum Jahr 2020. Vergütungszahlungen und Differenzkosten durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Stuttgart, Wuppertal: DLR, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff- Forschung, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.dlr.de/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Nitsch_Ausbau_EE_bis_2020.pdf
- NIW/Fraunhofer ISI 2011: Ausgewählte Indikatoren zur Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich: Produktion, Außenhandel, Umweltforschung und Patente. Projektbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau/Berlin: UBA/BMU.
- NPE 2010a: Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/elektromobilitaet-bericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- NPE 2010b – Batterietechnologie: Bericht der AG-2 Batterietechnologie für den Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Elektromobilität. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmbf.de/pubRD/agzwei_batterietechnologie.pdf.
- NPE 2011: Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.bmwi.de/Dateien/Energieportal/PDF/zweiter-bericht-nationale-plattform-elektromobilitaet,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- NPE 2012: Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht). Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_3_bf.pdf.
- OECD 2008: OECD Umweltausblick bis 2030, 1. Auflage.
- OECD 2010a: Greener and Smarter – ICTs, the Environment and Climate Change. Paris: OECD.
- OECD 2010b: Pro-active Policies for Green Growth and the Market Economy. Paris: OECD.
- OECD 2011: Towards Green Growth: Monitoring Progress. Paris: OECD.
- oekom research 2010: oekom Corporate Responsibility Review 2010. Nachhaltigkeit in Unternehmensführung und Kapitalanlagen – eine Bestandsaufnahme. München: oekom research AG.
- oekom research 2012: oekom Corporate Responsibility Review 2012. Nachhaltigkeit in Unternehmensführung und Kapitalanlagen – eine Bestandsaufnahme. München: oekom research AG.

- Öko-Institut 2007: Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle. Darmstadt: Öko-Institut.
- Öko-Institut et al. 2013: Politikszenerarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- OPTUM 2011a: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität. Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/begleitforschung/optum-1/4BMUFKZ16EM0031_OPTUM.pdf.
- OPTUM 2011b: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft. Eingesehen unter: <http://www.oeko.de/oekodoc/1342/2011-004-de.pdf>.
- OPTUM 2011c: Marktpotenziale und CO₂-Bilanz von Elektromobilität.. Arbeitspakete 2 bis 5 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.oeko.de/oekodoc/1338/2011-002-de.pdf>.
- Pehnt, Martin et al. 2009: Kurzstudie zur Energieeffizienz, Wachstum und Beschäftigung. Analyse der Potenziale und volkswirtschaftlichen Effekte einer ambitionierten Effizienzstrategie für Deutschland. Im Auftrag des BMU. Berlin: IFEU, Fraunhofer ISI, GWS, Prognos.
- PEW 2011: Who's Winning the Clean Energy Race? Philadelphia, Washington: The PEW Charitable Trusts.
- Photon 2008: Klimakiller Photovoltaik? Photon 12/2008.
- Pilz, Harald, Bernd Brandt und Roland Fehringer 2010: Auswirkungen von Kunststoffen auf Energieverbrauch und THG in Europa. Wien: denkstatt.
- Plastics Europe 2011: Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland. Kurzfassung. Alzenau: Consultic. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.plasticseurope.de/Document/studie-zu-produktion-verarbeitung-und-verwertung-von-kunststoffen-in-deutschland-2011---kurzfassung.aspx?Page=DOCUMENT&FoIID=2>
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung 2012: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. Berlin.
- Prognos 2007: Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen. Endbericht 18/06 im Auftrag des BMWi. Berlin, Bonn.
- Prognos, EWI, GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.
- Ramesohl, Stephan et al. 2006: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Bd. 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Wuppertal: Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie. Eingesehen unter: <http://wupperinst.org/projekte/details/wi/p/s/pd/5/>.
- Rausch, Lothar & Uwe R. Fritsche 2012: Aktualisierung von Ökobilanzdaten für Erneuerbare Energien im Bereich Treibhausgase und Luftschadstoffe. Endbericht. Zuletzt eingesehen am 08.10.2012, unter http://www.oeko.de/das_institut/team/dok/630.php?id=8&dokid=1621&anzeige=det&ITitel1=&IAutor1=
- Reitberger, Franz 2006: Stromerzeugung mit Biogas – ökologische Aspekte. Vortrag auf der C.A.R.M.E.N. & Bayrisches Landesamt für Umwelt 2006: Bioenergie – Umweltfreundliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Publikation der Beiträge zur Fachtagung am 26.01.2006. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_btb_3_bioenergie_umweltfreundliche_nutzung_nachwachsender_rohstoffe.pdf.
- Renewable Fuels Agency 2008: The Gallagher Review of the indirect effects of the bio-fuels production. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.unido.org/fileadmin/user_media/UNIDO_Header_Site/Subsites/Green_Industry_Asia_Conference_Maa_nila_GC13/Gallagher_Report.pdf.

- Renner, Andreas; Christopher Gohl und Maximilian de Maizière 2002: Nachhaltigkeit und Globalisierung, Partizipation, Demokratie – Identifizierung von Zusammenhängen und Gestaltungsansätzen. Kurzstudie für den Rat für Nachhaltige Entwicklung. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.reocities.com/utkum/KurzstudieGlobalisierung.pdf>.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century): Renewables 2012 Global Status Report. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012_low.pdf.
- Rettenmaier, Nils 2011: Umweltwirkungen der Erzeugung und Nutzung von Strom aus Biomasse. BMELV-Konferenz: Anspruch der Bioenergie an die EEG-Novellierung, Berlin, 17. Februar 2011.
- Roland Berger Strategy Consultants 2011a: Energie- und Ressourceneffizienz im Immobilienmanagement. Zuletzt eingesehen am 8.10.2012, unter http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Energie_und_Ressourceneffizienz_im_Immobilienmanagement_20111216.pdf.
- Roland Berger Strategy Consultants 2011b: Effizienzsteigerung in stromintensiven Industrien. Ausblick und Handlungsstrategien bis 2050 – Kurzfassung (Studie). München: Roland Berger Strategy Consultants.
- Roloff, Nils 2011: Die Wirkungen staatlicher Fördermaßnahmen auf die Innovationsdynamik im Bereich der erneuerbaren Energien – Eine Analyse der deutschen PV-Branche auf Basis eines agentenbasierten Simulationsmodells. Dissertation. Stuttgart: Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart.
- RWI 2010a: Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland. Forschungsprojekt im Auftrag des Verbands der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK). Essen: RWI.
- RWI 2010b: Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft – Monitoringbericht 2010. Bericht zum Forschungsprojekt im Auftrag von BMWI, BMU, BMF und BDI. Essen: RWI.
- Schippl, Jens & Juliane Jörisen 2010: Foresight für die Umwelttechnik von morgen. Einführung in den Schwerpunkt. In: TaTuP 1/2010, 4-12.
- Splechna, Bernhard und Gerhard Glatzel 2005: Optionen der Bereitstellung von Biomasse aus Wäldern und Energieholzplantagen für die energetische Nutzung. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen 2007: Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.umweltrat.de/cae/servlet/contentblob/467474/publicationFile/34339/2007_SG_Biomasse_Buch.pdf.
- Staiß, Frithjof, Maike Schmidt & Frank Musiol 2007: Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2007 gemäß § 20 EEG. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.naturschutzstandards-erneuerbarer-energien.de/images/literatur/eeg_forschungsbericht_Kapitel8%5B1%5D.pdf.
- Stahl-Zentrum: Daten der Energie- und Umwelttechnik. Zuletzt eingesehen am 23.05.2013, unter http://www.stahl-online.de/Deutsch/Linke_Navigation/Technik_Forschung/Energie_und_Umwelttechnik/index.php?highmain=2&highsub=3&highsubsub=0.
- Stamp, Anna; Daniel J. Lang und Patrick A. Wäger 2012: Environmental Impacts of a Transition toward E-mobility: The Present and Future Roles of Lithium Carbonate Production. In: Journal of Cleaner Production 23, 104-112.
- Statistisches Bundesamt 2006: Preise und Preisindizes für gewerbliche Produkte (Erzeugerpreise). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt 2012a: Abfallbilanz 2010. Zuletzt eingesehen am 7. Oktober 2012, unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/Abfallbilanz2010.pdf?__blob=publicationFile.
- Statistisches Bundesamt 2012b: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012. Wiesbaden. Statistisches Bundesamt.

- Statistisches Bundesamt 2012c: Abfallbilanz 2010. Zuletzt eingesehen am 02.05.2013, unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/Abfallbilanz2010.pdf?__blob=publicationFile
- StMWIVT/ifo 2010: Umweltwirtschaft in Bayern. Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie. München: StMWIVT.
- Strom-Speicher 2012: Natrium-Schwefel-Batterie. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.strom-speicher.org/de/html/3657/natrium-schwefel-batterie.html>.
- Tsao, Jeff Y. et al. 2010: Solid-state Lighting: An Energy-economics Perspective. In: Journal of Physics D: Applied Physics 43:35.17pp.
- Tuschinski, Melita 2012: EnEV 2012/2013 Was kommt wann? Schritt für Schritt zur Novelle der Energieeinsparverordnung. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://service.enev-online.de/bestellen/EnEV_2012_Was_kommt_Novelle_Energieeinsparverordnung.pdf.
- UBA 2007: Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung gefährlicher Abfälle. Endbericht. Heidelberg: Ifeu Institut.
- UBA 2009a: Umweltwirtschaft. Zuletzt eingesehen am 12.10.2012, unter <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2339>.
- UBA 2009b: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007. Dessau-Roßlau: UBA.
- UBA 2010a: Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte. Dessau-Roßlau: UBA.
- UBA 2010b: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3997.pdf>.
- UBA 2010c: Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4025.pdf>.
- UBA 2011a: Übersicht zur Entwicklung der energiebedingten Emissionen in Deutschland 1990 – 2010. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.umweltbundesamt.de>.
- UBA 2011b: Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4070.html>.
- UBA 2012a: Emissionen des Verkehrs. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>.
- UBA 2012b: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Eingesehen unter <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3152>.
- UBA 2013: Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos. Positionspapier, 18.04.2013.
- UN-DESA 2012: A Guidebook to the Green Economy. Issue 2: exploring green economy principles. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/743GE%20Issue%20nr%202.pdf>.
- UN-DESA/UNEP/UNCTAD 2011: Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.uncsd2012.org/rio20/index.php?page=view&type=400&nr=12&menu=45>.
- UNEP, EPO, ICTSD 2010: Patents and clean energy: bridging the gap between evidence and policy. Final report. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/cc5da4b168363477c12577ad00547289/\\$FILE/patents_clean_energy_study_en.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/cc5da4b168363477c12577ad00547289/$FILE/patents_clean_energy_study_en.pdf).
- UNEP 2011: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter www.unep.org/greeneconomy.

- UNESCAP 2010: Green Growth, Resources and Resilience. Environmental sustainability in Asia and the Pacific. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter <http://www.unescap.org/esd/environment/flagpubs/GGRAP/documents/Full-Report.pdf>.
- UNIDO 2011: Green Industry Initiative for Sustainable Industrial Development. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter http://www.ecdc.net.cn/2012gssdexpo/green_industry_initiative_for_sustainable_industrial_development.pdf.
- United Nations General Assembly 2012: The Future We Want. Draft resolution submitted by the President of the General Assembly. Sixty-sixth session. Agenda item 19. Sustainable development. Doc. A/66/L.56. Zuletzt eingesehen am 14.09.2012 unter <http://www.uncsd2012.org/thefuturewewant.html>.
- US Department of Commerce 2010: Measuring the Green Economy. Zuletzt eingesehen am 21.05.2012, unter http://www.esa.doc.gov/sites/default/files/reports/documents/greeneconomyreport_0.pdf.
- VDA 2012: Jahresbericht 2012. Zuletzt eingesehen am 7. Oktober 2012, unter <http://vda.de/de/publikationen/jahresberichte/index.html>.
- VDE 2012: VDE Studie: Stromnetz und Verkehrssektor wachsen zusammen. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/Studie-Energiespeicher.aspx>.
- VDI Technologiezentrum 2009: Potenziale für eine ressourceneffiziente Wirtschaft. Düsseldorf: Zukünftige Technologien.
- VDI Technologiezentrum 2010: Technologieprognosen, Internationaler Vergleich 2010. Studie im Auftrag und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Düsseldorf: Zukünftige Technologien.
- VDI Zentrum Ressourcen Effizienz und Klimaschutz 2012: Daten zum Energieverbrauch und CO₂-Emission von Dämmstoffen. Zuletzt eingesehen am 20.09.2012 unter <http://www.vdi-zre.de/branchen/bauen/effizienz-in-der-daemmung/energieverbrauch-CO2-emission/>.
- VDMA 2012: Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau. Zuletzt eingesehen am 6. Oktober 2012, unter http://www.vdma.org/wps/portal/Home/de/VDMAThemen/Maerkte_und_Konjunktur/Branchenportraet/VwS_20110624_A_DerdeutscheMaschinenbau?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/vdma/Home/de/VDMAThemen/Maerkte_und_Konjunktur/Branchenportraet/VwS_20110624_A_DerdeutscheMaschinenbau.
- WBGU 2011: Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Hauptgutachten. Berlin: WBGU.
- Winkelmann, Ines 2006: Kurzumtriebsplantagen aus naturschutzfachlicher Sicht. Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Natur und Landschaft und Ableitung von Handlungsempfehlungen. Hannover: Leibniz Universität, Diplomarbeit.
- Wirth, Harry 2012: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg: Fraunhofer ISE.
- WI 2006: Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen. Kurzfassung. Endbericht im Auftrag der E.ON AG. Wuppertal: WI.
- WI 2008: Technisch-wirtschaftliche Potenziale zur Einsparung von Endenergie. Im Auftrag der E.ON AG. Wuppertal: WI.
- World Commission on Environment and Development 1987: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. UN Documents. Zuletzt eingesehen am 22.04.2014, unter <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>.
- World Economic Forum 2013: Global Competitiveness Report 2013/2014. Zuletzt eingesehen am 08.12.2013, unter http://www3.weforum.org/docs/GCR2013-14/GCR_Rankings_2013-14.pdf.
- Zadek, Simon et al. 2006: Responsible Competitiveness: Reshaping Global Markets through Responsible Business Practices. In: Corporate Governance. 6:4, 334-348.

Anhang

Anhang 1: Studien

UNEP 2011: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication

Zielsetzung und Inhalt

Der zur Vorbereitung auf die Rio+20-Konferenz veröffentlichte Bericht der UNEP beschreibt die Entwicklung zu einer CO₂-armen, ressourcenschonenden und nachhaltigen Weltwirtschaft.

Es werden die gesellschaftlichen und ökonomischen Vorteile dargestellt, wenn jährlich 2% des weltweiten BIP in zehn Schlüsselsektoren investiert werden, um den Übergang zu einer Green Economy voranzutreiben. Solche Investitionen ließen positive Effekte auf Wachstum, Einkommen, Beschäftigung und Armutsbekämpfung erwarten.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Nach der Definition der UNEP ist eine Green Economy eine Wirtschaft, „die zu einem größeren Wohlstand der Menschheit und zu mehr sozialer Gerechtigkeit führt und gleichzeitig Umweltgefahren und ökologisch bedingten Mangel erheblich reduziert“.

Die Studie nennt zehn Schlüsselsektoren für eine ökologische Weltwirtschaft: Landwirtschaft, Bauwesen, Energieversorgung, Fischerei, Forstwirtschaft, Industrie einschließlich Energieeffizienz, Tourismus, Transportwesen, Abfall- und Wasserwirtschaft. Unterschieden wird zwischen den Sektoren, die dem Naturkapital bzw. der Urproduktion (primärer Sektor) zugeordnet werden (Landwirtschaft, Fischerei, Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft), und den übrigen Sektoren, die unter der Überschrift „Investing in energy and resource efficiency“ gefasst werden.

Dynamik und Trends

Für 2010 geht die Studie von Neuinvestitionen in umweltfreundliche Energien in einer Rekordhöhe von bis zu 200 Milliarden USD aus (2009: 162 Milliarden USD; 2008: 173 Milliarden USD). Dieser Anstieg wird zunehmend von Ländern getrieben, die nicht der OECD angehören. Der Anteil der Nicht-OECD-Länder Anteil am weltweiten Investitionsvolumen in Erneuerbare Energien stieg von 29% im Jahr 2007 auf 40% 2008. Den Hauptanteil daran hatten Brasilien, China und Indien.

Durch Investitionen in einer Größenordnung von jährlich 1,25% der weltweiten Wirtschaftsleistung in die Verbesserung der Energieeffizienz und Ausbau der Erneuerbaren Energien lässt sich laut UNEP-Bericht der globale Primärenergieverbrauch bis 2020 um 9%, bis 2050 um 40% senken.

Die Studie sieht in Zukunft hervorragende Chancen zur Entkopplung des Abfallaufkommens vom BIP-Wachstum, insbesondere durch die Technologien **Wiederverwertung** und **Recycling**. Beispiele werden unter anderem aus **Korea** und **Brasilien** angeführt:

- ▶ Die Republik Korea hat einen Anstieg der Recyclingquote um 14% erreicht, was einem quantitativen Nutzen in Höhe von 1,6 Milliarden USD entspricht. Die Hebel für diesen Erfolg waren eine Erweiterung der Herstellerhaftung sowie die Einführung von Bestimmungen zur Entsorgung/Recycling von Batterien, Reifen, Verpackungen wie Glas und Papier etc.
- ▶ In Brasilien werden mit Recycling bereits Umsätze von 2 Milliarden USD pro Jahr erwirtschaftet. Außerdem werden 10 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen vermieden.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Der Fortschritt der grünen Transformation wird anhand von quantitativen Größen wie BIP pro Kopf, Recyclingquote und Beschäftigungszuwachs gemessen.

EIO 2011: The Eco-Innovation Challenge: Pathways to a resource-efficient Europe

Zielsetzung und Inhalt

Der erste der künftig jährlich erscheinenden Berichte gibt eine Einführung in das Thema „eco-innovation“ und fasst die bisherigen Erkenntnisse aus diesem Bereich zusammen. Hierbei stehen die Themen Innovation und Nachhaltigkeit im Vordergrund. Die Studie betrachtet den Status quo hinsichtlich Eco-Innovation in der Europäischen Union sowie in ausgewählten Ländern.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Im Mittelpunkt der Studie steht die Eco-Innovation. Das Verständnis dieses Begriffs bezieht sich in erster Linie auf die Rohstoff- und Materialeffizienz unter der Berücksichtigung eines ganzheitlichen Life-Cycle-Ansatzes („Eco-innovation is innovation that reduces the use of natural resources and decreases the release of harmful substances across the whole life-cycle. The understanding of eco-innovation has broadened from a traditional understanding of innovating to reduce environmental impacts towards innovating to minimise the use of natural resources in the design, production, use, re-use and recycling of products and materials.“).

Dynamik und Trends

Deutschland hat mit Abstand den höchsten Anteil an Firmen, die Innovationen rund um die Material- und Energieeffizienz im Bereich der Produktion (ohne Dienstleistungen) tatsächlich umgesetzt haben. Bei deutschen Unternehmen nimmt dieses Thema inzwischen eine Schlüsselrolle ein.

Um die Leistungsstärke der einzelnen EU-Staaten im Bereich Eco-Innovation zu vergleichen, wurde im Rahmen der Studie ein „Eco-Innovation Scoreboard“ entwickelt. Es hat sich gezeigt, dass Dänemark, Deutschland, Österreich und Schweden bei den Eco-Innovationen die Gruppe der stärksten europäischen Länder bildet. Allerdings gibt es in der EU kein Land, das sich in allen betrachteten Segmenten der Eco-Innovation als High-Performer auszeichnete.

Europäische Firmen sehen sich einer zunehmend stärkeren Konkurrenz seitens der Wettbewerber aus Schwellenländern ausgesetzt. Diese entdecken mehr und mehr die Potenziale von grünen Märkten und damit auch der Materialeffizienz.

Zudem wird auf die steigende Bedeutung von Metallen für die Produktion hingewiesen. Diese Metalle sind insbesondere Tellurium (Solarindustrie), Indium (LCD), Gallium (LED u. Dünnschicht-Solarzellen).

Mittel- und langfristig werden Seltene Erden (Katalysatoren, Magnete), Lithium (Batterien, Keramik/Glas, Hybrid-/Elektrofahrzeuge) und Kobalt (Lithium-Ionen Batterien, synthetische Brennstoffe) weiterhin an Bedeutung gewinnen. Daher stehen Technologien zur Gewinnung und Recycling dieser Rohstoffe weltweit zunehmend im Fokus.

Die hohen Erwartungen an die Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) -Technologie haben sich bislang nicht erfüllt. Die Hauptursachen hierfür sind Unsicherheiten beim Betrieb von Großanlagen und die hohen Kosten.

Fast alle Technologien zur Abwasserbehandlung haben einen hohen Reifegrad erreicht. Die Anschaffungs- und Betriebskosten für diese Technologien sind hoch, daher wird mit Hochdruck an Alternativtechnologien wie der Membrantechnik geforscht.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Die Verbesserung der Materialproduktivität betrug in der Vergangenheit in Europa rund 3% pro Jahr. Über die herkömmliche Art und Weise der Messung des Innovationsgrades hinaus schlägt die Studie eine eigens entwickelte Messung des Innovationsgrades von Eco-Innovationen vor. Eine neue Methodik zur Messung des Innovationsgrades einzelner Länder setzt sich wie folgt zusammen:

Eco-Innovation-Input (Forschungs- und Entwicklungsausgaben im Verhältnis zum BIP, Anzahl der FuE-Mitarbeiter bezogen auf die Gesamtzahl der Mitarbeiter, absoluter Wert von grünen Investitionen in Start-

up-Unternehmen);

Eco-Innovation-Aktivitäten (Anteil der Firmen, die sich Eco-Innovationen widmen, Anteil der Firmen die Eco-innovationsorientierte Systeme implementieren);

Eco-Innovation-Output wird gemessen anhand von Eco-Innovation-Patenten, Materialproduktivität, Wasserproduktivität, Energieproduktivität, Emissionen;

Sozio-Ökonomische Folgen (Arbeitsplätze in Eco-Innovation-Industrien, Marktgröße von Eco-Innovationen, Export von Eco-Innovationen).

ECORYS 2009: Study on the Competitiveness of the EU eco-industry

Zielsetzung und Inhalt

Das Ziel der Studie ist es, eine Einschätzung der Wettbewerbsfähigkeit der Umweltwirtschaft in den einzelnen EU-Staaten zu erlangen. Dazu wurden Größe und Struktur des Umwelttechnikmarktes der Europäischen Union („EU eco-industry“) bestimmt; auf dieser Basis wurde seine Wettbewerbsfähigkeit analysiert.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Definition der „eco-industries“: Grundsätzlich bezieht sich die Studie auf die OECD/ Eurostat Definition von 1999. Danach wird der Umwelttechnikmarkt wie folgt definiert: Aktivitäten, welche Güter, Technologien bzw. Dienstleistungen produzieren, die Schaden von der Umwelt abwenden. Dies kann durch Messen, Vorbeugen, Limitieren, Minimieren oder Korrigieren in den Bereichen Wasser, Luft, Boden sowie der Abfallbeseitigung und Lärminderung erreicht werden.

Marktabgrenzung: Die Studie nimmt eine Unterscheidung zwischen „core eco-industries“ und „connected eco-industries“ vor. Zu den Kernsegmenten der Umweltwirtschaft zählen *„those [identifiable] sectors within the main – or a substantial part of – activities are undertaken with the primary purpose of the production of goods and services to measure, prevent, limit, minimize or correct environmental damage to water, air and soil, as well as problems related to waste, noise and eco-systems.“* Diejenigen Sektoren, die dieser Definition nicht entsprechen, werden als „connected eco-industries“ klassifiziert – sie weisen zwar Überschneidungen mit der Umweltwirtschaft auf, aber Umweltschutz ist nicht der Primärzweck der wirtschaftlichen Aktivität in diesen Sektoren. Dies wird am Beispiel des „Öko-Tourismus“ deutlich: Der Primärzweck Tourismus soll mit ökologisch akzeptablen Mitteln erreicht werden. Zu den „connected eco-industries“ zählen unter anderem die Automobilindustrie, die Chemieindustrie, die IKT und der Maschinenbau.

Der **Fokus** der Studie liegt auf den „core eco-industries“ Luftverschmutzung, Sammeln und Behandlung von Abfall und Abwasser, Erneuerbare Energien und Recycling. Außerdem wurde als „connected eco-industry“ der Sektor nachhaltiges Bauen betrachtet.

Zur Berechnung der Marktgröße wurde auf eine Methodik von Ernst & Young aus dem Jahr 2006 zurückgegriffen, die nur marginal angepasst wurde. Dabei wurden die Querschnittsbereiche der Umweltwirtschaft („connected eco-industries“) jedoch nicht explizit berücksichtigt.

Dynamik und Trends

Der Gesamtmarkt wuchs von 2004 bis 2008 um jährlich durchschnittlich 8%. Insbesondere die Teilmärkte Erneuerbare Energien (CAGR 20%) und Recycling (16,3%) wiesen ein dynamisches Wachstum auf. In diesen Segmenten sowie im Bereich Wasserbereitstellung nimmt Europa eine führende Position ein.

Die Verflechtung zwischen der Umwelttechnik und klassischen Industrien wird in Zukunft noch enger, da insbesondere Rohstoff- und Materialeffizienz sowie die Reduktion von Treibhausgasemissionen ganz oben auf der Agenda von Produktionsunternehmen stehen. Diese Themen werden zunehmend zu erfolgskritischen Faktoren für die Wettbewerbsfähigkeit.

Die europäische Umwelttechnikbranche hat durch konsequente gesetzliche Vorgaben einen Vorsprung im Vergleich zu anderen Ländern und Regionen. Jedoch schwindet dieser Vorsprung, da Länder wie zum Beispiel China, Japan und Taiwan massiv investieren.

In einer mikroökonomischen Analyse hat die Studie die Produktivität und die Profitabilität der weltweit führenden 250 Unternehmen der einzelnen „core eco-industries“ im Zeitraum 2004 bis 2006 untersucht. Demnach lag die Profitabilität der EU-Unternehmen aus den Sektoren Luftverschmutzung, Abfallwirtschaft, Erneuerbare Energien niedriger als die der Wettbewerber aus nicht-europäischen Ländern.

Auf Technologieebene wurden folgende Trends in der EU identifiziert:

- ▶ **Luftreinhaltung:** Klarer Trend weg von den End-of-pipe-Technologien hin zu einem prozessorientierten Ansatz;
- ▶ **CCS:** Die hohen Erwartungen an die CCS-Technologie haben sich bisher nicht erfüllt. Unsicherheiten beim Betrieb von Großanlagen und die hohen Kosten sind dafür die Hauptursachen;
- ▶ **Abwasserbehandlung:** Fast alle Technologien zur Abwasserbehandlung haben einen hohen Reifegrad erreicht. Die Anschaffungs- und Betriebskosten für diese Technologien sind hoch, daher wird mit Hochdruck an Alternativtechnologien wie der Membrantechnik geforscht;
- ▶ **Biokunststoffe und Biokraftstoffe** sind die Technologien mit den höchsten Wachstumsraten. Hier ist unter anderem die USA stark.

Europäische Unternehmen in der Umweltwirtschaft erwirtschaften mit Ausnahme des Bereichs Erneuerbare Energien niedrigere Gewinne als die Unternehmen aus den klassischen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Als Indikator werden Veränderungen von Kerngeschäftsfeldern von Unternehmen in den klassischen Industrien betrachtet: Insbesondere in der Recyclingindustrie (Refokussierung von Bergbauunternehmen in die Abfallwirtschaft) und in der Energiewirtschaft (Fokus von Energieversorgungsunternehmen auf regenerative Energien) sind Anzeichen der grünen Transformation zu beobachten.

HSBC 2010: Sizing the climate economy

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie mit weltweitem Fokus untersucht Wachstumsbereiche in der sogenannten „Climate Economy“. Hierzu wurden verschiedene Szenarien berechnet.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die Berechnungen für den „low-carbon market“ beziehen sich auf Investitionen in emissionsarme Energieproduktion, -effizienz und -management. Berücksichtigt wurden auch Umsätze für Strom, Wärme und Kraftstoffe – auch in Bezug auf Energieeffizienz im Gebäudesektor, im Verkehrssektor und der Industrie.

Dynamik und Trends

In dem Basis-Szenario wächst der Markt („low-carbon market“) von 2009 bis 2020 mit jährlich durchschnittlich 11% und wird 2020 ein Volumen von 2,2 Billionen USD erreichen (Energieproduktion ca. 1 Billion USD, Energieeffizienz und Energiemanagement ca. 1,2 Billionen USD).

Besonders hervorgehoben wurden die Wachstumsperspektiven für Hybrid- und Elektrofahrzeuge mit einem geschätzten Marktvolumen von 473 Milliarden USD im Jahr 2020. Weitere dynamisch wachsende Märkte sind Energieeffizienz bei Gebäuden (CAGR 10%) und Transport (CAGR 18%), Energiespeicherung (CAGR 15%) und Smart-Grid-Lösungen (CAGR 8%)

China wird bis 2020 seinen Anteil am globalen „low-carbon market“ von 17% (2010) auf 24% erhöhen (CAGR 14%) und damit die USA überholen, deren Marktanteil von 21% (2010) bis 2020 auf 20% sinken wird, so die Prognose der HSBC-Studie. Europa kann auch 2020 noch den größten Marktanteil für sich beanspruchen, muss aber einen Rückgang von 33% (2010) auf 27% verzeichnen.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Es wurden keine Angaben zur Messung der grünen Transformation gemacht. Lediglich das Marktwachstum kann als Indikator herangezogen werden.

BMU 2012: GreenTech made in Germany 3.0

Zielsetzung und Inhalt

Ein weiterer Ansatz, die globale Umweltwirtschaft abzuschätzen, beruht auf Studien aus den Jahren 2007, 2009 und 2012, die Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit erstellt hat.

In diesen Studien wurde der Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz definiert, berechnet und analysiert (Makroperspektive). Außerdem wurden einschlägige Trends der Umwelttechnik identifiziert, beschrieben und quantifiziert. Zudem wurde die Branchenstruktur der Umwelttechnik in Deutschland abgebildet.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Um die Branche zu charakterisieren und abzugrenzen, wird Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in sechs Leitmärkte gefasst (Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft, Nachhaltige Wasserwirtschaft). Unterhalb der Leitmarktebene befinden sich die Technologielinien. Eine Technologielinie kann ein Produkt, ein Verfahren oder eine Dienstleistung sein (gesamtheitliche Technologiebetrachtung).

Dynamik und Trends

Der globale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist zwischen 2007 und 2010 um durchschnittlich 11,8 Prozent jährlich gewachsen und hat 2010 ein Volumen von 1.930 Milliarden EUR erreicht. Damit wurde die Prognose aus „GreenTech made in Germany 2.0“ um 260 Milliarden EUR übertroffen. Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erreichen 2011 weltweit ein Volumen von 2.044 Milliarden EUR. Bis zum Jahr 2025 wird es sich auf über 4.400 Milliarden beziffern.

Wachstumsfelder global: Insbesondere im Bereich der Nachhaltigen Mobilität und der Energiespeicherung sind dynamische Wachstumszahlen bei folgenden Technologien erkennbar:

Tabelle 23: Übersicht über weltweit stark wachsende Technologien

Technologielinie: Produkte, Verfahren und Dienstleistungen	CAGR Welt 2011-2025 [%]
Brennstoffzellenantrieb	73,28%
Elektroantrieb	33,95%
Car Sharing	26,97%
Thermische Speicherung von Energie (z.B. Latentwärmespeicher, PCM Technik)	22,95%
Elektrochemische Speicherung von Energie (z.B. Batterien, Wasserstoffspeicherung)	21,96%
Regenerative erzeugter Wasserstoff	20,00%
Biomethan	18,63%
Elektronische Speicherung von Energie (z.B. Kondensatoren, Magnetspeicherung)	16,40%
Hybridantrieb	14,38%

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

In der Studie werden Indikatoren zur Messung der grünen Transformation nicht explizit thematisiert.

PEW 2011: Who's winning the clean energy race?

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie untersucht Entwicklungen im Bereich „Clean Energy“ in den G-20-Ländern. Die Entwicklungen werden hierbei anhand von Investitionen in „Clean Energy“ beschrieben.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Als Investitionen in „Clean Energy“ zählen Investitionen in diejenigen Technologien zur CO₂-armen bzw. CO₂-freien Energieerzeugung („Efficiency & low carbon tech/services, Solar, Wind, Biofuels, Other Renewables“).

Dynamik und Trends

In allen G-20 Staaten wuchsen die Investitionen in grüne Technologien im Zeitraum 2005 bis 2009 um etwa 50%;

Staaten mit verbindlichen Zielsetzungen zur Senkung der Treibhausgasemissionen und Anreizen für Erneuerbare Energien (zum Beispiel Deutschland, Spanien, China, Brasilien) entwickeln eine stärkere Wettbewerbsposition in der globalen „clean energy economy“ als Länder ohne entsprechende Regulierungen;

Die Wettbewerbsposition der Vereinigten Staaten gibt Anlass zur Sorge, der Sektor „Clean Energy“ ist in Anbetracht zur Größe der US-Volkswirtschaft sehr klein. Der relative Anteil der Investitionen in Erneuerbare Energien bleibt weit hinter anderen Ländern zurück;

Insbesondere Südkorea (+249%), China (+79%) und Australien (+40%) haben zwischen 2005 und 2009 erheblich in den Ausbau der Erneuerbaren Energien investiert;

Für Russland und Saudi-Arabien gibt es keine verlässlichen Zahlen; der Clean-Energy-Sektor hat in diesen Staaten keine Relevanz.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Als Indikatoren für die grüne Transformation wurden Investitionen herangezogen. Als Quelle wird Bloomberg New Energy Finance Database angegeben.

OECD 2010: Greener and Smarter – ICTs, the Environment and Climate Change

Zielsetzung und Inhalt

Ziel ist es, den Stellenwert und die Effekte der IKT bei der Entwicklung der Green Economy im Rahmen der „OECD Green Growth Strategy“ näher zu beschreiben.

Marktdefinition/ -abgrenzung

IKT wird als „key enabler“ für grünes Wachstum in allen Sektoren der Volkswirtschaft bezeichnet. Dabei wird unterschieden zwischen Technologien, die unmittelbar zu einer Minderung von Umweltbelastungen beitragen („direct impacts“) und solchen Technologien, die mittelbar durch ihren Einsatz in der Produktion, im Transport- oder Gebäudesektor etc. die Treibhausgasemissionen verringern und die Ressourceneffizienz verbessern („enabling and systemic impacts“).

Dynamik und Trends

IKT tragen in allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft zum grünen Wachstum bei;

Insbesondere im Bereich Energie- und Materialverbrauch sowie bei Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für neue Life-Cycle-Ansätze spielt die IKT eine Schlüsselrolle;

IKT ist der Hebel, um die Potenziale der Green Economy in den Sektoren Verarbeitendes Gewerbe und Konsum zu realisieren.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Als Indikatoren für den unmittelbaren Beitrag der IKT zur Minderung der Umweltbelastung („direct impacts“) werden Messgrößen wie Energieverbrauch, Materialverbrauch und das Recycling von Komponenten am Ende des Lebenszyklus angegeben.

In der Studie wird festgestellt, dass die mittelbaren Effekte der IKT („enabling and systemic impacts“) zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Verbesserung der Ressourceneffizienz nur schwer zu quantifizieren sind: Es gibt unterschiedliche methodische Ansätze zur Messung, sodass Vergleiche der Daten kaum möglich sind.

GHK 2011: Impacts of Structural Change: Implications for policies supporting transition to a Green Economy

Zielsetzung und Inhalt

Das Ziel dieser Studie ist es, die Treiber, Prozesse und Folgen (sowohl hinsichtlich der Kosten als auch des Nutzens) des Strukturwandels zu analysieren; in diesem Rahmen wird auch die Entwicklung hin zu einer ‚Green Economy‘ als sich derzeit vollziehender Strukturwandel („contemporary structural change“) betrachtet. Der Bericht setzt sich den Anspruch, den Kontext und Hintergrund der EU-Flagship-Initiative „A resource-efficient Europe“ eingehend zu erläutern; damit will die Studie eine Basis schaffen, um die voraussichtlichen wirtschaftlichen Konsequenzen dieser Flagship-Initiative abzuleiten. „Ressourcenschonendes Europa“ ist eine der sieben Leitinitiativen der Europäischen Union zur Realisierung der „Europa 2020“-Strategie, deren Ziel intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum ist.

Marktdefinition/ -abgrenzung

„Ressourcenschonendes Europa“ ist eine der zwei Leitinitiativen, die zur Erreichung des Ziels eines nachhaltigen Wachstums beitragen sollen, indem sie den Übergang zu einer ressourcenschonenden, emissionsarmen Wirtschaft durch Abkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcen- und Energienutzung unterstützen. Dies erfolgt durch eine Verringerung der CO₂-Emissionen, die Verbesserung der Energieversorgungssicherheit und einen ressourcenschonenden Konsum.

Dynamik und Trends

Die Studie identifiziert die wesentlichen Treiber des Strukturwandels und des Wirtschaftswachstums. Für den aktuellen Wandel hin zur Green Economy ist relevant,

- ▶ dass Themen wie Klimawandel, Biodiversität, Sicherheit der Energieversorgung und Ressourcenknappheit Industriegesellschaften dazu zwingen, ihre energie- und CO₂-intensive Wirtschaftsweise zu verändern und einen emissionsarmen und nachhaltigen Entwicklungspfad einzuschlagen. Diese „grüne Transformation“ hat das Potenzial (auf Ebene der Sektoren, Staaten, Regionen und Städten), eine Welle der „kreativen Zerstörung“ im Sinne Schumpeters auszulösen
- ▶ dass die Kontrolle über die Technologien, die grüne Transformation maßgeblich prägen und vorantreiben werden, dementsprechend wesentlich ist; diese Technologien werden sich voraussichtlich als Wachstumstreiber erweisen, die den Kern des nächsten Hochkonjunktur-Zyklus bilden.

Die Studie betrachtet den strukturellen Wandel in einigen Branchen, beispielsweise in der Automobilindustrie:

- ▶ Die Wirtschaftskrise 2008/2009 führte in der Automobilindustrie zu einem starken Rückgang der Nachfrage und der Produktion, was die Effizienzprobleme in der Zulieferkette und in der Fertigung verstärkte. Als Reaktion darauf haben die Branchenakteure ihre Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten intensiviert; dies führte zu technologischen Verbesserungen an den Fahrzeugen sowie zu einer höheren Effizienz der Produktionsprozesse. Die EU-Verordnung zur Festsetzung der CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen (CO₂ emission standards for new passenger cars) haben Investitionen in die FuE von emissionsarmen Fahrzeugen beschleunigt. Bis 2025, so die Prognose, werden Hybrid- und Elektrofahrzeuge einen Anteil von etwa 35% an der weltweiten Autoproduktion stellen.

Folgender Trend zeichnet sich ab:

- ▶ Auslöser der sich derzeit vollziehenden strukturellen ökonomischen Veränderungen war in erster Linie die globale Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009. Dennoch sind im Zusammenhang mit dem Übergang zu einer weniger ressourcen- und CO₂-intensiven Wirtschaft auch signifikante längerfristige Treiber erkennbar. Um diesen Prozess zu verstärken und den krisenbedingten Nachfragerückgang zu kompensieren, setzten viele Regierungen auf die Unterstützung sogenannter „green economy activities“ und förderten durch den „Green

New Deal“ aktiv die Entwicklung der Niedrigemissionswirtschaft (Referenz-Szenario: UNEP 2011).

Anhand verschiedener Szenarien betrachtet die Studie, welche Rolle die Politik bei der Beeinflussung des Strukturwandels bzw. seiner Auswirkungen einnehmen kann. Dazu werden unter anderem zwei Szenarien analysiert:

- ▶ **Energieeffizienz von Gebäuden:** Die Studie zeigt, dass sich die Kosten eines Energieeffizienz-Sanierungsprogramm über einen Zeitraum von 20 Jahren durch die Senkung des Energiebedarfs amortisieren. Die Energie-Einsparung führt zu einer deutlichen Minderung des CO₂-Ausstoßes.
- ▶ **Bio-Landwirtschaft in Frankreich:** Am Beispiel von Mais stellt die Studie dar, dass die Umstellung von konventionellem auf biologischen Anbau langfristig höhere Gewinne erwirtschaftet – trotz der hohen Kosten während der Übergangsphase.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Im Rahmen dieser Studie werden die Treiber des Strukturwandels herausgearbeitet („drivers of structural change“: gesellschaftlicher Wandel („societal transformations“), technologischer Wandel („technological transformations“), politischer Wandel („political transformations“), ökologischer Wandel („ecological transformations“) und finanzieller Wandel („financial transformations“).

Im Hinblick auf die grüne Transformation im Kontext der EU-Flagschiff-Initiative „Ressourcenschonendes Europa“ sind insbesondere der technologische und der ökologische Wandel von Interesse. Als wesentliche Parameter für den technologischen Wandel nennt der Bericht Parameter für die Innovationsfähigkeit einer Volkswirtschaft und von Unternehmen: Investitionen in Forschung und Entwicklung, Anzahl an Promotionen, Zahl von Patentanmeldungen etc.

Bei den Indikatoren für den ökologischen Wandel fokussiert sich die Studie entsprechend der Ausrichtung der EU-Flagschiff-Initiative „Ressourcenschonendes Europa“ auf den Themenkreis Ressourceneffizienz. Der Kampf gegen den Klimawandel und Maßnahmen zur Sicherung der Energieversorgung werden darin als wesentliche Motive benannt, um die CO₂-Intensität und die Energieintensität in der Produktion zu senken. Dementsprechend zählen diese Kenngrößen zu den Indikatoren des ökologischen Wandels.

UN-DESA/UNEP/UNCTAD 2011: Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie befasst sich mit den Implikationen des Übergangs zur „Green Economy“ und analysiert dabei einerseits die möglichen Vorteile und andererseits Herausforderungen und Risiken. In drei Aufsätzen betrachtet die Studie unterschiedliche Aspekte der grünen Transformation: makroökonomische Auswirkungen, Konsequenzen für Handel, Investitionen und Technologie sowie Risiken für Entwicklungsländer.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die Studie wählt eine breite Definition der Green Economy:

Einbettung der UNEP-Definition der Green Economy in das holistische Modell der nachhaltigen Entwicklung mit den drei – gleichberechtigten – Säulen Ökonomie, Soziales und Ökologie sowie dem Postulat nach intergenerationaler Gerechtigkeit. Die Grundsätze der Green Economy müssen in den Rahmen integriert werden, den die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 mit den Rio Principles und der Agenda 21 bietet. Dazu gehört das „Prinzip der gemeinsamen, aber differenzierten Verantwortung“ von Industrie- und Entwicklungsländern.

Dynamik und Trends

Die historische Verantwortung für Klimawandel und Umweltschäden liegt bei den Industrieländern. Aber ohne die aktive Teilnahme der Entwicklungsländer wird es keine Lösung für die globalen Umweltprobleme geben. Wachstumsstrategien für Entwicklungsländer müssen nach den Prinzipien der Nachhaltigkeit ausgerichtet werden. „Double dividend“-Strategien führen zu Wirtschaftswachstum und ökologischer Nachhaltigkeit, „triple dividend“-Strategien tragen außerdem zur Armutsbekämpfung und Minderung der sozialen Ungleichheit bei;

Das Vorsorgeprinzip („precautionary principle“) ist in der Agenda 21 verankert und verlangt, trotz fehlender Gewissheit bezüglich Art, Ausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit von möglichen Schadensfällen vorsorglich zu handeln, um Schäden von vornherein zu vermeiden. Das Vorsorgeprinzip verlangt nach risikoaversen Strategien;

Analysen der aggregierten Nachfrage und des aggregierten Angebots gelangen zu der Schlussfolgerung, dass ein Mix aus Keynesianischer Nachfragesteuerung und Maßnahmen wie Öko-Steuern und Förderung ökologisch sinnvoller Investitionen und umweltverträglichen Konsums am besten geeignet ist, um die grüne Transformation durch eine Kombination von makro- und mikroökonomischen Instrumenten der Wirtschaftspolitik zu unterstützen;

Der Wandel zur Green Economy bedeutet eine „technological revolution“, die sich von ähnlichen Prozessen der Vergangenheit durch drei Merkmale unterscheidet: Erstens fällt dem Staat eine wichtigere Rolle zu (aufgrund des schnellen Tempos dieser Veränderungen und um eine gerechte Verteilung der Gewinne zu sichern); zweitens vollzieht sich diese technologische Revolution wegen der engen Verflechtung der Wirtschaft in einem globalen Maßstab. Daraus resultiert eine wesentliche Rolle für internationale Institutionen, grenzüberschreitende Kooperationen zu ermöglichen und zu fördern; daraus ergibt sich das dritte Merkmal dieser technologischen Revolution – die Intellectual Property Rights, die weltweit durch das TRIPS Agreement (Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights) der Welthandelsorganisation (WTO) geschützt werden. Vor diesem Hintergrund ist für Entwicklungsländer eine Investitionsstrategie wichtig für den Wandel zur Green Economy.

Die UNEP schätzt den Investitionsbedarf für den Wandel zur Green Economy auf ca. 1,05 bis 2,59 Billionen USD pro Jahr (1,6-4% des globalen BIP 2011). Als Basis für Szenarien zur Abschätzung der Effekte dieser Investitionen geht die UNEP von einer jährlichen Investitionssumme von 1,3 Billionen USD aus (2% des globalen BIP). Davon sollen etwa drei Fünftel in die Bereiche Energieeffizienz und Erneuerbare Energien fließen.

Die beim Weltklimagipfel von Kopenhagen 2009 verabschiedete „Übereinkunft von Kopenhagen“ sieht vor, dass die Industriestaaten bis 2020 jährlich 100 Milliarden USD mobilisieren sollen, um die Entwicklungsländer im Kampf gegen den Klimawandel zu unterstützen.

Umweltgüter und Umwelt-Dienstleistungen weisen weltweit inzwischen höhere Wachstumsraten auf als Güterexporte und das BIP (DIW 2009). Entwicklungsländer produzieren und konsumieren zunehmend Umweltgüter (beispielsweise Boom chinesischer Exporte zwischen 2005 und 2009).

Ein Wandel zur Green Economy bietet manchen Entwicklungsländern die Möglichkeit, ihre Wirtschaft zu diversifizieren. Dies gilt vor allem für Länder mit einer starken Rohstoffabhängigkeit. Nach der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009/2010 waren Versuche zu beobachten, die einseitige Ausrichtung der Exportwirtschaft auf Rohstoffe zu korrigieren. Allerdings werden Diversifizierungsstrategien in der Regel auf bereits existierenden Stärken und Spezialisierung einer Volkswirtschaft aufbauen.

Politische Initiativen und Regulierungen der OECD-Länder im Umweltsektor, beispielsweise der Ausbau der Erneuerbaren Energien, fördern mittelbar die Entwicklung von Umwelttechnologien in Schwellenländern: Beispiele sind die „Desertec“-Initiative in Nordafrika, die bis 2050 15% des europäischen Strombedarfs decken will. China exportierte Solarpaneele und -Module im Wert von 10 Milliarden USD (2009) und konnte damit das Exportvolumen binnen zehn Jahren um das 80-Fache steigern. Das indische Unternehmen Suzlon hält einen Anteil von 6,4 Prozent am Weltmarkt für Windturbinen (2009). Schwellenländer wie Indien und China sind in der Lage, von der global steigenden Nachfrage nach Umweltgütern zu profitieren, da die Rahmenbedingungen günstiger sind als in Entwicklungsländern (qualifizierte Arbeiterschaft, Zugang zum Finanzsektor, High-Tech-Industrie vorhanden, Förderung durch den Staat).

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Die Studie beinhaltet keine konkreten Daten zur Messung der grünen Transformation; sie schlägt jedoch für die Messung der mit der grünen Transformation einhergehenden „technological revolution“ folgende Indikatoren vor:

- ▶ Höhe der Staatsausgaben (expected: higher state revenues and spending in GDP);
- ▶ Entwicklung der Intellectual Property Rights in Schwellen- und Entwicklungsländern;
- ▶ Höhe der Handelsbarrieren für die Exporte grüner Technologien aus Entwicklungsländern (zum Beispiel Solarpaneele, Windkraftanlagen, Biokraftstoffe)

VDI Technologiezentrum 2010: Technologieprognosen, Internationaler Vergleich

Zielsetzung und Inhalt

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, Informationen aus ausgewählten Technologieprognosen und den von ihnen ausgehenden Wirkungen für die Strategieentwicklung zu analysieren und aufzubereiten. Dazu wurden nationale, themenübergreifende nationale Technologieprognosen aus verschiedenen Ländern untersucht. Durch diese Meta-Analyse will die Studie ein Gesamtbild im Hinblick auf die zukünftige Technologieentwicklung einzelner Länder entwerfen.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Im Text wurde auf die Marktdefinition nicht eingegangen.

Dynamik und Trends

Trotz der Unterschiedlichkeit der einzelnen Technologiestudien lässt sich eine deutliche inhaltliche Schwerpunktsetzung identifizieren: Nahezu alle analysierten Studien setzen sich mit dem Technologiefeld Nachhaltigkeit und Umwelt auseinander. Zudem finden sich in den meisten Technologiestudien Querbezüge zu Nachhaltigkeit und Umwelt auch in anderen Technologiefeldern (beispielsweise im Bereich der Energie oder der Produktions- und Prozesstechnik).

Nachhaltigkeit und Umwelt: Fragen von Nachhaltigkeit und Umwelt werden in großer Breite behandelt. Sauberkeit von Wasser und Luft, Abfallvermeidung sowie Energie- und Ressourceneffizienz kristallisierten sich bei der Meta-Analyse als zentrale Themen heraus. Zusammenfassend lassen sich für die jeweiligen Länder folgende Technologie-schwerpunkte identifizieren bzw. Trends ableiten:

China

- ▶ Technologie zur Klärung und Wiederaufbereitung von städtischen Abwässern;
- ▶ Umfassende Technologie zur Vorbeugung und Behandlung komplexer Luftverschmutzungen in Städte-Clustern;
- ▶ Effiziente Techniken zur Wassereinsparung in der Landwirtschaft;
- ▶ Umfassende Nutzungstechnik für Abfälle und erneuerbare Ressourcen;
- ▶ Moderner kostengünstiger Hochleistungsstahl und kostengünstige, hochwertige Eisenmaterialien.

Indien

- ▶ Plastik-Recycling und biologisch abbaubares Plastik, rentable Technologien zur Nutzung von Stahlwerksabfällen;
- ▶ Herstellung von kaltem Zement ohne Brennprozesse;
- ▶ Brennstoffzellen, die statt umweltfreundlicher Dieselgeneratoren als umweltfreundliche Notstromaggregate eingesetzt werden.

Kanada

- ▶ Erfassung der gesamten Biosphäre von Kanada, Umwelt-Forschungsnetzwerk für Ozeane und Küsten.

USA

- ▶ Weltraumgestützte Erd- und Umweltbeobachtung; der Umweltüberwachung durch Sensornetze und Fernerkundung sowie der computergestützten Umweltmodellierung werden hohe Bedeutung eingeräumt;
- ▶ Effizienzsteigerung von Leuchtdioden zur Beleuchtung von Gebäuden.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Indikatoren zur Messung der grünen Transformation werden nicht explizit thematisiert. Da die Meta-Analyse die wesentlichen Aussagen nationaler Technologieprognosen zusammenfasst, war die Transformation zur Green Economy

– und die Messung dieses Prozesses – kein Thema der Studie.

OECD 2010: Pro-active Policies for Green Growth and the Market Economy

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie beschäftigt sich mit der Frage, welche marktbasiereten umweltpolitischen Instrumente auf nationaler Ebene eingesetzt werden sollten, um das Ziel des „grünen“ Wirtschaftswachstums zu erreichen. Das Papier fasst die Diskussionen zusammen, die während eines „Policy Roundtables“ der OECD im Oktober 2010 geführt wurden. Implikationen von steuerlichen Maßnahmen, Subventionen und des Emissionsrechtehandels werden betrachtet und erörtert; die Ergebnisse sollen in die Strategie der OECD zu Green Growth Policies einfließen.

Marktdefinition/ -abgrenzung

„Green Growth“ wird als wirtschaftliches Wachstum definiert, das ökologische Belange berücksichtigt („under environmental constraints“). Wichtige Charakteristika des grünen Wachstums sind: niedrige Treibhausgasemissionen, geringes Abfallaufkommen, Erhaltung der Biodiversität, hohe Recyclingquote, effiziente Nutzung natürlicher Ressourcen. Die drei Bereiche, für die sich viele Staaten „Green-Growth-Ziele“ gesetzt haben, sind Reduktion der Emissionen, Erneuerbare Energien und Energieeffizienz.

Betrachtung verschiedener umweltpolitischer Instrumente und Analyse ihrer Effekte:

- ▶ Emissionsabgaben in Schweden und Frankreich: NO_x und SO₂
- ▶ Abwassergebühren in den Niederlanden
- ▶ Abwassergebühren in Deutschland
- ▶ Subventionen für Erneuerbare Energien:
 - Einspeisevergütung
 - Subventionen für die Produktion von Strom aus Erneuerbaren Energien
 - Subventionen für FuE von Technologien für den Ausbau regenerativer Energien
- ▶ Subventionen für Energieeffizienz
- ▶ Abwrackprämie für Fahrzeuge
- ▶ Tradable performance standards, for example tradable renewable energy certificates
- ▶ Sprit-Einsparverordnung

Dynamik und Trends

Ergebnisse bzw. Standpunkte der Diskussion zu umweltpolitischen Trends und ihren Auswirkungen:

Dänemark, Finnland, Island, Norwegen und Schweden: Die skandinavische Delegation betonte die Bedeutung marktbasierter umweltpolitischer Instrumente und angemessener Wettbewerbspolitik im Kontext einer grünen Wachstumsstrategie. Marktbasierende Instrumente sollten in möglichst vielen Bereichen und als Mittel zur Reduktion möglichst vieler Schadstoffquellen zum Einsatz kommen. Beklagt wurde, dass viele Länder nach wie vor fossile Energieträger subventionieren.

Australien: Unter bestimmten Bedingungen ist der Einsatz marktbasierter Instrumente nicht optimal, etwa bei Aktivitäten im Privatsektor (zum Beispiel illegale Abfallentsorgung, Gefährdung von Grundwasser oder Flüssen durch Überdüngung). Die australische Delegation berichtete von positiven Erfahrungen mit einem Mix aus nicht-marktbasierten und marktbasiereten Instrumenten.

Schweiz: Thematisiert wurden die Bedingungen, unter denen energieintensive Unternehmen von den CO₂-Abgaben befreit werden können, um Exportnachteile zu vermeiden. Voraussetzung für eine Befreiung ist, dass sich ein Unternehmen zu einer Reduktion des Treibhausgasausstoßes verpflichtet. Entsprechend der eingegangenen Verpflichtung bekommt es eine bestimmte Anzahl an Emissionszertifikaten zugeteilt, um am Emissionshandel teilzunehmen. Voraussichtlich werden 2013 Verhandlungen mit der EU zur Verlinkung der Emissionshandelssysteme aufgenommen.

EU: Subventionen sind in bestimmten Fällen eine sinnvolle und notwendige Ergänzung zu marktbasiereten umweltpoli-

tischen Instrumenten. Der Einsatz von Subventionen wird von der EU-Kommission kontrolliert, um Wettbewerbsverzerrungen zwischen den einzelnen Mitgliedsstaaten zu verhindern.

Tschechische Republik: Subventionen im Bereich Erneuerbare Energien (Steuererleichterungen für Produzenten Produktionsseite und Preisgarantien) führten zu einem enormen Zubau von Solarfreianlagen. Aufgrund der Nutzungskonkurrenz mit landwirtschaftlichen Flächen und der Auswirkungen auf die Energiepreise wurden die Fixpreise für regenerativ erzeugten Energien abgeschafft.

Spanien: Regionale Subventionen für den Kauf umweltfreundlicher Fahrzeuge werden aus protektionistischen Gründen in Frage gestellt.

USA: Es gibt in den Vereinigten Staaten eine Reihe von Subventionen, die zur Emissionsreduktion beitragen und erneuerbare Technologien fördern sollen.

Schweden: Wettbewerbsregulierende Behörden sollten in die Entscheidungsprozesse über den Einsatz umweltpolitischer Instrumente eingebunden werden. Die Effekte der eingesetzten Instrumente sollten regelmäßig evaluiert werden.

Frankreich: Ein Beispiel aus dem Maßnahmenpaket „Grenelle Environment Project“ sind „Steuerergutschriften für nachhaltige Entwicklung“ für Privathaushalte (etwa Einsatz Erneuerbarer Energien oder energieeffiziente Sanierungen); dieses Instrument, das bislang von etwa 7% der Haushalte genutzt wurde, hat sich als überaus erfolgreich erwiesen.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

In der Studie werden Indikatoren zur Messung der grünen Transformation nicht explizit thematisiert.

OECD 2011: Towards Green Growth: Monitoring Progress

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie beschreibt den Fortschritt bezogen auf grüne Wachstumsstrategien. Dazu wurde ein eigenes Modell zur Messung des Fortschrittgrades entwickelt. Auf diese Weise soll die Vergleichbarkeit der Entwicklung in den einzelnen Ländern ermöglicht werden.

Marktdefinition/ -abgrenzung

In der Studie werden analog zur Green-Growth-Strategie der OECD die Quellen von grünem Wachstum definiert („sources of green growth“): Produktivität, Innovation, Neue Märkte, Zuversicht („confidence“) und Stabilität.

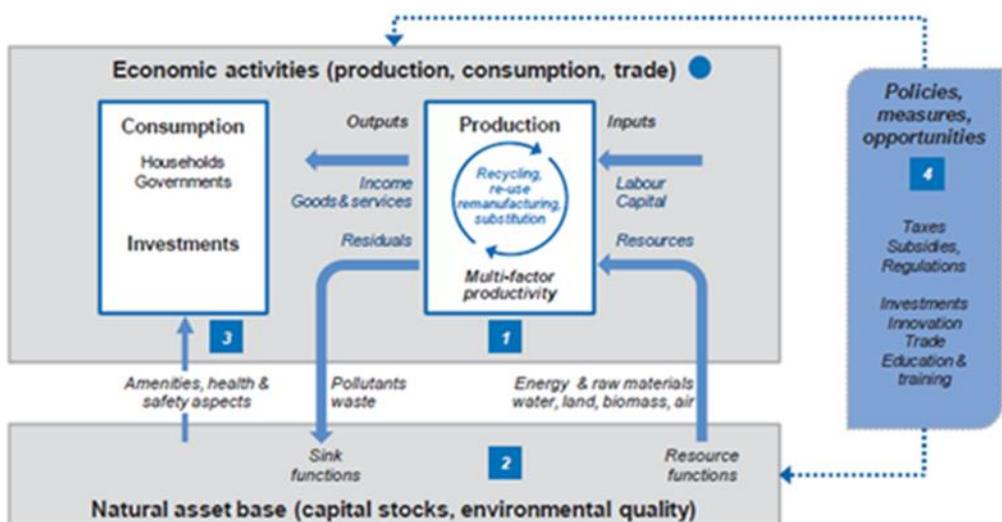
Dynamik und Trends

Keine Angaben

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Das Modell betrachtet vier verwandte Gruppen von Indikatoren:

Abbildung 1: OECD Modell zur Messung von „Green Growth“



Quelle: OECD 2011

Indikator Gruppe 1: Misst die Umwelt- und Rohstoffproduktivität bei der Produktion (Output) von Gütern (Messgrößen: Energieproduktivität, Rohstoffproduktivität);

Indikator Gruppe 2: Naturbestand, auf den zurückgegriffen werden kann (Messgrößen: Regenerative Bestände wie zum Beispiel Wasser, Wald, Fisch. Nicht regenerative Bestände, etwa Rohstoffe, Artenvielfalt.

Indikator Gruppe 3: Ökologie/ Lebensqualität. Hier werden Teilbereiche wie zum Beispiel Gesundheit bzw. das Gesundheitssystem sowie die Risiken in Verbindung mit Umweltaspekten betrachtet.

Indikator Gruppe 4: Wirkungsweise von **politischen Instrumenten** wie zum Beispiel Steuern, Investitionen oder Bildung.

Hinter jeder dieser Gruppen liegen messbare Parameter. Die Erhebung ist aber nicht unproblematisch, da sie häufig nicht nur auf Sekundärdaten, sondern vielmehr auf Primärdaten (etwa Erhebungen, Umfragen) zurückgreift.

Eurostat 2010: Environmental statistics and accounts in Europe

Zielsetzung und Inhalt

Ziel der Studie ist es, einen Überblick über die statistischen und buchhalterischen Umweltdaten von Eurostat zu liefern. Die Auswertung dieser Daten wird für das umweltpolitische Instrumentarium und die umweltpolitische Strategie der Europäischen Union benötigt (6th Environment Action Programme, EU sustainable development strategy, Europe 2020 strategy for smart, sustainable and inclusive growth).

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die Studie untersucht Trends in verschiedenen Bereichen und prüft diese auf Energieverbrauch und Energieeffizienz. Für folgende Bereiche werden umweltrelevante Trends für grüne Zukunftsmärkte aufgezeichnet:

- ▶ Haushalte;
- ▶ Abfall;
- ▶ Luftemissionen;
- ▶ Chemikalien.

Dynamik und Trends

Trends zwischen 1998 und 2008 für Haushalte:

- ▶ Ernährung: Zunahme des Tiefkühl-Lebensmitteltransports, also trotz Bio-Konsum höherer Energieverbrauch und mehr Emissionen.
- ▶ Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden, aber finaler Energiekonsum von Haushalten relativ konstant, obwohl Haushaltsgeräte energieeffizienter geworden sind (größere Gebäude, Elektronik plus 27%).
- ▶ Ausgaben für öffentliche Verkehrsmittel sind um 25% gestiegen, für private Verkehrsmittel um 7%; dennoch hat sich die Zahl der Privatfahrzeuge zwischen 1995 und 2006 erhöht; Emissionen von bestimmten Verkehrsmitteln konnten bereits gesenkt werden, aber das Mobilitätsverhalten muss sich noch in die Richtung nachhaltiger und emissionsarmer Verkehrsmittel ändern.
- ▶ Der indirekte Energieverbrauch von Haushalten nimmt mit steigendem Einkommen zu; aber Öko-Labels u. ä. können die Nachfrage in Richtung eines nachhaltigeren Konsums beeinflussen.

Trends in der Abfallwirtschaft:

- ▶ 50% der Abfälle werden entsorgt, der Rest geht durch Recycling-Prozesse.
- ▶ Output der Recycling-Industrie hat seit 2000 jährlich um durchschnittlich 4,2% zugelegt; damit ist die Abfallwirtschaft der Industriesektor mit der höchsten Wachstumsrate im Zeitraum 2000 bis 2008.

Trends zur Luftverschmutzung zwischen 1995 und 2006:

- ▶ Das Verarbeitende Gewerbe trägt signifikant zu Output, Beschäftigung, aber auch zu Emissionen bei; der Dienstleistungssektor trägt erheblich zu Output und Beschäftigung bei, verursacht aber weniger Emissionen.
- ▶ Treibhausgasemissionen sind mehr oder weniger konstant geblieben: Bedingt durch das Wirtschaftswachstum wäre eine Zunahme von 41% zu erwarten gewesen, aber technologischer Fortschritt, verbesserte Energieeffizienz etc. sowie der sektorale Strukturwandel führten zu einer Reduktion des Treibhausgasausstoßes um ca. 40%; auf diese Weise wurde die wachstumsbedingte Steigerung der Emissionen kompensiert.
- ▶ Bei den versauernden Emissionen ist ein Rückgang um 27% zu verzeichnen.

Trends zu Chemikalien:

- ▶ Treibhausgasemissionen und versauernde Emissionen in der Chemikalien-Produktion sind im Zeitraum 1995 bis 2006 um 28% bzw. 47% gesunken.

Der Anteil von umweltschädlichen Chemikalien an der gesamten Chemieproduktion der Europäischen Union ist zwi-

schen 2002 und 2008 mit rund 54% relativ konstant geblieben. Dabei war ein leichter Rückgang in den EU-15-Staaten zu verzeichnen.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Energieverbrauch und Emissionen der Haushalte (insbesondere Energieeffizienz im Wohnbereich und von Transportmitteln);

Marktdaten zu Wachstum und Beschäftigung der Abfall-Recycling-Branche;

„Economic-environmental profiles“ für verschiedene Wirtschaftssektoren: Dabei wird der Beitrag des jeweiligen Sektors zu Output und Beschäftigung dem Beitrag zum Ausstoß von Treibhausgasen und versauernden Emissionen gegenübergestellt;

Höhe der Ausgaben für Umweltschutz in verschiedenen Sektoren (Environmental Protection Expenditure – money spent on activities directly aimed at the prevention, reduction and elimination of pollution resulting from the production or consumption of goods and services).

Brookings 2011: Sizing the Clean Economy

Zielsetzung und Inhalt

Diese Studie hat den Anspruch, die „Clean Economy“ in den USA zu definieren und zu messen. Es werden Daten zum Arbeitsmarkt in allen Segmenten der Clean Economy geliefert und analysiert. Geografisch wird insbesondere die Entwicklung der Clean-Economy-Sektoren in Ballungsräumen betrachtet. Abschließend werden Empfehlungen an die Politik formuliert, um die starke Entwicklung der privaten Clean-Economy-Märkte in den USA institutionell zu stützen und gute Rahmenbedingungen für einen funktionierenden Markt zu sicherzustellen.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die Studie betrachtet alle Sektoren der Clean Economy (deren Definition wird gleichgesetzt mit der „Green Economy“ oder „Low-carbon Economy“), zum einen reife Segmente traditioneller Industriezweige, zum anderen neue Industriezweige. Messungen wurden für folgende Kategorien vorgenommen:

- ▶ Naturschutz, biologische Landwirtschaft und nachhaltige Forstwirtschaft (Agricultural and Natural Resources Conservation);
- ▶ Bildung und Compliance;
- ▶ Energie- und Ressourceneffizienz;
- ▶ Reduktion der Treibhausgasemissionen, Umweltmanagement und Recycling;
- ▶ Erneuerbare Energien.

Dynamik und Trends

Hauptergebnisse zur Entwicklung der Clean Economy in den USA:

- ▶ In der Clean Economy sind aktuell 2,7 Millionen Arbeitnehmer beschäftigt (2% der gesamten Arbeitskräfte); dies scheint zunächst wenig, aber im Vergleich zu anderen Querschnitts-Sektoren liegt diese Zahl relativ hoch.
- ▶ Die Clean Economy ist zwischen 2003 und 2010 insgesamt langsamer gewachsen (3,4% pro Jahr) als die Gesamtwirtschaft (4,2% pro Jahr); in den Rezessionsjahren 2007 und 2008 fiel die Wachstumsrate der Clean Economy mit 8,3% pro Jahr jedoch höher aus die der Gesamtwirtschaft.
- ▶ Neue „Cleantech“-Segmente sind zwischen 2003 und 2010 am schnellsten gewachsen und konnten deutliche Beschäftigungszuwächse verzeichnen: Solarthermie (Wachstum: 18,4% pro Jahr; plus 3.700 Arbeitsplätze), Windenergie (Wachstum 14,9% pro Jahr; plus 15.000 Arbeitsplätze), Solarenergie (Photovoltaik) (Wachstum 10,7% pro Jahr; plus 12.200 Arbeitsplätze), Biokraftstoffe (Wachstum 8,9% pro Jahr; plus 9.300 Jobs).
- ▶ Die Clean Economy ist produktionsintensiv: 26% der Clean-Economy-Arbeitsplätze sind im Produktionsbereich, in der Gesamtwirtschaft liegt dieser Anteil bei 9%. Produktionsintensive Bereiche sind insbesondere Elektrofahrzeuge, Chemieprodukte und Beleuchtung.
- ▶ Die Clean Economy ist exportintensiv: Auf jeden Arbeitsplatz in der Clean Economy entfallen statistisch Exporte im Wert von 20.000 USD (Gesamtwirtschaft: 10.000 USD). Clean-Tech-Exportgüter sind vor allem die Warengruppen Biokraftstoffe, grüne Chemikalien und Elektrofahrzeuge.
- ▶ In den 100 größten Ballungsräumen der USA arbeiten 64% der Clean-Economy-Beschäftigten.
- ▶ Es lassen sich vier regionale Clean-Economy-Profile unterscheiden: dienstleistungsorientiert (hohe Wachstumsraten in den letzten sieben Jahren – „fast growers“); produktionsorientiert (je nach Segmenten unterschiedliche Wachstumsraten, aber exportintensiv); öffentlicher Sektor (viele Arbeitsplätze); „balanced“ Clean Economy.
- ▶ Clean-Economy-Cluster in den USA sind zwischen 2003 und 2010 schneller gewachsen als Betriebe an isolierten Standorten. Als Beispiele für Clean-Economy-Cluster werden genannt Houston (Umwelt-Dienstleistungen), Los Angeles (Photovoltaik), Boston (Brennstoffzellen), Chicago (Windenergie).

Weitere globale Trends:

- ▶ Jährliche Investitionen in Clean-Energy-Marktsegmente haben sich zwischen 2004 und 2010 verfünffacht (von 52 Milliarden USD auf 243 Milliarden USD);
- ▶ Der Anteil am Risikokapital in den USA, das in Clean-Economy-Unternehmen investiert wurde, ist zwischen 1995 und 2010 von 2% auf 16% gestiegen;

1987 bezifferte sich der Anteil der Clean-Economy-Patente an den gesamten Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt auf 4,6%; 2007 lag dieser Anteil bei 7,4%. Von den rund 9.000 im Jahr 2007 beim Europäischen Patentamt registrierten Cleantech-Patenten wurden etwa 17% von Erfindern aus den USA eingereicht.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Die grüne Transformation wird gemessen durch:

- ▶ Entwicklung der Beschäftigungszahlen in der Clean Economy;
- ▶ Entwicklung der Investitionen in Clean-Energy-Marktsegmente;
- ▶ Entwicklung der Budgets von Firmen für FuE in „Cleantech“;
- ▶ Entwicklung des Risikokapitals in Clean-Economy-Unternehmen;

Entwicklung der Patentzahlen im Bereich Clean Economy.

U.S. Department of Commerce 2010: Measuring the Green Economy

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie gibt einen Überblick über Marktgröße und Entwicklungen der Green Economy in den Vereinigten Staaten. Dazu wurden erstmals Daten aus der amtlichen Statistik herangezogen. Vergleiche zu früheren Studien sind deshalb nicht möglich.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die 22.000 Produkt- und Servicecodes des Klassifizierungssystems der amtlichen Statistik wurden hergenommen, um Güter und Dienstleistungen der Umwelttechnik zuzuordnen. In der breitgefassten Definition konnten 732 „grüne“ Produkte und Dienstleistungen identifiziert werden. 500 davon waren eindeutig der Green Economy zuzurechnen. In der Studie wurde klar die Problematik thematisiert, inwiefern die einzelnen Codes „grünen“ Produkten und Services zugeordnet werden können.

Dynamik und Trends

Die Green Economy ist mit einem Anteil von rund 2% an den Beschäftigten der Privatwirtschaft (2007) immer noch eine Nischenindustrie. Schätzungen der Beschäftigungszahlen reichen von 1,8 Millionen bis 2,4 Millionen.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Die Messung der grünen Transformation wird ausschließlich anhand der Beschäftigtenzahlen durchgeführt.

China Greentech Initiative 2011: The China Greentech Report 2011

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie entstand in Zusammenarbeit von über 100 führenden Technologiekonzernen, NGOs, Unternehmern, Investoren und Beratungsunternehmen, die der „China Greentech Initiative“ (CGTI) angehören. Die CGTI ist eine Plattform, um grüne Technologien zu identifizieren, zu entwickeln und voranzutreiben. Partner sind namhafte Käufer (Abnehmer), Verkäufer (Produzenten), Dienstleistungsanbieter, Investoren und politische Entscheidungsträger.

Die Studie definiert die einzelnen Teilbereiche der Green Economy und zeigt deren Entwicklung bzw. Attraktivität auf. Eine Berechnung des Gesamtmarktes wurde nicht vorgenommen.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die Studie differenziert zwischen drei Teilbereichen der Green Economy: Energieerzeugung („energy supply“), Ressourcenverwendung („resource use“) und sonstigen Märkten („other markets“). Bei der Betrachtung fällt auf, dass die Segmentierung aus der Technologieanwendungsperspektive erfolgt. Es wurden lediglich die dunkelgrün hinterlegten Segmente in der vorliegenden Studie berücksichtigt.

Abbildung 2: Green Economy Marktsegmentierung China

		Energy Supply			Resource Use			Other Markets		
Sectors		Cleaner Conventional Energy	Renewable Energy	Electric Power Infrastructure	Green Building	Cleaner Transportation	Cleaner Industry	Clean Water	Waste Management	Sustainable Forestry and Agriculture
Segments	Cleaner Coal	Solar Power	Transmission	Optimized Design	Cleaner Road	Optimized Design	Water Extraction	Waste Collection	Sustainable Forest Management	
	Cleaner Oil	Wind Power	Distribution	Sustainable Materials	Cleaner Rail	Sustainable Materials	Water Treatment	Waste Recycling	Sustainable Land Management	
	Cleaner Gas	Bioenergy	Energy Storage	Energy Efficiency	Cleaner Air	Efficient Processing	Water Distribution	Energy from Waste Recovery	Sustainable Farming Communities	
	Nuclear Power	Hydropower	Demand Management	Water Efficiency	Cleaner Waterway		Water Use	Waste Treatment	Optimized Crops	
		Wave Power	Supply Flexibility				Wastewater Treatment	Sustainable Waste Disposal		
		Geothermal Energy								

Legend

- Sectors covered in the Report
- Primary focus
- Secondary focus
- Limited or no focus

Quelle: China Greentech Initiative 2011

Dynamik und Trends

- ▶ Aus der Studie geht hervor, dass China innerhalb weniger Jahre den Aufstieg an die Spitze des globalen Greentech-Marktes geschafft hat; das Land spielt heute in fast jedem wichtigem Marktsegment eine zentrale Rolle. Als Beleg werden einige Beispiele aufgeführt:
- ▶ Im Jahr 2010 investierte China rund 54,4 Milliarden USD in die Umweltechnik und war damit größter Investor weltweit;
- ▶ China hat sich immensen Herausforderungen zu stellen (hoher Ölverbrauch, hoher Umweltverschmutzungsgrad etc.); um gegenzusteuern, investiert die Staatsführung in erheblichem Umfang vor;
- ▶ Das Wachstum der Eco-Cities schreitet schnell voran; Treiber ist die Urbanisierung: Lebten beispielsweise 1980 rund 200 Millionen Menschen in Städten, so sind es 2010 bereits ca. 622 Millionen.
- ▶ Die Investitionen erstreckten sich quer über alle Sektoren, von den Erneuerbaren Energien bis über die Verlagerung von Verkehr auf die Schiene (Erweiterung des Hochgeschwindigkeitsstreckennetzes um 8.400 km)

sowie der Abwasserbehandlung (Zahl der kommunalen Klärwerke hat sich verdreifacht);

- ▶ In China wird etwa die Hälfte der weltweit verkauften Photovoltaik-Module gefertigt; bei der installierten Leistung von Windenergie ist China weltweit führend (insgesamt 45 GW im Jahre 2010). Der Trend bei der Windenergie geht hier erkennbar in Richtung Offshore-Anlagen;
- ▶ Umweltschonende Nutzung von fossilen Brennstoffen: Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) und CCS haben das Potenzial, die Energieerzeugung erheblich zu modernisieren und klimafreundlicher zu gestalten. Dies ist eine vordringliche Aufgabe, da Chinas Strommix nach wie vor von der Kohle dominiert wird. Die CCS-Technologie ist allerdings wegen ihrer hohen Anfangskosten noch nicht vorangekommen.
- ▶ Der rasch steigende Energieverbrauch und der Zubau von Erneuerbarer Energie stellen immense Anforderungen an das Stromnetz. Aus diesem Grund wird angestrebt, dass China bis 2020 eines der größten Smart-Grid-Märkte wird. Hierzu werden bis 2020 rund 530 Milliarden USD investiert.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

In der Studie wird die grüne Transformation primär am Investitionsvolumen gemessen.

Conservação Internacional 2011: Green Economy: challenges and opportunities

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie setzt sich aus verschiedenen Artikeln zusammen, die Rolle, Charakter und Entwicklung der Green Economy beschreiben. Die Studie beschränkt sich nicht ausschließlich auf Brasilien, sondern wirft auch ein Blick auf andere lateinamerikanische Länder.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Es wird auf die gängige Definition der UNEP verwiesen.

Dynamik und Trends

Brasilien hat durch seine privilegierten Voraussetzungen (Ressourcenreichtum, zum Beispiel Wasser und Waldbestand, Artenvielfalt) gute Ausgangsbedingungen für die Transformation seiner Volkswirtschaft hin zur Green Economy. Jedoch wurden entsprechende Bemühungen erst in den letzten Jahren intensiviert und institutionalisiert. Grundsätzlich verfügt das lateinamerikanische Land heute über zwei wesentliche Stärken in der Umweltwirtschaft: Abfallwirtschaft und Biokraftstoffe. Die Regierung hat unter anderem ein Programm zur Förderung von Biodiesel aufgelegt; außerdem gibt es große Anbauflächen mit reichlichen Wasservorkommen; hinzu kommt die hohe Nachfrage nach Fahrzeugen. Es gibt große Anbauflächen mit viel Wasservorkommen; hinzu kommt die hohe Nachfrage nach Flexible-Fuel-Fahrzeugen, deren Motor mit verschiedenen Kraftstoffarten angetrieben werden kann.

Ein Artikel kritisiert, dass die derzeitige Green-Economy-Debatte nicht ganzheitlich geführt wird, sondern sich auf einige Trends und Modifikationen in ausgewählten Industrien konzentriert. Stattdessen sollte ein holistischer Ansatz gewählt werden, der soziale, ökonomische, politische und umweltbedingte Faktoren berücksichtigt.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

In den einzelnen Artikeln dieser Studie gibt es unterschiedliche Ansätze zur Messung der grünen Transformation. Ein Beitrag analysiert den Übergang zur Green Economy anhand der Themenfelder Erhaltung des Ökosystems, Transport, Abwasser- und Abfallentsorgung sowie Energie. Ein anderer Beitrag befasst sich mit der Systematisierung von Indikatoren, die die Auswirkungen ökonomischer Aktivitäten (Produktion und Konsum) auf die Umwelt (zum Beispiel CO₂-Emissionen, Abholzung von Wäldern etc.) und das Ausmaß der Umweltschäden (beispielsweise Schadstoffkonzentration in der Atmosphäre, Verschmutzungsgrad des Wassers usw.) abbilden.

OECD 2011 (Capozza, I.): Greening Growth in Japan

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie untersucht Japans Fortschritte auf dem Weg zu einer Green Economy. Dabei wird der Status quo analysiert; außerdem werden die wichtigsten Herausforderungen bei dieser Entwicklung betrachtet.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Der Markt wird segmentiert nach Verschmutzungsmanagement (darunter Luft, Abwasser und Abfall) und Ressourcenmanagement (Sekundärstoffe, Erneuerbare Energien, Energiespeicherung und Sonstige).

Dynamik und Trends

Betont wird Japans Spitzenstellung und Effizienz in Technologien, die zum Klimaschutz beitragen; hervorgehoben werden vor allem Produktionsprozesse und -verfahren. Diese gute Positionierung Japans ist auf gezielte Investitionen in FuE zurückzuführen sowie auf stark ausgeprägte Leistungs- und Qualitätsstandards.

Die FuE-Stärke spiegeln auch die Zahlen zur Patententwicklung wider: Japan hat zwischen 2000 und 2008 rund 40% der weltweit registrierten Patente für Hybrid- und Elektrofahrzeuge angemeldet. Bei den Patentanmeldungen im Bereich effiziente Gebäudetechnik und Beleuchtung hält Japan im selben Zeitraum einen Anteil von 33%, im Bereich Erneuerbare Energien von 10%.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Als Indikatoren für die Fortschritte Japans bei der Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch werden vor allem folgende Messgrößen betrachtet: Energieintensität, Materialintensität, CO₂-Intensität, Schadstoffemissionen, Menge der Siedlungsabfälle, Pro-Kopf-Wasserverbrauch, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln pro km² landwirtschaftlich genutzter Fläche.

Weitere Indikatoren der grünen Transformation sind die Volumina der Märkte für Umweltgüter und Umweltdienstleistungen in Japan; außerdem betrachtet die Studie die Ausgaben für Forschungs- und Entwicklung für Umwelttechnologien sowie die Zahl der Patentanmeldungen in Umwelttechnologien als Gradmesser für das Fortschreiten auf dem Weg in die Green Economy.

OECD 2011 (Jones, R. S. and B. Yoo): Korea's Green Growth Strategy

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie untersucht Südkoreas Fortschritte auf dem Weg zu einer Green Economy. Dabei erfolgt eine Analyse der aktuellen Situation; daraus werden politische Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Im Zuge des staatlichen Green-Economy Förderprogrammes werden 26 Technologien in vier Segmente unterteilt: Klimawandel, Energie, Effizienztechnologien, End-of-Pipe-Technologien.

Dynamik und Trends

Die Republik Korea zählt im internationalen Vergleich bislang nicht zu den führenden Green-Economy-Nationen. Erst seit Kurzem werden seitens der Regierung Anreize (Fünfjahresplan) in Richtung einer grünen Transformation gesetzt.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

In der Studie wurden keine Messgrößen benannt.

StMWIVT/ifo Institut 2010: Umweltwirtschaft in Bayern

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie betrachtet die Umweltwirtschaft in Bayern im Hinblick auf Marktentwicklung und Branchenstruktur. Intention dabei ist, den Akteuren dieses Wirtschaftszweiges (Unternehmen und Forschungseinrichtungen einen Überblick über die aktuelle Situation zu geben und sie in ihrer strategischen Ausrichtung zu unterstützen. Zudem geht die Studie ausführlich auf die Methodik zur Erfassung der Green Economy ein.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Die Umweltwirtschaft wird in drei Hauptkategorien unterteilt, die als konzentrische Kreise dargestellt werden. Der innere Kreis wird als „Verschmutzungskontrolle“ bezeichnet. Er umfasst die Bereiche Abwasserbeseitigung, Abfallwirtschaft, Recycling, Sekundärrohstoffe, Luftreinhaltung, Altlastensanierung, Lärmbekämpfung sowie Mess-, Analyse- und Regeltechnik. Der zweite Kreis wird als „Saubere Technologien und Produkte“ benannt. Ihm werden „Prozessintegrierte Technologien“ und „Umweltfreundliche Produkte“ zugeordnet. Zur dritten Hauptkategorie – Ressourcenmanagement – gehören Trinkwasserversorgung und -aufbereitung, Erneuerbare Energien/nachwachsende Rohstoffe sowie rationelle Energieverwendung/Energieeinsparung (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Unterteilung der Green Economy



Quelle: StMWIVT/ifo 2010

Während im inneren Kern die gesamten Umsätze und Beschäftigtenzahlen im Bereich der Güterproduktion zur Umweltwirtschaft enthalten sind, ist bei den beiden äußeren Ringen eine differenzierte Betrachtung erforderlich. Die dem integrierten Umweltschutz zuzurechnenden Technologien und Produkte tragen zur Umweltentlastung im Produktions- (Konsum-) Prozess bei, wobei sie additive Vermeidungs-, Beseitigungs- oder Verminderungsmaßnahmen weitgehend bzw. vollständig ersetzen. Als Beispiele für umweltschonende Produktionsverfahren gelten energiesparende Verbrennungstechniken (Wirbelschichtfeuerung, Einsatz von Gas- und Dampf-Turbinen).

Zur Berechnung der Marktgröße gibt es grundsätzlich zwei Ansätze:

- ▶ **Angebotsorientierter Ansatz:** Das über den Inlandsmarkt erfolgende Angebot an Umweltschutzgütern ist durch Anbieterverzeichnisse identifizierbar. In den meisten angebotsorientierten Analysen wird der Umweltschutzsektor anhand von Befragungsdaten auf der Basis des Selbstdenkulationsprinzips erfasst. Das bedeutet, dass nur diejenigen Firmen berücksichtigt werden, die explizit angeben, auf dem Umweltschutzmarkt tätig zu sein.
- ▶ **Nachfrageorientierter Ansatz:** Der nachfrageorientierte Ansatz basiert auf der Erfassung der Ausgaben für den Umweltschutz, d.h. der entsprechenden Investitionen, der Umweltschutzdienstleistungen sowie der laufenden Kosten für den Umweltschutz. Als Datengrundlage dienen die amtlichen Statistiken über die Ausgaben (Investitionen, laufende Sachaufwendungen, laufende Personalaufwendungen sowie Fremdleistungen) des produzierenden Gewerbes und des Staates für den Umweltschutz. Die Investitionen und laufenden Ausgaben der privaten Haushalte lassen sich nur anhand von Schätzungen beziffern (zum Beispiel Katalysator-Ausstattung der

Kfz-Neuzulassungen, Abfall- und Abwassergebühren etc.).

Dynamik und Trends

Derzeit kann in der aktuellen Diskussion ein klimapolitischer Trend festgestellt werden, da Klimapolitik durch ein wesentlich breiteres Spektrum von Motiven begründet wird als noch vor wenigen Jahren. Motivation für Klimaschutzmaßnahmen ist nicht mehr allein die Emissionsreduzierung für das globale Klimasystem. Vielmehr schieben sich verstärkt ökonomische Vorteile in den Vordergrund, die sich aus Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und der Innovation in Umwelt- und Klimaschutz-Technologien ergeben. Es ist anzunehmen, dass sich dieser Trend künftig noch verstärken wird.

Damit verbunden setzt sich die Annahme durch, dass sich mit technologischer Innovation „First-Mover“-Vorteile erreichen lassen. Die frühzeitige Entwicklung klimafreundlicher Technologien, die andere Staaten letztendlich ebenfalls implementieren werden, kann zu Standort- und Wettbewerbsvorteilen sowie zu verstärkten Wachstumschancen führen. Zukünftige Reduktionsverpflichtungen werden damit zunehmend durch einen zielführenden Technologieeinsatz flankiert.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Umsatz und Beschäftigte in der Umweltindustrie in Bayern

NIW/Fraunhofer ISI 2011: Ausgewählte Indikatoren zur Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich: Produktion, Außenhandel, Umweltforschung und Patente

Zielsetzung und Inhalt

Das Umweltbundesamt hat die beteiligten Institute mit der Analyse und Fortschreibung verschiedener Indikatoren zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft beauftragt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Entwicklung der Branche im Verlauf der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009 gelegt.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Definition: Die Angebotspalette umfasst die Bereiche Abfallwirtschaft/Recycling, Gewässerschutz/Abwasserbehandlung, Luftreinhaltung, Lärmdämmung und Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik) sowie Klimaschutz (Erneuerbare Energien, rationelle Energienutzung und -umwandlung).

Nach der technologischen Ausrichtung kann man zusätzlich zwischen „integriertem Umweltschutz“, d. h. emissionsarmer Prozesstechnik bzw. umweltfreundlichen Produkten einerseits, sowie „additivem Umweltschutz“ zur nachträglichen Beseitigung von umweltschädlichen Emissionen andererseits unterscheiden.

Erfassungsmethodik zur Berechnung: Im Kern handelt es sich um einen produktionswirtschaftlichen, angebotsorientierten Ansatz. Dieser ist mit Blick auf die Bedeutung von Umweltschutzgütern im industriellen Spektrum Deutschlands einerseits sowie auf den Vergleich der Wettbewerbsposition deutscher Anbieter auf den internationalen Märkten andererseits funktional (d. h. auf Gütergruppenbasis) und gesamtwirtschaftlich formuliert.

Dynamik und Trends

Besonderes Gewicht kommt klimafreundlichen Technologien zu, die zur Vermeidung bzw. Minderung von CO₂-Emissionen beitragen. Grundsätzlich zeigt sich auf allen Ebenen – nicht zuletzt befördert durch politische Weichenstellungen – weltweit eine Strukturverschiebung weg von klassischen Umweltschutzfeldern (Abfall, Wasser und Abwasser, Luft, Lärm) hin zu Klimaschutztechnologien. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in der Produktion von potenziellen Umweltschutzgütern, im Außenhandel, in den Patentanmeldungen und in der öffentlich geförderten Umweltforschung in Deutschland wider.

Das Welthandelsvolumen bei potenziellen Umweltschutzgütern ist in den Jahren vor der Finanz- und Wirtschaftskrise mit 17% p.a. deutlich stärker gewachsen als der Handel mit Industriewaren insgesamt. Die Umweltwirtschaft hat also auch im globalen Handelsaufschwung in diesem Zeitraum bestätigt, dass sie zu den weltwirtschaftlich wachstumsstärksten Feldern zählt. Der Einbruch der Weltexporte in 2009 hat potenzielle Umweltschutzgüter zwar auch erheblich getroffen, aber nicht in dem Ausmaß wie andere Güter: Mit einem Minus von 18% fiel der weltweite Exportrückgang hier noch deutlich geringer aus als der Rückgang bei Verarbeiteten Industriewaren insgesamt (annähernd 22%).

Deutschland bleibt mit einem Welthandelsanteil von 12,8% annähernd gleichauf mit den USA (12,7%) und ist 2009 der zweitgrößte Exporteur potenzieller Klimaschutzgüter nach China (14,4 %), das 2008 die USA von der Spitzenposition verdrängt hat. Bereits mit deutlichem Abstand folgt Japan (8,5%) vor Italien und Großbritannien (jeweils gut 4%) und Frankreich (3,7%).

In den letzten 10 bis 15 Jahren ist eine deutliche Verlagerung der Nachfrage von Umweltschutzgütern aus den entwickelten Industrieländern in Emerging Markets mit in Mittel- und Osteuropa sowie nach Asien, insbesondere nach China, zu erkennen.

Deutsche Anwender nutzen zunehmend das Weltmarktangebot an potenziellen Klimaschutzgütern, gerade im Bereich Erneuerbare Energien, die innerhalb des gesamten Handelsvolumens deutlich an Gewicht gewonnen haben. Bereits vor der Krise war die Situation bei den Erneuerbaren Energien in Deutschland durch überproportional gestiegene Importe gekennzeichnet (relativ zum Industriedurchschnitt schwache Weltmarktposition bei gleichzeitig massiven Produktions-

zuwachsen im Inland).

In Deutschland lag der Anteil der staatlichen Ausgaben für Umweltforschung an den Gesamtausgaben für FuE im Jahr 2008 mit 3,2% im Durchschnitt der EU-15 und damit deutlich über dem entsprechenden Wert für die OECD insgesamt (2,4%). Auch im Hinblick auf die inhaltliche Ausrichtung der öffentlichen Förderung von Umweltschutzforschung in Deutschland bestätigt sich der Trend zugunsten von Klimaschutz/Energie, während klassische Umweltschutzfelder an Bedeutung verloren haben.

Auch im Hinblick auf die Patentdynamik verzeichnen Klimaschutztechnologien sowohl in Deutschland als auch weltweit überdurchschnittliche Zuwächse.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

- ▶ Welthandelsanteile;
- ▶ Patentanmeldungen.

UNESCAP 2010: Green Growth, Resources and Resilience. Environmental sustainability in Asia and the Pacific

Zielsetzung und Inhalt

Die Studie mit Fokus auf Asien untersucht primär die Veränderungen, die sich seit der Vorläuferstudie aus dem Jahr 2005 ergeben haben. Der Schwerpunkt wird auf Veränderungen der politischen Rahmenbedingungen sowie die Nutzung von Ressourcen gelegt.

Marktdefinition/ -abgrenzung

Es wird auf die gängige Definition der UNEP verwiesen.

Dynamik und Trends

In einigen Teilbereichen sind positive Entwicklungen zu registrieren (Verbesserung der Luftqualität in einigen Städten; Verlangsamung des Waldsterbens); jedoch hat sich die Gesamtsituation in den letzten Jahren in Asien kaum verbessert. Problematisch bleibt in weiten Teilen der Region die Befriedigung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung, angefangen bei Nahrung, Wasserversorgung, Energiebereitstellung bis hin zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels. Die Herausforderungen, die das schnelle Wirtschaftswachstum und das Streben nach Wohlstand einer immer größeren Bevölkerungsschicht mit sich bringt, sind immens.

Die Politik muss in Zukunft Finanzierungsmodelle in grüne Technologien fördern und die Privatwirtschaft mit einbeziehen. Hier sind bereits vereinzelt erste Ansätze zu beobachten, beispielsweise Öko-Zertifizierungen, Öko-Tourismus und IKT.

Insbesondere Erneuerbare Energien haben einen gewissen Reifegrad erreicht; einige asiatische Länder nehmen hier bereits eine führende Rolle auf dem Weltmarkt ein. So wird geschätzt, dass in diesem Sektor in Asien künftig rund 20 Millionen Beschäftigte arbeiten werden, der Großteil von ihnen in Indien und China.

Für die Messung der grünen Transformation relevante Aussagen/Indikatoren

Die Studie macht keine expliziten Angaben zur Messung der grünen Transformation. Sie zeigt Ansätze auf, wie sich grünes Wachstum („green growth“) in der Asien-Pazifik-Region erreichen lässt. Dabei spielen politische Initiativen und Programme eine wesentliche Rolle, die eine ökologisch nachhaltige Entwicklung fördern. Dazu gibt die Studie einen Überblick über die Maßnahmen und Investitionen, die einzelne Länder auf den strategischen Feldern „Sustainable infrastructure development“, „Greening markets, businesses, and industries (including sustainable agriculture)“, „Sustainable consumption“, „Investment in natural capital“, „Cross-cutting instruments“ verwirklicht haben.

Anhang 2: Experteninterviews

Um die aus der Literaturanalyse abgeleitete Matrix und die darin befindlichen Hypothesen weiterzuentwickeln, wurden insgesamt 24 Interviews mit Experten der jeweiligen grünen Zukunftstechnologie aus Forschungseinrichtungen, Verbänden und Unternehmen (u.a. Fraunhofer ISI, ISE & IBP, MVV Energie AG, Daimler AG, UFZ, ISFH, Öko-Institut, ZSW, BWE, Wuppertal Institut, FZ Jülich, Firma Beratende Ingenieure Geese, IfaS (Umweltcampus Birkenfeld), IZES, TU Hamburg Harburg, TU Dresden) geführt. Sechs der Ansprechpartner bringen eine umfassende Expertise im Bereich der Speichertechnologien mit, fünf sind Experten für Alternative Antriebstechnologien, vier für den Bereich der erneuerbaren Energietechnologien, drei für Effizienztechniken im industriellen Sektor, drei für den Bereich Energieeffizienz von Gebäuden und drei für die stoffliche Abfallverwertung von Metallen und Kunststoffe.

Die Experteninterviews waren zweigeteilt. Im ersten Teil des Interviews wurden allgemeine Fragen gestellt, um einen Gesamtüberblick zu bekommen. Dabei sollten die Experten bspw. die Technologie definieren, die während des Interviews als Referenz dient oder es sollte allgemein die Zukunftsfähigkeit der jeweiligen grünen Technologie eingeschätzt werden. Im zweiten Teil des Interviews wurden spezifische technologiebezogene Fragen diskutiert. Die Grundlage für die Diskussionen in beiden Interviewteilen bildete die Hypothesenmatrix, die als übersichtliche Zusammenfassung der Literaturanalyse erstellt wurde. Während des Interviews hatten die Experten die Möglichkeit die Erkenntnisse aus der Literatur zu bestätigen bzw. zu falsifizieren. Ebenso trugen die Experten dazu bei, dass Fragestellungen, die aufgrund fehlender fundierter Informationen am Ende der Literaturanalyse offen blieben, beantwortet werden konnten.⁵⁸

Während der Interviews wurden die Experten aufgefordert, schrittweise (Umweltgut für Umweltgut) die Effekte des Teilmarktes einzuschätzen und zu bewerten. Die Bewertungen der Umweltwirkungen erfolgte dabei zweidimensional: Zum einen wurde die Richtung bestimmt, positiv (+) oder negativ (-), und zum anderen die Stärke (leicht/stark) (+/++ bzw. -/--) des Effektes:

- ▶ Die Richtung der Effekte sollte relativ zur aktuell eingesetzten Technologie (die von den Experten als Referenztechnologie definiert wurde) in dem Teilmarkt bestimmt werden, d.h. ist die neue Technologie umweltfreundlicher als die alte Technologie (+), oder umweltschädlicher (-)?
- ▶ Die Stärke der Effekte sollte absolut gemessen werden und das Potenzial der Technologie widerspiegeln, welches bei dem geplanten Ausbau zu erwarten ist. Stark (++/--): der erwartete Effekt ist signifikant für das Umweltgut; Leicht (+/-): Es gibt einen Effekt, der aber auf das gesamte Umweltgut kaum einen Einfluss hat.

Diese Vorgehensweise war mit kleineren Schwierigkeiten verbunden. So waren sich einige Experten bspw. bzgl. der Stärke der Effekte nicht sicher, so dass sie sich nicht auf eine Bewertung festlegen wollten und somit in ihre Bewertung beide Stärken aufnahmen. Darüber hinaus handelte es sich bei den Bewertungen um subjektive Einschätzungen, die mitunter nicht von den anderen Experten für den gleichen Teilmarkt geteilt wurden. Widersprüchliche Einschätzungen fanden sich besonders im Bereich der Speichertechnologien, was insbesondere der Tatsache geschuldet ist, dass die Stromspeicher ein relativ junges Forschungsfeld sind und erst in den letzten Jahren verstärkt Aufmerksamkeit (und finanzielle Unterstützung) erfahren. Dieser Tatbestand führte dazu, dass die von uns befragten Experten im Bereich der Speichertechnologien zwar umfassende Kenntnisse in diesem Bereich mitbrachten, sich aber nicht auf nur eine Speichertechnologie spezialisiert hatten. Im Bereich der EE wurden im Gegensatz dazu Experten befragt, die sich nur auf eine Technologie spezialisiert hatten (z.B. Windenergieanlagen) und detaillierte Angaben hierzu geben konnten. Die Experten im Bereich der Stromspeicher hingegen gaben bzgl. aller von uns untersuchten Speichertechnologien Auskunft und die Einschätzungen wichen dementsprechend teilweise – auch deutlich – voneinander ab. Darüber hinaus hatten die Speicher-Experten nur eine vage Vorstellung von einigen Umwelteffekten, da auf diesem Gebiet viele Forschungsfragen bisher noch nicht bearbeitet werden konnten.

⁵⁸Der Gesprächsleitfaden zu den Interviews sowie das Anschreiben an die Experten befinden sich in Anhang 3.

Lagen für ein Umweltgut mehrere Bewertungen vor, wurden die Erkenntnisse aus der Literatur hinzugezogen und sich für eine finale Bewertung entschieden, um in die Bewertungsmatrix diejenige Bewertung aufzunehmen, die am zutreffendsten erscheint.

Alternative Antriebstechnologien

Die Experten im Bereich der alternativen Antriebe definierten den herkömmlichen Verbrennungsmotor als Referenz, wobei ein Experte konkret den Dieselantrieb als Referenz betrachtete, da dieser am häufigsten in Deutschland zu finden ist.

Hinsichtlich des Potenzials der einzelnen alternativen Antriebe lässt sich aus den Experteninterviews das folgende Fazit ziehen: Auch in Zukunft werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren den Straßenverkehr nach wie vor dominieren. Dabei wird der Verbrennungsmotor in den nächsten Jahren sicherlich um 15 bis 20% effizienter und vermehrt in Hybridfahrzeugen eingesetzt werden, so dass zukünftig auch viele Hybridautos das Straßenbild prägen werden. Der Anteil der Plug-In-Hybridfahrzeuge wird sukzessive wachsen, in der Bedeutung aber hinter den Hybridfahrzeugen zurück stehen, da erstere mit höheren Kosten verbunden sind. So kostet gegenwärtig ein Baustein bei Plug-In-Hybridfahrzeugen 10.000 Euro, bei Hybridfahrzeugen lediglich 3000 €. Plug-In-Hybridfahrzeuge werden eher Marktnischen besetzen. Fahrzeuge mit Elektroantrieben werden auch in Zukunft hauptsächlich Bedeutung für den innerstädtischen Verkehr haben. Fakt ist, dass das Klima- bzw. CO₂ Reduktionsziel mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren nicht erreicht werden wird, doch bis sich die alternativen Antriebe durchsetzen, werden Jahre, vielleicht Jahrzehnte vergehen. Grund hierfür ist, dass sie noch immer hinsichtlich des Wirkungsgrades und der Kosten hinter dem Verbrennungsmotor zurück stehen.

Klima

- ▶ Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Wenn der für die Nutzung von Elektrofahrzeugen zusätzlich benötigte Strom zu 100% aus emissionsfreien Energietechnologien kommt, gehen der Schadstoffausstoß und somit auch die Klimawirkung der Nutzung der Autos gegen Null. Doch auch im Falle eines 100%igen Bezugs des Stroms aus regenerativen Energiequellen, erfolgt eine energetische Amortisation erst bei rund 12.000 km. Aufgrund der Verwendung der sehr energieintensiven Übergangsmetalle Kobalt und Nickel zur Herstellung der Batterien liegt der Break-Even-Point der CO₂-Emissionen der Herstellung bei 12.000 km. Erst ab dann rentiert sich ein BEV im Hinblick auf die CO₂E. BEV, die gekauft jedoch kaum gefahren werden, haben somit mitunter sogar eine schlechtere CO₂ Bilanz als Fahrzeuge mit herkömmlichen Antrieben.

- ▶ Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)

Auch bei Brennstoffzellenfahrzeugen kann konstatiert werden, dass die Klimawirkung der Autos gegen Null geht, wenn die Energie zur Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Allerdings ist hier einschränkend anzuführen, dass dies nur für den Betrieb der FCEV gilt. In der Herstellung, Verschrottung oder Wiederaufbereitung der Brennstoffzelle ist der Klimaeffekt nicht mit Null zu bewerten.

- ▶ Hybrid/Plug-In Hybrid Fahrzeuge

Der Effekt auf das Klima ist abhängig von der Emissionsintensität der Stromproduktion und von dem Anteil der Fahrleistung mit Verbrennungsmotor. Wenn der Strom zu 100% aus regenerativen Energiequellen erzeugt wird, beträgt die Kraftstoff- und damit die Emissionseinsparung 20%. Generell ist der Effekt abhängig von den Fahranteilen. Eine Business Limousine bspw., die im Jahr 50.000 km und pro Strecke über 40 km fährt, wird hauptsächlich durch den Verbrennungsmotor angetrieben, was den initiierten positiven Effekt für das Klima neutralisiert. Vergleicht man die vier alternativen Antriebstechnologien lässt sich festhalten, dass Hybridantriebe hinsichtlich der Auswirkungen auf das Klima am besten abschneiden, solange der Strom für Elektrofahrzeuge nicht zu 100% aus erneuerbaren Energien erzeugt wird.

Anzumerken ist, dass für die Elektroantriebe und für den Plug-In-Hybridantrieb ein Bewertungsproblem existiert. Bspw. kann der CO₂-Gehalt vom Strommix wegen eines hohen Anteils von Kernenergie (z.B. in Frankreich) sehr niedrig sein. Trotzdem würde Kernenergie als „schlechter“ bewertet als Energie aus erneuerbaren Energiequellen. Bei der Bewertung ist die Unterscheidung in regenerativ – nicht regenerativ wichtig!

Energie

- ▶ Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Batterieelektrische Fahrzeuge besitzen einen Wirkungsgrad von rund 90%. Der Effekt ist allerdings abhängig von der Stromproduktion. Wenn die Stromproduktion durch erneuerbare Energien erfolgt, besitzen BEV das größte Potenzial im Vergleich zu Brennstoffzellenfahrzeugen oder Fahrzeugen mit Hybrid/Plug-In-Hybridantrieben.

- ▶ Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV))

Mit einem Wirkungsgrad von 26% fallen Brennstoffzellenfahrzeuge im Hinblick auf die Energie deutlich hinter die batterieelektrischen Fahrzeuge zurück. Auch bei FCEV ist der Effekt abhängig von der Stromproduktion, wobei das Potenzial der Brennstoffzellentechnologie mit dem Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen, der zur Elektrolyse benötigt wird, steigt. Im Vergleich zu den anderen in dieser Arbeit aufgeführten alternativen Antriebstechnologien besitzen Brennstoffzellenfahrzeuge jedoch das geringste Potenzial und stehen hinsichtlich des Faktors Energie deutlich hinter der Referenztechnologie (Verbrennungsmotor bzw. Dieselmotor) zurück, da bei dieser eine Direktverbrennung stattfindet und keine Umwandlungsverluste zu verzeichnen sind.

Generell gilt, dass die Batterie- und Brennstoffzellentechnologien noch nicht ausgereift sind. Insbesondere das Nutzungsspektrum der Batterie ist gering und birgt Potenzial. Die nächste Batteriegeneration (Lithium-Eisensulfat- für Lithium-Ionen-Batterien) weist bspw. schon eine 40% höhere Energiedichte auf, was bedeutet, dass die Batterien weniger Platz im Fahrzeug einnehmen und folglich das Gewicht des Fahrzeugs reduziert werden kann. So kann bspw. die Reichweite der Elektroautos gesteigert werden.

- ▶ Hybrid Fahrzeuge

Der Effekt ist abhängig von der Stromproduktion und vom Anteil der Fahrleistung mit Verbrennungsmotor. Eine höhere Effizienz (im Vergleich zum Verbrennungsmotor) ist durch die Nutzung von Bremsenergie gegeben.

- ▶ Plug-In Hybrid Fahrzeuge

Der Effekt ist abhängig von der Stromproduktion und vom Anteil der Fahrleistung mit Verbrennungsmotor.

Luft

- ▶ Batterieelektrische Fahrzeuge/Brennstoffzellenfahrzeuge

Bei den BEV und FCEV werden jene Abgase, die durch Verbrennungsmotoren entstehen, vermieden. Dennoch werden bei der Stromproduktion – solange diese noch nicht zu 100% im Bereich der erneuerbaren Energien stattfindet – Emissionen mit Luftverschmutzungspotenzial freigesetzt. Bei den Brennstoffzellenfahrzeugen hängen die Umweltwirkungen auf die Luft vom Konzept der Hersteller ab: Wenn bspw. aus Methanol Wasserstoff zur Verbrennung produziert wird, durchläuft das Methanol Konverter und bei der Umwandlung entstehen Abgase, wenn auch deutlich weniger als bei herkömmlichen Antrieben. Der Reifenabrieb bleibt gleich. Generell wird der Feinstaubausstoß (PM 10 PM 2.5) verringert.

- ▶ Hybrid/Plug-In Hybrid Fahrzeuge

Die Umweltwirkung von Hybrid- oder Plug-In-Hybridantrieben ist leicht positiv und abhängig von der Fahrleistung mit Verbrennungsmotor. In den Ballungsgebieten wird die Luft entlastet, wenn innerstädtisch mit Strom gefahren wird. Von Relevanz ist dabei die Stromenergiequelle. Steigt die Motorlast, wird der Elektroantrieb dazu geschaltet. Hierdurch können bis zu 25% des Schadstoffs eingespart werden.

Wasser (Gewässer/Grundwasser) und Boden

- ▶ Batterieelektrische Fahrzeuge

Beim Abbau der Rohstoffe, bspw. für die Batterien, können lokale Verschmutzungen auftreten. Der Verschmutzungsgrad hängt dabei von den Umweltstandards der Abbauländer ab. Wie hoch die Umweltstandards in einem Land gesetzt sind, lässt sich indirekt am World Government Index ablesen: Schneiden Länder in diesem hinsichtlich der politischen Steuerung und Koordination schlecht ab, sind vermutlich auch die Umweltstandards sehr gering. Als Beispiel für niedrige Umweltstandards kann bspw. der Kobaltabbau im Kongo dienen. Auch der Nickel- oder Manganabbau – beides Rohstoffe, die für die Kathode in Lithium-Ionen Batterien genutzt werden – hat negative Auswirkungen auf die lokalen Gewässer oder Böden. Gegenwärtig werden bereits Forschungsanstrengungen unternommen, um die Umweltwirkungen der Batterien zu reduzieren. In der nächsten Batteriegeneration (Lithium-Ionen-Batterien werden z.B. durch Lithium-Eisensulfat-Batterien ersetzt) können die Umweltwirkungen bspw. schon um 40% reduziert werden.

- ▶ Brennstoffzellenfahrzeuge

In den Abbaugebieten treten lokale Verschmutzungen beim Abbau der Rohstoffe, insbesondere Platin, auf. Allerdings müssen zur Herstellung von Treibstoffen für herkömmliche Verbrennungsmotoren ebenfalls Rohstoffe abgebaut werden. Dieser Aspekt sollte an anderer Stelle noch einmal genauer untersucht werden.

- ▶ Alle alternativen Antriebstechnologien

Es treten lokale Verschmutzungen (z.B. Eutrophierung von Gewässern, Versauerung von Böden) beim Abbau der Rohstoffe in den Abbaugebieten auf, die je nach Umweltstandards des Landes unterschiedlich stark sein können. Der negative Effekt wird jedoch mit der Zeit aufgrund des technologischen Wandels reduziert werden können. Dabei spielen zum einen Effizienzsteigerungen und zum anderen der Einsatz von umweltfreundlicheren Materialien – allein aus Kostengründen – eine Rolle. Allerdings werden Umweltgüter wie Wasser und Boden auch durch schonendere Verfahren weiterhin negativ beeinflusst. So müssen bspw. für den Abbau von 2kg Erz rund 300t anderer Materialien bewegt werden. Generell sehen Experten in diesem Bereich ein großes Optimierungspotenzial. Auf den Einsatz von Seltenen Erden und Edelmetallen wird man aber auch in Zukunft nicht ganz verzichten können.

Im Falle eines Unfalls sind Verbrennungsmotoren im Hinblick auf die Wirkungen auf Wasser und Boden als inferior gegenüber den alternativen Antriebsfahrzeugen zu werten, da bei ersteren Öl auslaufen und die Schutzgüter Wasser sowie Boden geschädigt werden können. Im Falle eines Unfalls mit BEV oder FCEV erfolgt keine Schädigung der genannten Schutzgüter durch toxische Stoffe.

Artenvielfalt und Landschaft

Die Mobilitätsinfrastruktur bleibt erhalten, so dass hier keine direkten Effekte ermittelt werden können. Die geringere Reichweite der Antriebe kann jedoch den indirekten Effekt mit sich bringen, dass auf Langstrecken auf alternative Verkehrsmittel, wie z.B. den Zugverkehr, ausgewichen wird. Ob und inwieweit durch die Materialgewinnung Effekte auf die Biodiversität auftreten ist noch zu prüfen.

Gesundheit – Schadstoffe

Generell kommt es durch die Nutzung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben zu einer Verlagerung der Emissionen und Luftschadstoffe aus den urbanen Zentren in die Stromerzeugerregionen. Folglich kommt es zu einem Rückgang der Schadstoffe in dicht besiedelten Gebieten. Es gelten hier ebenfalls die Ausführungen, die zum Punkt „Luft“ zu finden sind. Letztlich profitieren jedoch auch die Stromerzeugerregionen von einem verstärkten Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, da der Schadstoffausstoß allgemein verringert wird und sich nicht nur auf eine bestimmte Region beschränkt.

Gesundheit – Lärm

Sowohl Elektroautos als auch Brennstoffzellenfahrzeuge sind leiser als Fahrzeuge mit herkömmlichem Verbrennungsmotor. Dies gilt auch für Hybrid & Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge im urbanen Bereich, d.h. solange nicht der herkömmliche Verbrennungsmotor zum Einsatz kommt. Bei Geschwindigkeiten ab 40km/h werden die Reifengeräusche lauter. Durch die geringere Geräuschentwicklung (für Hybridantriebe im interstädtischen Bereich) und der hieraus folgenden geringeren Wahrnehmung der Fahrzeuge durch Mensch und Tier könnten tendenziell mehr Unfälle verursacht werden.

Natürliche Ressourcen

Die natürlichen Ressourcen werden durch die alternativen Antriebstechnologien dahingehend entlastet, dass ein reduzierter Einsatz von Biokraftstoff zu erwarten ist. Dies hängt sicherlich auch von der zukünftigen Preisentwicklung der Biokraft- und der sonstigen Kraftstoffe ab. Somit handelt es sich um einen indirekten Effekt. Allerdings kann Wasserstoff, den man bspw. für den Brennstoffzellenantrieb benötigt, durch Biomassevergasung hergestellt werden. In diesem Fall kann demzufolge nicht von einem reduzierten Einsatz von Biomasse ausgegangen werden und der Effekt auf die natürlichen Ressourcen ist eher neutral.

Rohstoffe

- ▶ Batterieelektrische Fahrzeuge / Brennstoffzellenfahrzeuge

Zur Herstellung der Batterien in BEV und der Brennstoffzellen in FCEV werden Seltene Erden (u.a. Neodym für den Dauermagneten in Elektromotoren, Praseodym, Dysprosium, Terbium) wie auch bspw. Platin und Gallium verwendet, so dass bei einem verstärkten Einsatz von diesen Fahrzeugen die Knappheit der aufgeführten Metalle zunehmen wird. Dem ist jedoch hinzuzufügen, dass sich bspw. Platinelemente durch andere Elemente ersetzen lassen. Positiv ist, dass gegenwärtig verstärkt im Bereich der Magnettechnologien geforscht wird und sich diese Forschung u.a. mit der Frage beschäftigt, durch welche Bestandteile sich die in den Magneten enthaltenen Seltenen Erden ersetzen lassen. Theoretisch könnte bei Elektrofahrzeugen auf Metalle der Seltenen Erden verzichtet werden. Allerdings würden die Autos bei einem Ersatz der Seltenen Erden an Gewicht zulegen und sich die Reichweitenproblematik verschärfen. Auch könnte die Menge der benötigten Rohstoffe verringert werden, so dass man die Motoren kleiner bauen könnte. Dies würde die Kosten für ein Elektrofahrzeug jedoch ansteigen lassen. Hierfür existiert noch kein Markt. Hinsichtlich eines Recyclings der Rohstoffe lässt sich feststellen, dass die Platingruppenmetalle sehr gut wiederverwertet werden können. Darüber hinaus wird erwartet, dass sich der Bedarf an Platin für Brennstoffzellen in naher Zukunft aufgrund technologischer Fortschritte verringern wird. Neben dem seltenen Aufkommen der Rohstoffe und den mitunter hohen Preisen (Platin), spielen auch

politische Fragestellungen eine wichtige Rolle. China nimmt bspw. quasi eine Monopolstellung beim Abbau der Seltenen Erden ein, was u.a. die Bezugs- und Preissituation für den Rest der Welt erschwert.

- ▶ Hybrid/Plug-In Hybrid

Auch zur Herstellung von Hybrid/Plug-In-Hybridantrieben werden Seltene Erden und andere knappe Rohstoffe verwendet. Die Hybrid- bzw. Plug-In-Hybridantriebe sind im Hinblick auf die Rohstoffverwendung stärker negativ zu bewerten als die anderen Antriebstechnologien, da Material für zwei (wenn auch kleinere) Antriebe im Fahrzeug benötigt werden. Das Problem der Verwendung von Metallen der Seltenen Erden ist bei Hybridautos abgeschwächt.

Nicht nur hinsichtlich des Umweltgutes Rohstoffe, sondern auch im Hinblick auf die anderen Güter haben Hybrid bzw. Plug-In-Hybridfahrzeuge die Gesamtheit der Umweltlasten (und -nutzen) der anderen Antriebe zu tragen, da in ihnen unterschiedliche Antriebe (mit den entsprechenden Umweltnutzen und -lasten) kombiniert eingesetzt werden.

- ▶ Alle alternative Antriebstechnologien

Einerseits kann der verstärkte Abbau Seltener Erden und Gallium zu Rohstoffengpässen führen, andererseits werden andere Rohstoffe, die z.B. für den Bau des Abgassystems nötig sind, wie bspw. Platin bei Verbrennungsmotoren, eingespart. Ebenso senken alle Technologien die Nachfrage nach Öl für die Benzin- und Dieselproduktion. Verwendung findet auch das energieintensive Aluminium, allerdings unterscheiden sich die alternativen Antriebsfahrzeuge dabei nicht von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Generell ist es für alle Antriebe im Hinblick auf die Bewertung der Umweltwirkungen auf das Schutzgut Rohstoffe notwendig, zu berücksichtigen, wo man die Technologie betreibt. Werden die Fahrzeuge bspw. in Frankreich hergestellt und betrieben, wird in erster Linie Kernenergie verwendet. Zur Erzeugung von Atomenergie werden weniger Rohstoffe benötigt als bei der Erzeugung von Energie, die aus fossilen oder regenerativen Energiequellen stammt. Unter diesen Voraussetzungen wären die Effekte von alternativen Antrieben auf das Umweltgut Rohstoffe in Frankreich positiver zu bewerten als bspw. in Deutschland.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Recycling im Bereich der alternativen Antriebe weiter entwickelt werden muss. Die Wiederverwertung der Materialien, insbesondere der Seltenen Erden und Edelmetalle bringt mehrere Vorteile mit sich: So könnten die Kosten gesenkt werden, Einträge in die Natur durch Verbrennung oder Lagerung auf Müllkippen würden vermieden und der Bedarf an neu abgebauten Materialien zurückgehen. Im Bereich der Seltenen Erden sollte bzgl. Ersatzstoffe weiter geforscht werden, damit in Zukunft umweltfreundlicher und kostengünstiger produziert werden kann.

Erneuerbare Energien

Wie bei den alternativen Antrieben wurden die Experten auch im Bereich der erneuerbaren Energien zunächst gebeten, die aktuell eingesetzte Technologie zu beschreiben und für die Bewertung der EE als Referenz zu sehen. Von allen Befragten wurde die Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern oder der gegenwärtige Strommix als Referenztechnologie definiert.

Folgende Aussagen wurden zusätzlich von den Experten getätigt, die sich zwar nicht auf die Bewertung der Umweltwirkungen der erneuerbaren Energien beziehen, die jedoch von Bedeutung sind und nicht vernachlässigt werden sollten: Die Errichtung der Erneuerbare-Energien-Anlagen ist generell nur möglich, wenn im Vorfeld die Umweltverträglichkeitsprüfung mit einem positiven Ergebnis abgeschlossen werden konnte. Im Fall der WEA wird in einer UVP bspw. analysiert, welche Auswirkungen eine Errichtung auf die Artenvielfalt und die Landschaft bzw. das Landschaftsbild hat. Es wird untersucht, ob das Pflanzenwachstum beeinflusst wird oder ob die Tierwelt (bspw. Störche oder Fledermäuse) durch WEA belästigt oder bedroht wird. Hinsichtlich des Fledermausschutzes wird z.B. geprüft, ob sich kleine oder große Fledermauspopulationen in der Nähe des potenziellen Standortes aufhalten. Generell gilt für die Bewertung der Windkraft, dass diese desto positiver bewertet werden kann, je näher die Überlandleitungen am Ort der Erzeugung stehen.

Die Photovoltaiktechnologie wird als ein Selbstläufer angesehen, da jeder Gebäudeeigentümer PV-Anlagen errichten kann. Da immer mehr Menschen entdecken, wie attraktiv es ist, den eigenen Strom zu produzieren, werden immer mehr PV-Anlagen errichtet. Einige Experten differenzieren, indem sie ein deutliches Wachstum der PV-Technologie weltweit erwarten, den Markt in Deutschland jedoch schon als relativ gesättigt ansehen. Insgesamt werden weltweit bereits 30 GW Strom aus PV-Anlagen erzeugt. Der Boom außerhalb Deutschlands ist auch dadurch erkennbar, dass Deutschland vor zehn Jahren noch Weltmarktführer bei der Produktion von PV-Modulen war, mittlerweile aber von Ländern wie China überholt wurde. Weltweit werden die Kosten von Solarstrom immer weiter reduziert, was den Strom äußerst attraktiv macht. Was die weltweite Produktionsmengensteigerung angeht, erwartet man einen Faktor von zehn.

Die trotz der deutlichen Verringerung der Vergütungssätze zumindest gegenwärtig noch ungebrochene Ausweitung der PV-Anlagen in Deutschland wird oftmals, insbesondere im Hinblick auf Errichtungen im „sonnenärmeren“ Norden von Deutschland, kritisiert. Allerdings kann im Norden auch bei Bewölkung durch die Sonneneinstrahlung noch genügend Strom produziert werden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert der Sonneneinstrahlung ist weit geringer als bei der Windenergie. Hier liegen aufgrund der Küstennähe und Landschaftsstruktur die Vorteile im Norden. Binnenwindradnutzungen werden aus diesem Grund als weniger effektiv angesehen. Sollten die Windräder deutlich höher gebaut werden, steckt aber auch in der Binnenwindradnutzung Potenzial. Generell sind im Falle der PV- und Windenergie-technologie die Ansprüche an die Netze hoch.

Hinsichtlich des Biomasseanbaus ist nach Einschätzung der Experten der Peak in den Jahren 2010/2011 erreicht gewesen. Zukünftig dürften keine weiteren Anbauflächen hinzukommen. Für die Zukunft stellt sich nun vielmehr die Frage, wie die Qualität der Biomasse verbessert werden kann, vor allen Dingen auch im Hinblick auf den bedarfsgenauen Einsatz der Biomasse. Bei der Biomasse ist überdies herauszustellen, dass eine Bewertung „der“ Biomasse schwieriger ist als die Bewertung „der“ PV- oder „der“ Windenergie-technologie. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es große Unterschiede in den Biomassetypen gibt, die hinsichtlich der Effekte auf die Umweltgüter mitunter deutlich voneinander abweichen. Biomasse lässt sich so bspw. in die drei großen Gruppen Abfallbiomasse, Reststoffbiomasse und Anbaubiomasse differenzieren. Dabei kann festgestellt werden, dass die Effekte der Anbaubiomasse negativer bewertet wurden als jene der beiden erst genannten Gruppen.

Abschließend haben Experten negativ angemerkt, dass die Umstellung auf EE positiv ist, dass es jedoch als kritisch anzusehen ist, wenn zugunsten weniger effizienter Anlagen hocheffiziente Anlage (z.B. Kohlekraftwerke) abgeschaltet werden.

Klima

- ▶ Photovoltaik/Windenergie

Der Ersatz fossiler Brennstoffe zur Stromerzeugung trägt zur THG-Reduktion über den ganzen Lebenszyklus gesehen bei. Allerdings ist der Transport von Windenergieanlagen äußerst aufwendig, da die großen Komponenten mit Schwer-

transportern zum Errichtungsort transportiert werden müssen. Hierdurch entstehen CO₂-Emissionen, die ansonsten nicht anfallen. Es lässt sich festhalten, dass das Umweltgut Klima nach Einschätzung der Experten am stärksten von den PV-Technologien profitiert.

- ▶ Biomasse

Die Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung bzw. in Form von Biokraftstoffen trägt zu einer Minderung der THG-Emissionen im Stromerzeugungs- und Verkehrssektor bei. Wie stark die Minderung der THG-Emissionen ist, hängt allerdings von der verwendeten Biomasse ab. So ist der Effekt bei der Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe stärker positiv als bei der Nutzung von Energiepflanzen. Allerdings tritt durch einen sogenannten Methanschlupf Methan bei Biogasanlagen aus, wobei es auf die Verarbeitung der Anlage ankommt (1 – 10%).

Energie

- ▶ Windenergie

Die energetische Amortisationszeit von Windrädern liegt bei sechs bis neun Monaten. Bei einer durchschnittlichen „Lebensdauer“ von 20-25 Jahren ist dies sehr gering.

- ▶ Photovoltaik

Die energetische Amortisationszeit schwankt je nach Technologie zwischen 0,5 bis 4 Jahren. Aufgrund der langen Lebensdauer der Module erzeugt die Photovoltaik sehr viel mehr Energie als zur Herstellung benötigt wird. Es wird also in erster Linie „saubere“ Energie produziert. Hier besteht aber noch enormes Potenzial, die Bilanz weiter zu verbessern. Negativ im Hinblick auf die Energie sind die Fluktuationszeiten der Energieherstellung durch PV zu werten und auch die geringe Energiedichte. Hierdurch werden riesige Flächen zur Stromerzeugung genutzt.

- ▶ Biomasse

Der Nutzungsgrad von Biomasse ist bei der KWK am besten (70 bis 90%), d.h. es entsteht nur ein geringer Energieverlust. Hinsichtlich der Energie ist aber am positivsten zu werten, dass anders als bei anderen EE jederzeit bei Bedarf eine Bereitstellung oder Abschaltung erfolgen kann. Nach Einschätzung der Experten wird der Energiebereich durch den Anbau von Biomasse für die Stromherstellung am stärksten entlastet.

Luft

- ▶ Windenergie

Es werden Lacke verwendet, die das Blenden verhindern sollen. Diese enthalten jedoch Luftschadstoffe.

- ▶ Photovoltaik

Das in PV Modulen verwendete Silizium wird in der chemischen Großindustrie hergestellt. Wie in allen chemischen Prozessen können dabei theoretisch toxische Stoffe entweichen, insbesondere wenn Umweltstandards in einem Land nicht so hoch sind (China). Darüber hinaus werden bei der Produktion einige schädliche Gase eingesetzt. Für diese gibt es in der EU jedoch auch Umweltstandards, an die sich die Unternehmen halten. Prinzipiell könnten im Falle eines Unfalls oder nicht angemessener Verarbeitung (Luft)Schadstoffe austreten. Dies ist jedoch – zumindest in Deutschland – unwahrscheinlich.

- ▶ Biomasse

Für eine zutreffende Bewertung müsste hinsichtlich der Biomasseart differenziert werden. Generell kann jedoch festgestellt werden, dass Luftschadstoffe in einem ähnlichen Ausmaß wie bei der Referenztechnologie (in diesem Fall fossile Energieträger) anfallen (Methanemissionen, Kohlenstoffemissionen. Dabei fällt aber weniger Schwefel (geringere Versauerung der Luft) und mehr Feinstaub an. Allerdings bestehen hier Unterschiede, je nach verwendeter Biomasse. Bspw. ist die Versauerungswirkung bei der Abfall- und Reststoffbiomasse geringer als bei der Referenz, bei der Anbaubiomasse jedoch höher.

Wasser und Boden

- ▶ Windenergie

In den Getrieben der Windräder ist Öl enthalten, das im Schadensfall (technischer Unfall) entweichen könnte. Folglich wären negative Effekte auf Wasser und Boden möglich. Um schwerwiegende Auswirkungen auf den Menschen im Falle eines technischen Unfalls zu verhindern, wurden Richtlinien hinsichtlich der Errichtungsorte erlassen. In Wasserschutzgebieten oder in der Nähe von Trinkwasseranlagen dürfen bspw. keine Windenergieanlagen gebaut werden. Die Gewässerschutzklauseln müssen zwingend eingehalten werden. Ebenfalls als kritisch zu bewerten, ist die Errichtung von Windenergieanlagen in zuvor unberührten Landschaften (bspw. im Mittelgebirge). Die Umweltwirkungen auf den Boden können negativ sein.

- ▶ Photovoltaik

Die Hypothese, dass durch die Verwendung von toxischen Stoffen wie Blei, Cadmium oder Selen lokale Verschmutzungen auftreten können, ist korrekt. PV-Module selbst emittieren keine Stoffe. Ein Schadensfall, bei dem toxische Stoffe entweichen können, ist allerdings nur sehr selten! Es ist sehr unwahrscheinlich/hypothetisch, dass toxische Substanzen aus den PV-Modulen austreten. Selbst bei Austritt kann es sich dann nur um sehr geringe Mengen handeln. Bisher liegen noch keine Informationen vor, dass bspw. bei dem Brand einer Scheune, auf der PV-Module montiert waren, Boden oder Wasser kontaminiert wurden. In der EU wurden solche Bestandteile aus der Elektronik verboten und grundsätzlich ist dies auch für PV-Module denkbar. Bisher gibt es aber noch keine Regelungen hierzu. Vorstellbar ist jedoch, dass die EU in Zukunft Regelungen diesbezüglich aufstellt.

Problematisch ist allerdings, dass heutzutage viele Freilandmodule auf Zink- oder Kupfergestellen stehen. Denn bei Zink handelt es sich um ein Umweltgift. Je nachdem wie sauer der Boden ist, kann eine Zersetzung der Gestelle eintreten und Zink oder Kupfer in den Boden gelangen. Zink könnte bspw. durch Edelmetalle ersetzt werden, dies ist jedoch zu kostspielig. Um der Zersetzung entgegen zu wirken, wird im Vorfeld der Erbauung über Bodengutachten geprüft, wie sauer der Boden ist. In Italien sind UVP unumgänglich. Anzumerken ist, dass Unfallszenarien bei fossilen Energieträgern deutlich kritischer ausfallen.

Damit Wasser und Boden nicht kontaminiert werden, ist besonders eine sorgfältige Entsorgung von Bedeutung. So sollten die Module nicht achtlos irgendwo abgelegt, sondern adäquat entsorgt bzw. besser noch recycelt werden.

Im Vergleich zum Strommix (u.a. Atomstrom) wird das Umweltgut Boden durch die PV-Technologie am stärksten entlastet, da bspw. die Lagerung von Atommüll vermieden wird.

► Biomasse

Die Hypothese, dass es durch den Anbau von Biomasse zu Schadstoffverdichtungen, Eutrophierung, Belastungen durch Pflanzenschutzmittel und Verschmutzungen durch Gülleabfuhr kommen kann, kann von einigen Experten so nicht bestätigt werden, da hinsichtlich der Art der Biomasse, wie bereits dargestellt, differenziert werden muss. Altholz als Biomasse ist hinsichtlich der Effekte auf Boden und Wasser unkritisch im Vergleich zu Kurzumtriebsplantagen. Andere Experten halten die Hypothese für korrekt – allerdings beziehe sich das Problem nicht allein auf den Anbau von Biomasse. Vielmehr sind die negativen Effekte auf Wasser und Boden Begleiterscheinungen einer Intensivierung der Landwirtschaft. Trotz der negativen Einschätzung einiger Experten hinsichtlich der Effekte auf Wasser und Boden der Kurzumtriebsplantagen, sehen andere Experten auch positive Aspekte, dadurch dass schnell wachsende Hölzer an Gewässerstrandstreifen angepflanzt werden können und dadurch dafür sorgen, dass weniger Gülle etc. von der Landwirtschaft in Gewässer geraten. Dieser Aspekt spielt momentan zwar eine geringe Rolle, wäre aber eine Option für die Zukunft.

Als negativ – explizit hinsichtlich der Effekte auf den Boden – werten einige Experten die Tatsache, dass beim Anbau der Biomasse eine viel höhere Flächenverteilung vorliegt als bspw. beim Abbau von Kohle. Generell ist diesbezüglich eine abschließende Bewertung allerdings schwierig, da die in Deutschland benötigte Kohle auch im Ausland abgebaut wird (und dort eventuell andere Umweltstandards gelten). Biomasse zur Stromerzeugung in Deutschland wird hingegen nur hier angebaut. Die Biomasseproduktion kann zum lokalen Problem werden, wenn Regionen viehstark sind und gleichzeitig Biomasse angebaut werden soll. Dann liegt eine Konkurrenzsituation zwischen Vieh und Pflanzen vor. Im Bereich der Stromproduktion aus Holz kann es auch zu Konkurrenzsituation kommen, doch in diesem Fall werden eher Holzkraftwerke abgeschaltet.

Artenvielfalt und Landschaft

► Windenergie

Landschaft: Windenergieanlagen haben aufgrund der starken Wahrnehmbarkeit negative Auswirkungen auf die Landschaft. Die Landschaft kann als das am stärksten belastete Umweltgut im Bereich der Windenergie bezeichnet werden – auch wenn nicht jedes Landschaftsbild durch die Errichtung von Windenergieanlagen negativ beeinflusst wird.

Artenvielfalt: Die Artenvielfalt ist von Windenergieanlagen nicht direkt betroffen, da durch den Bau von Windenergieanlagen keine Arten verschwinden. Dies kann bspw. beim Anbau von Biomasse der Fall sein, wenn Tier- und Pflanzenarten, die auf Grünlandflächen heimisch waren durch den Anbau von Mais verdrängt werden. Die Frage ist jedoch, wie negativ dieser Effekt im Vergleich zur Verdrängung von Arten durch den Tagebau ausfällt. Die Windenergie-technologie bringt einen indirekten positiven Effekt mit sich:

Durch den Einsatz von Windenergie anstelle von fossilen Energieträgern wird das Klima positiv beeinflusst, was wiederum einen positiven Effekt auf die Artenvielfalt haben kann.

► Photovoltaikanlagen

Die Experten sehen nicht unbedingt Probleme bei der großflächigen Nutzung von Freiflächen. Allerdings kommt es auf den Standort der PV-Anlagen an. Wenn sie bspw. auf Brachflächen errichtet werden, wird Gras gesät, was allein für die Tierwelt positive Effekte haben kann. Durch die Errichtung von PV-Anlagen ist die Biodiversität nicht bedroht. Allenfalls wird sich eventuell die Bepflanzung ändern. Außerdem gibt es Vorgaben wie bspw. Schlitzlöcher in den Umzäunungen der Anlagen, damit kleine Tiere sich ungehindert in ihrem Territorium bewegen können. Problematisch wäre, wenn Biotope vernichtet würden. Dies ist jedoch unwahrscheinlich, da der Errichtung von PV-Anlagen ein Genehmigungsverfahren zugrunde liegt und ökologische Faktoren berücksichtigt werden.

► Biomasse

Die Hypothese „die Umwandlung von natürlichem Grasland und Wäldern in Ackerfläche kann negative Effekte auf Artenvielfalt und Landschaft haben, es können aber auch Synergien entstehen“ wird von den Experten als korrekt bewertet. Synergien können entstehen, wenn Fruchtfolgen erweitert werden oder Agroforst eingeführt wird (Acker/Wald). Generell existiert ein indirekter positiver Effekt, da die fossilen Energieträger das Klima schädigen und hierdurch Land-

schaft und Artenvielfalt negativ beeinflusst werden können. Generell kann festgestellt werden, dass mit einer Intensivierung der Landwirtschaft immer ein Artenverlust einhergehen kann. Als Beispiel dient der Holzanbau. Da vornehmlich bestimmte Hölzer gezüchtet werden, besteht die Gefahr, dass andere Arten verdrängt werden. Positiv zu werten ist allerdings bspw. die Blühstreifeneinführung.

Gesundheit – Schadstoffe

- ▶ Windenergie

Die Umweltwirkung der Windenergie ist neutral.

- ▶ Photovoltaik

PV-Module setzen weder bei der Herstellung noch am Ende der Nutzungsdauer Schadstoffe frei. Vorausgesetzt man behandelt PV-Module nicht isothermisch oder mit Säure, um an das enthaltene Kupfer zu kommen. Es handelt sich bei PV-Modulen um witterungsbeständige Stoffe, weswegen es generell nicht empfehlenswert ist, diese einfach zu zerlegen – auch wenn keine Schadstoffe freigesetzt werden. Als besonders kritisch zu werten wären bspw. Cadmium und Tellurid. Zellen, die diese beiden Stoffe nicht enthalten, sind eher unbedenklich.

- ▶ Biomasse

Schadstoffe werden, ähnlich wie beim Transport von Kohle zum Kohlekraftwerk, durch den Transport vom Erzeugungs- bis zum Verwendungsort erzeugt. Im Gegensatz zu Atomkraft kann die Verwendung von Biomasse sicherlich als besser bewertet werden. Generell zeigen Untersuchungen jedoch, dass die Belastungen auf die menschliche Gesundheit nicht besser oder schlechter als beim Strommix sind. Ausschließlich positiv zu werten ist jedoch die „Abfallverwertung“, da bspw. das Altholz vor einigen Jahren kompostiert wurde. Der Vorgang stößt mehr Schadstoffe aus als die Vergärung von Biomasse, da es sich bei letzterer um einen geschlossenen Prozess handelt.

Gesundheit – Lärm

- ▶ Windenergie

Die Lärmbelästigung ist hoch, jedoch müssen bei Errichtung Lärmschutzabstände eingehalten werden. Werden diese eingehalten, haben Windenergieanlagen keine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch Lärmemissionen. Häufig wird auch über Infraschall diskutiert. Dazu kann angemerkt werden, dass zahlreiche Infraschallmessungen vorliegen, die belegen, dass die Geräuschemissionen bei neuen Anlagen unterhalb der menschlichen Hörschwelle liegen und keinen Einfluss auf die Gesundheit haben.

Hinsichtlich des Punktes Gesundheit wird auch oftmals über Belästigungen der Anwohner durch Windratschatten diskutiert. Diese Belästigungen bestehen jedoch nicht, da beim Bau der Windenergieanlagen darauf geachtet wird, dass die Anwohner nicht zu sehr von den Schatten gestört werden. An den Anlagen werden Messstationen installiert, die überprüfen, wie viele Stunden im Jahr die Anwohner von dem Schatten der drehenden Flügel „betroffen“ sind. Liegt der Messwert bei mehr als 30 Stunden im Jahr, werden die Anlagen automatisch abgestellt.

- ▶ Photovoltaik

Da PV-Anlagen keine Geräusche emittieren, sind die Umweltwirkungen auf die menschliche Gesundheit im Hinblick auf Lärm deutlich positiv.

- ▶ Biomasse

Als negativ im Hinblick auf die Geräusentwicklung ist der Transport von Biomasse zu werten. Diese findet häufiger als bei fossilen Energieträgern statt und insbesondere in ländlichen Gebieten kann dies als belästigend empfunden werden.

Natürliche Ressourcen

- ▶ Photovoltaik

Heutzutage kann man Module nicht mehr uneingeschränkt auf naturnahen Freiflächen errichten. Konversionsflächen sind anders zu bewerten. Sollen auf diesen Freiflächenanlagen errichtet werden, müssen Gutachten erstellt und die Errichtung bewilligt werden. Flächenkonkurrenzsituationen können in der Landwirtschaft auftreten, bspw. wenn ein Landwirt zwischen der Errichtung einer PV-Anlage oder der landwirtschaftliche Nutzung seiner Äcker abwägt. Für Dachanlagen existiert keine Flächenkonkurrenzsituation.

- ▶ Windenergie

Die Umweltwirkung der Windenergie auf die natürlichen Ressourcen ist neutral.

- ▶ Biomasse

Es kann eine Flächenkonkurrenz entstehen (z.B. Kurzumtriebsplantagen vs. Brachland oder Grünland). Der Effekt ist negativ, da natürliche Ressourcen in viel stärkerem Maße beansprucht werden. Die natürlichen Ressourcen sind das Umweltgut, das am stärksten durch den Biomasseanbau belastet wird.

Rohstoffe

- ▶ Windenergie

Zur Herstellung einiger Komponenten der Windenergieanlagen werden Seltene Erden verwendet. Dies Problem ist jedoch nicht windenergiespezifisch. Eine große Rolle spielt bei der Windenergie das Recycling. Gegenwärtig werden Altanlagen in Deutschland ab- und nach Verkauf im Ausland wieder aufgebaut. Stahltürme werden aufgrund der hohen Stahlpreise ebenfalls recycelt. Somit besteht kein Abfallproblem und die Rohstoffe werden weitestgehend wiederverwertet. Eine Ausnahme bilden die Betonfundamente, auf denen die neueren Anlagen gebaut werden. Der Beton kann nach Abbau der Anlage nicht wiederverwertet werden und wird entsorgt. Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass im Bereich der Windenergietechnologie das Schutzgut Rohstoff am stärksten entlastet wird.

► Photovoltaik

Die PV Industrie hat sich generell schon sehr früh mit dem Thema Recycling auseinandergesetzt.⁵⁹ In Deutschland dominieren gegenwärtig noch Siliziummodule die PV-Anlagen. Die Siliziumvorkommen auf der Erde sind reichlich, weitere Rohstoffe werden nur in geringen Mengen benötigt. Noch weniger rohstoffintensiv sind Dünnschichtmodule, da man rund 1/100 der Menge braucht, die für Siliziummodule verwendet werden. Dafür sind die Materialien teurer. Zusammengefasst handelt es sich bei Dünnschichtmodulen um eine preisgünstigere Variante. Generell wird im Bereich der PV-Technologien kein Rohstoffengpass (zumindest bei der gegenwärtigen Nachfrage) erwartet. Insbesondere die Stoffe, die für Dünnschichtmodule verwendet werden, sind gegenwärtig noch ausreichend vorhanden. Sollte die Nachfrage nach bspw. CIS-Solarzellen steigen (was weltweit gesehen sehr wahrscheinlich ist), die das sehr seltene Indium enthalten, wird es in diesem Bereich zukünftig vermutlich zu Rohstoffengpässen kommen. Um die einzelnen Bestandteile der PV-Module zu gewinnen, werden Schäume eingesetzt, die die Bestandteile trennen. Bestimmte Partikel setzen sich dann auf dem Schaum ab und können isoliert von den anderen (abgesunkenen) Partikeln eingesammelt werden. Ein Verkauf der Altanlagen, wie es bspw. in der Windindustrie unternommen wird, ist nicht sinnvoll. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass in den letzten Jahren ein Verfall der Modulpreise stattgefunden hat, der Wirkungsgrad sich jedoch lediglich marginal von zehn auf 14% erhöht hat.

Auch wenn gegenwärtig noch keine Rohstoffengpässe bestehen, wird das Umweltgut Rohstoffe am stärksten durch die PV-Technologie entlastet.

► Biomasse

Sehr positiv ist, dass die abiotischen Rohstoffe stark entlastet werden.

Speichertechnologien

Auch hinsichtlich der Speichertechnologien sollte von den Experten als Referenztechnologie die heute eingesetzte Technologie definiert werden. Im Gegensatz zu den Alternativen-Antriebs-Technologien bzw. der Erneuerbare-Energien-Technologien war dies etwas schwieriger. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zurzeit noch keine Speicherung von Energie in großem Umfang durchgeführt wird – wenn man von Pumpwasserkraftwerken absieht, deren Ausbaupotenzial in Deutschland jedoch erreicht ist. Aus diesem Grund wurde als Referenztechnologie „kein Speicher“ bzw. das herkömmliche Stromnetz, was aufgrund mangelnder Speicherkapazität mit „kein Speicher“ gleichgesetzt werden kann, definiert.

Einige Experten sehen in Speichern ein großes Potenzial, um den Energiewandel erfolgreich zu meistern. Allerdings wird die Nutzung von Speichern zur Energiespeicherung erst als drittbeste Maßnahme eingeschätzt, die hinter den Maßnahmen „Erzeuge Strom, wenn du ihn benötigst“ (steuerbare Erzeugung) und „verbrauche Strom, wenn er erzeugt wird“ (steuerbarer Verbrauch) zurück steht. Allerdings sind die ersten beiden Maßnahmen auch beim aktuellen Strommix schon nicht möglich. In Zukunft wird man sich vermutlich noch weiter von den Maßnahmen entfernen, da der Strom aus erneuerbaren Energien zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedlich stark erzeugt wird – unabhängig vom Bedarf. Hierdurch rückt die dritte Maßnahme – die Speicherung des Stroms – in den Vordergrund. Nach Einschätzung einiger Experten könnte der gegenwärtig häufig diskutierte notwendige Netzausbau durch die Implementierung von Speichern deutlich geringer ausfallen als momentan geschätzt. Hinsichtlich einer saisonalen, also langfristigen Speicherung von Strom aus EE muss einschränkend erwähnt werden, dass von den in dieser Studie untersuchten Speichern nur Redox-Flow-Batterien bzw. die Wasserstoffspeicherung für eine Elektrolyse-Wasserstoff-Brennstoffzelle (EWB) hierfür infrage kommt. Die anderen hier betrachteten elektro-chemischen Speicher eignen sich nur als kurzfristige Stromspeicher.

Klima

Die Speichertechnologien ermöglichen die Speicherung von emissionsfrei erzeugtem Strom, der Strom aus fossilen Energieträgern ersetzt und damit zu einer Reduzierung der THG Emissionen beiträgt. Aus diesem Grund ist der Entlas-

⁵⁹Siehe hierzu auch PVCycle – ein Zusammenschluss von Unternehmen aus der PV Industrie (<http://www.pvcycle.org/de/>).

tungseffekt der Speichertechnologien für das Klima am stärksten. Allerdings gilt dies nur für den Fall, dass Strom aus regenerativen Energiequellen in den Speichern gespeichert wird. Bei einer Speicherung von Strom aus fossilen Energieträgern kann der Effekt sogar negativ sein.

Energie

Bei elektrochemischen Speichern haben insbesondere die Batterien allgemein hohe Wirkungsgrade, wobei jener der Redox-Flow-Batterie mit rund 70 % eher gering ausfällt. Alle anderen Batterien haben Wirkungsgrade von mehr als 90%, wobei die Natrium-Nickel-Chlorid-Batterie hohe Stand-by Verluste zu verzeichnet hat. Die Speichertechnologie Elektrolyse-Wasserstoff-Brennstoffzelle (EWB) hat einen niedrigen Wirkungsgrad von 40%. Pumpspeicher im Vergleich dazu haben einen Wirkungsgrad von 80%. Falls der Wasserstoff gasförmig genutzt wird, handelt es sich um einen sehr guten Energiespeicher.

Luft, Wasser und Boden

Zusammenzufassen ist, dass bei der Herstellung und auch bei der Entsorgung der Speicher sorgfältig gehandelt werden sollte. Die Speicher enthalten chemische Stoffe, die mitunter durch die Übertragung größerer Mengen über Wasser und Boden negativ auf die menschliche Gesundheit wirken können (Nickel ist bspw. hochgiftig). Bei der Nutzung besteht eine Gefahr nur im Fehlerfall. Generell schneiden Speichertechnologien bei einem Vergleich mit dem Strommix und den Risiken, die für Wasser und Boden damit einhergehen (z.B. Atomkraft), besser ab. Darüber hinaus ist die Gefährdung von Luft, Wasser und Boden durch die toxischen Stoffe abhängig von dem Umgang mit den Stoffen. Als Beispiel wird die Goldgewinnung angeführt. Diese ist sehr umweltintensiv, da Gold durch Quecksilber gewonnen wird. Boden und Wasser können kontaminiert werden, wenn bestimmte Richtlinien nicht eingehalten werden. Die Goldgewinnung im Rhein ist aber bspw. ein Paradebeispiel, wie „sauber“ die Goldgewinnung ablaufen kann („grünes Gold“). Es kann herausgestellt werden, dass auch innerhalb der einzelnen Speichertechnologien permanent umweltschonendere und wirtschaftlichere Alternativen erforscht werden. Problematisch ist zurzeit noch der Abbau von den Rohstoffen wie Kobalt, Lithium, Kupfer, Nickel, Mangan u.a., die Bestandteile der Speicher sind. Aufgrund häufig fehlender Umweltstandards in den Abbauländern (häufig in Entwicklungsländern) bestehen unzweifelhaft ökologische Probleme in den jeweiligen Ländern. Das Ausmaß kann von den Experten jedoch nicht abgeschätzt werden. Trotz aller Umweltauflagen, die mit der Herstellung, Entsorgung und dem Rohstoffabbau (wenn auch nicht in allen Ländern vorhanden) verbunden sind, werden Wasser und Boden von einigen Experten als das durch die Speichertechnologien am stärksten belastete Umweltgut angesehen.

► EWB

Die Nutzung von Platingruppenmetallen hat negative Wirkungen auf Wasser und Boden im Herstellerland. Darüber hinaus können potenzielle Belastungen für Grundwasser und Boden aus der Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen resultieren. Vor der Nutzung werden diese ausgesohlt, was eine Belastung für die beiden Umweltgüter sein kann.

- ▶ Redox-Flow

Beim Bau der Anlagen müssen aufgrund der verwendeten möglicherweise toxischen Stoffe Sicherheitsvorkehrungen beachtet werden. Sowohl bei Herstellung, als auch bei Entsorgung können toxische Stoffe (z.B. verdünnte Schwefelsäure, Radium) in die Umgebung abgegeben werden. Des Weiteren gibt es bei dieser Technologie das Risiko, dass die Chemikalien, die aus 2 Tanks in der Austauschmembran zusammengeführt werden, austreten können, da es nicht ein in sich geschlossenes System ist. Die Fehlerwahrscheinlichkeit ist jedoch sehr gering.

- ▶ Natrium-Schwefel / Natrium-Nickel-Chlorid / Lithium-Ionen

Es existieren in den Speichern Bestandteile, die toxisch sind, allerdings ist es sehr unwahrscheinlich, dass diese austreten. Problematisch ist bei den Speichern, die bspw. Natrium enthalten, die große Brandgefahr im Fehlerfall. Allerdings werden permanent Forschungsanstrengungen unternommen, um die Speicher immer sicherer zu machen.

Lithium-Ionen Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) und Lithium-Eisen-Phosphat sind zwei Alternativen, die kein Nickel, also keine Giftstoffe, enthalten und deren Produktion darüber hinaus kostengünstig ist.

Zu den Wirkungen siehe auch Rohstoffabbau bei Antrieben.

Artenvielfalt und Landschaft

Die Speicher haben den Vorteil, dass sie dezentral errichtet werden und daher im Großen und Ganzen keine Auswirkungen auf die Landschaft zu verzeichnen sind. Indirekt wird allerdings durch die geringere Notwendigkeit eines umfassenden Netzausbaus die Landschaft weniger zerschnitten. Im Vergleich zu Pumpspeicherkraftwerken und Druckluftspeichern entstehen praktisch keine direkten Eingriffe in Natur und Landschaft. Hinzu kommt, dass durch dezentrale Speichermöglichkeiten Hochspannungsleitungen in einigen Fällen sogar vermieden werden können. Allerdings gehen mit dem Ausbau der Speicher indirekte Effekte einher, die mitunter negative Auswirkungen auf Artenvielfalt und Landschaft haben können. Da durch den Ausbau der Speicher und dem Bestreben, in diesen erneuerbare Energien zu speichern, diese gefördert werden, gelten die Argumente, die von den Experten im Bereich der erneuerbaren Energien vorgebracht wurden. So kann eine verstärkte Errichtung von Windkraftanlagen bspw. zu einer wachsenden Belästigung für die Vogelwelt führen.

Gesundheit – Schadstoffe

Die Aspekte, die bei den Umweltgütern Luft, Wasser und Boden aufgeführt wurden, können hier übernommen werden, da die toxischen Stoffe die menschliche Gesundheit gefährden können. Bekannt sind bspw. Brände von iPhones und einem Elektrotaxi, die jeweils Lithium-Ionen-Speicher enthielten.

Gesundheit – Lärm

Kompressoren und Pumpen im Keller machen kaum Lärm.

Natürliche Ressourcen

Es ergibt sich keine Wirkung auf natürliche Ressourcen.

Rohstoffe

Zur Herstellung der Speichertechnologien werden Metalle verwendet, die zu den Seltenen Erden gehören. Aufgrund des begrenzten Vorkommens auf der Erde, wird dies von einem Großteil der Experten als kritisch betrachtet. Auch andere Rohstoffe, die in den Speichern verwendet werden, haben mitunter ein begrenztes Vorkommen. Zu nennen wäre diesbezüglich bspw. Lithium. Allerdings schätzen andere Experten das Vorkommen als weniger knapp ein. Die Nachfrage nach bestimmten Rohstoffen für die Speicher wird sich in den kommenden Jahren aber sicherlich noch ändern, da in den letzten Jahren verstärkt Forschungsanstrengungen zu beobachten sind, die darauf abzielen teure und umweltschädliche Rohstoffe durch günstigere und umweltfreundlichere Rohstoffe zu ersetzen. Beispiel: Lithium-Kobalt-Nickel-Mangan-Zellen haben neuerdings häufig Lithiumsulfat anstelle von Nickel als Bestandteil.

- ▶ EWB:

Platin ist ein recht teurer Rohstoff, weswegen heutzutage auch vermehrt andere Rohstoffe in der Brennstoffzelle eingesetzt werden. Je nach verwendeter Technologie werden verschiedene Materialien eingesetzt. Das Problem mit Platin würde verringert, wenn Platin verstärkt recycelt werden würde. Dies ist technisch bereits möglich, lohnt sich jedoch noch nicht. Die Experten vermuten, dass bei einer Zunahme der Brennstoffzellenfahrzeuge im Straßenverkehr gesetzliche Regelungen zum Recycling getroffen werden.

- ▶ Redox-Flow:

Redox-Flow-Batterien enthalten keine Rohstoffe, die nur sehr limitiert auf der Erde enthalten sind. Palladium ist bspw. ein wichtiger Bestandteil, welcher häufig auftritt.

- ▶ Natrium-Schwefel:

Natrium ist ausreichend vorhanden und günstig, ca. 1 USD/kg. Das Vorkommen von Schwefel und Aluminiumoxid – zwei weitere wichtige Bestandteile – ist ebenfalls nicht als kritisch zu betrachten.

- ▶ Natrium-Nickel-Chlorid:

Nickel ist knapp und teuer, ca. 400 USD/kg

- ▶ Lithium-Ionen:

Lithium ist knapp aber nicht so knapp wie Nickel oder Kobalt. Allerdings unterscheiden sich dabei die Aussagen der Experten hinsichtlich der Knappheit. Die bereits unter der EWB aufgeführte Platin-Problematik gilt auch für Lithium-Ionen-Speicher.

Effizienztechniken in der Industrie

Der Submarkt „Effizienztechniken in der Industrie“ wurde aus zwei Perspektiven betrachtet: es wurden Experten zum einen zu den Umweltwirkungen von Effizienztechniken im Sektor Metallerzeugung (Eisen- und Nichteisen-Metallerzeugung) und zum anderen zu den Umweltwirkungen von Querschnittstechnologien (speziell Kältetechnik und Wärmeerzeugung) befragt.

Die Referenztechnologien bei der Betrachtung der Effizienztechniken im Sektor Metallerzeugung (Fe- und NE-Metallerzeugung) sind die „klassischen“ Produktionsverfahren, wobei dazu von den Experten betont wurde, dass der letzte große Innovationsschub von Effizienztechnologien mit großem Einsparpotenzial insbesondere in der Stahlerzeugung auf die 1980er Jahre zurückgeht. Aktuell werden in Deutschland i.d.R. bei diesen Produktionsverfahren schon recht verbreitet effiziente Gießmaschinen, Erwärmungs- und Warmhaltenanlagen, Abwärmenutzungsanlagen usw. eingesetzt. Im Bereich Metallerzeugung wird sowohl Primärerzeugung als auch Sekundärproduktion betrieben. Für Eisen-Metalle (Stahlproduktion) erfolgt die Primärerzeugung im Hochofen, wohingegen bei der Sekundärproduktion Schrott im Elektroofen zu Stahl verarbeitet wird. Für NE-Metalle spielen in Deutschland hauptsächlich die Technologien zur Primär- (Elektrolyse, Laugungsverfahren) und Sekundärproduktion (Schmelzverfahren) von Aluminium und Kupfer eine Rolle. Ein paar neuere Effizienzmaßnahmen („Break-through“-Technologien) existieren aktuell bei der Stahlerzeugung, allerdings handelt es sich nach Einschätzung der Experten eher um kleinere Innovationen, die keinen großen „Schub“ im Einsparpotenzial bewirken werden. In der NE-Metallindustrie sind dagegen die Einsparpotenziale, die gegenwärtig durch neue Technologien erreicht werden können, laut Aussage der Experten größer.

Die Referenztechnologien bei der Betrachtung der Querschnittstechnologien (speziell Kältetechnik und Wärmeerzeugung) ist „kein Einsatz“, d.h. eine „klassische“ Erzeugung von Kälte oder Wärme durch Prozesse, die separat vom restlichen Produktionszyklus erfolgen. Durch Querschnittstechnologien können diese verschiedenen Netzwerke der Industrie im Gegenteil sinnvoll zusammengebracht werden, indem z.B. die Abwärme eines Produktionsprozesses zur Erwärmung von Räumen oder für weiter benötigte Prozesswärme genutzt wird. Aktuell sind diese „neuen“ Querschnittstechnologien in der Industrie vorhanden und bieten nach Einschätzung der Experten große Einsparpotenziale, die allerdings noch nicht ausgeschöpft werden. Der Hauptgrund dafür ist, dass Unternehmen oftmals nur die hohen Investitionskosten in solche neuen Querschnittstechnologien betrachten, ohne die Einsparungen im Sinne von Effizienzvorteilen zu berücksichtigen.

sichtigen. Eine wichtige Empfehlung der Experten in dieser Hinsicht ist, dass die langfristigen Vorteile solcher Technologien im Sinne von Lebenszykluskosten weiter betont und beworben werden müssen. Es wurde die Befürchtung ausgesprochen, dass ansonsten die positiven Bemühungen hin zum Einsatz von Querschnittstechnologien nachlassen, sobald der Kostendruck auf die Unternehmen nachlässt.

Der Einsatz von Effizienztechniken in der Industrie ermöglicht laut Aussage der Experten hauptsächlich eine Entlastung für Klima und Energie. Soweit relevant, gehen die Experten im Folgenden genauer auf Unterschiede in den Umweltwirkungen je nach Technologielinie ein.

Klima

Die Experten sehen generell durch den Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung eine Klimaentlastung. Die Klimawirkung der Effizienztechniken in der Metallerzeugung ist im Wesentlichen abhängig von der Emissionsintensität der Energieträger. Primärproduktion von Stahl erfordert fossile Energieträger durch die Emissionen entstehen: in den letzten Jahren haben sich europäische Unternehmen und Organisationen in einer Initiative zusammengeschlossen, „ULCOS“ (Ultra-Low Carbon Dioxide Steelmaking), um Lösungswege zur Reduzierung des Kohlendioxid-Ausstoßes gegenüber den gegenwärtigen Technologien zur Primärerzeugung von Stahl zu erforschen und umzusetzen. Die Primärproduktion von NE-Metallen, z.B. Aluminium, braucht hingegen weniger fossile Rohstoffe, dafür sehr viel Strom. Ein Weg, diese Emissionen zu reduzieren, ist der Einsatz erneuerbarer Energien, allerdings erscheint dies laut Aussage der Experten unter den aktuellen Voraussetzungen am Strommarkt vor allem aus Kostengründen nicht möglich. Durch mehr Sekundärproduktion von Stahl und von NE-Metallen gehen die Emissionen zurück.

Durch den Einsatz von Querschnittstechnologien ergibt sich laut Aussage der Experten ein enormes Potenzial zur Klimaentlastung. Gerade in der Kältetechnik, in der aktuell noch viele klimaschädliche Kältemittel eingesetzt werden, können Prozesse durch effiziente Querschnittstechnologien im Hinblick auf Treibhausgasemissionen wesentlich verbessert werden.

Energie

Durch den Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung ergeben sich Einsparpotenziale von Energie. Besonders die Verfahren zur Sekundärproduktion von Stahl und NE-Metallen bieten Möglichkeiten, Energie einzusparen, da die sehr energieintensiven Produktionsschritte im Hochofen (Stahl), der Elektrolyse (Aluminium) und weiterer Laugungsverfahren (weitere NE-Metalle) eingespart werden. Bei der Sekundärproduktion wird mit Metall-Schrott gearbeitet, in dem schon viel Energie „enthalten“ ist. Bei der Primärerzeugung ist hingegen das Energieeinsparpotenzial laut Aussage der Experten aktuell geringer, hauptsächlich könnte Energie durch den Einsatz von erneuerbaren Energien eingespart werden, der weniger klimaschädliche Emissionen zur Folge hat. Dies wird aktuell allerdings nur in Einzelfällen gemacht (siehe auch Ausführungen unter „Klima“).

Die Experten sehen durch den Einsatz von Querschnittstechnologien große Potenziale in der Energieeinsparung, auch wenn diese aktuell nicht ausgeschöpft werden. Durch den Ersatz von „Standardkessel“ durch Blockheizkraftwerke können Synergien zwischen der Erzeugung von Wärme und von Strom viel besser ausgenutzt werden. Dieses „vernetzte“ Denken, z.B. auch zwischen Kälte- und Wärmeerzeugung (Wärme senken und Wärme nutzen) ist allerdings laut Aussage der Experten leider im industriellen Bereich noch zu oft projektbezogen und nicht verbreitet umgesetzt.

Luft

Beim Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung ergeben sich laut Aussage der Experten in Deutschland keine nennenswerten Veränderungen bezüglich Umweltwirkungen auf die Luft, lediglich indirekt ist eine leichte Entlastung der Luft aufgrund der Energieeinsparung zu vermuten. In Produktionsprozessen müssen hinsichtlich der Schadstoffausstöße strenge Grenzwerte eingehalten werden.

Nach Einschätzung der Experten sinken durch den Einsatz von Querschnittstechnologien auch weitere Ausstöße in die Luft. Dies gilt insbesondere bei Querschnittstechnologien zur Wärmeerzeugung, da weniger Laufleistung durch „klassische“ Wärmeerzeuger notwendig ist.

Wasser und Boden

Beim Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung ergeben sich laut Aussage der Experten in Deutschland keine nennenswerten Veränderungen bezüglich der Umweltwirkungen auf Wasser und Boden. In Produktionsprozessen müssen hinsichtlich der Schadstoffausstöße strenge Grenzwerte eingehalten werden.

Der Einsatz von Querschnittstechnologien verursacht Umweltwirkungen auf Wasser, insbesondere Gewässer, da z.B. Kühlwasser größeren Flüssen entnommen und Abwärme diesen wieder zugeführt wird. Aktuell scheinen diese Umweltwirkungen laut Aussage der Experten nicht besonders schädlich zu sein, da dies reglementiert wird (Abwärme von Kältemaschinen darf z.B. 26°C nicht überschreiten, wenn sie einem Gewässer zugeführt wird). Nach Einschätzung der Experten würde die Versenkung von Abwärme in Boden, Gewässer und Grundwasser nur bei massiver Nutzung zur lokalen Belastung dieser Umweltgüter führen.

Artenvielfalt und Landschaft

Beim Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung ergeben sich laut Aussage der Experten in Deutschland keine nennenswerten Veränderungen bezüglich der Umweltwirkungen auf Artenvielfalt und Landschaft. Selbst wenn z.B. in einem Stahlwerk eine effizientere Anlage installiert wird, bleibt das eigentliche Stahlwerk am gleichen Ort stehen, so dass durch den Einsatz der Effizienztechnik keine relevante Umweltbelastung oder –Entlastung erfolgt.

Für Artenvielfalt und Landschaft ergeben sich nach Aussage der Experten keine relevanten Umweltwirkungen durch den Einsatz von Querschnittstechnologien.

Gesundheit

Beim Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung ergeben sich laut Aussage der Experten in Deutschland keine nennenswerten Veränderungen bezüglich der Wirkungen auf die Gesundheit. Eventuelle Schadstoffausstöße der Produktionsprozesse dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

Durch den Einsatz von Querschnittstechnologien ergeben sich laut Aussage der Experten in Deutschland nur positive Veränderungen bezüglich der Wirkungen auf die Gesundheit, da weniger Schadstoffe aufgrund reduzierter „klassischer“ Wärmeproduktion ausgestoßen werden. Auch die Belastung der Mitarbeiter durch Wärme am Arbeitsplatz sinkt durch den Einsatz von Querschnittstechnologien, da letztere durch Kapselung weniger Abwärme nach außen abgeben als „klassische“ Prozesse zur Erzeugung von Kälte oder Wärme. Eine nennenswerte Wirkung auf die Gesundheit durch Lärm sehen die Experten hierbei nicht.

Natürliche Ressourcen und Rohstoffe

Eventuelle Umweltwirkungen ergeben sich beim Einsatz von Effizienztechniken in der Metallerzeugung durch den Ersatz von fossilen Energieträgern z.B. durch Biomasse bei der Primärstahlerzeugung. Dies geschieht allerdings laut Aussage der Experten nur in einem sehr begrenzten Rahmen und wird nicht massiv verfolgt. Für die Elektrostahlerzeugung (Sekundärstahlerzeugung) sowie für die Erzeugung von NE-Metallen wird viel Strom benötigt, weshalb der Einsatz von erneuerbarem Strom eine Umweltentlastung zur Folge hätte. Wie schon bei den Abschnitten zu „Klima“ und „Energie“ betonen die Experten hier auch, dass dies allerdings momentan aus Kostengründen größtenteils nicht umgesetzt wird.

Durch den Einsatz von Querschnittstechnologien wird Energie eingespart, so dass indirekt weniger fossile Rohstoffe benötigt werden. Weitere Wirkungen sehen die Experten allerdings für natürliche Ressourcen und Rohstoffe nicht.

Energetische Sanierung von Gebäuden

Die Referenztechnologie bei der Betrachtung des Submarkts „Energieeffizienz von Gebäuden“ ist „keine Sanierung“. Bei der Betrachtung der Aspekte zur Dämmung der Gebäudehülle werden neue Dämmungsmöglichkeiten der Gebäudehülle durch anorganische, organisch synthetische und organisch natürliche Dämmstoffe hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen mit der Dämmung von nicht-sanierten Gebäuden verglichen. Bei der Betrachtung der Aspekte zur Wärmeversorgung werden neue Technologien (z.B. Wärmepumpen) bezüglich ihrer Umweltwirkungen mit dem aktuellen „Standardkessel“ (Erdgas-Brennwert-Kessel) verglichen. Bei den Technologien der Gebäudeautomation werden die Umweltwirkungen ihres Einsatzes mit „keinem Einsatz“ verglichen.

Umwelteinflüsse im Gebäudebereich entstehen mehrheitlich in der Betriebsphase von Gebäuden, weniger in der Herstellungsphase. Die wichtigsten Umweltwirkungen der Technologien der energetischen Gebäudesanierung beziehen sich auf die Umweltgüter „Klima“ und „Energie“, da durch energetische Sanierung von Gebäuden vorwiegend CO₂-Emissionen reduziert und weniger Energie verbraucht werden. Diese Energieeinsparung ist wiederum mit den Emissionen verknüpft. Von den Experten wird geschätzt, dass durch energetische Sanierungen von Gebäuden Energieeinsparungen in Höhe von ca. 80 bis 90% erreichbar sind, was sich unmittelbar auch auf die Reduktion von CO₂-Emissionen auswirken würde.

Die Experten haben sich zuerst mit einer Einschätzung zum Effekt einer energetischen Gebäudesanierung allgemein auf jedes Umweltgut geäußert. Anschließend sind sie näher auf die zu erwartenden Umweltwirkungen einzelner Technologien der Dämmung, der Wärmeversorgung und, vereinzelt, der Gebäudeautomation eingegangen. Dabei ist zu betonen, dass die Umweltwirkungen von einzelnen Technologien zur energetischen Gebäudesanierung nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind: es gibt keine „Stand-alone“-Technologie in der energetischen Gebäudesanierung. Im Nachfolgenden werden zwar potenzielle Umweltwirkungen einzelner Technologien betrachtet, aber der Einsatz z.B. einer neuen Technologie zur Wärmeversorgung bedingt auch den Einsatz einer neuen Dämmung und einer neuen Heizungsanlage, die auf den Bedarf des sanierten Gebäudes abgestimmt sind, um eine höhere Effizienz im Sinne einer Reduktion von Emissionen, Energieeinsparungen und Verbesserungen des Raumklimas in der Betriebsphase des Gebäudes zu erreichen.

Klima

Bei sanierten Gebäuden ergibt sich eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber dem unsanierten Zustand, besonders aufgrund von Sanierungen des Wärmeschutzes und der Heizungstechnik.

Die Herstellung von Dämmstoffen verursacht unterschiedlich hohe Emissionen: die Herstellung von anorganischen und organisch synthetischen Dämmstoffen verursachen mehr CO₂-Emissionen als die Herstellung organisch natürlicher Dämmstoffe, die teilweise sogar CO₂-neutral ist. Betrachtet man aber die Emissionen der Herstellungsphase zusammen mit den Emissionen, die durch den Einsatz neuer Dämmstoffe (aller drei Typen) in der Betriebsphase des Gebäudes eingespart werden können, ergibt sich immer eine positive Umweltwirkung für das Klima im Vergleich zu einem nicht-sanierten Gebäude.

CO₂-Emissionen durch Wärmepumpentechnologie sind in der Regel niedriger als Emissionen durch konventionelle Boiler und Heizofenanlagen. Bei der Bewertung der Umweltwirkung der Wärmepumpentechnologie auf das Klima muss allerdings der Strommix berücksichtigt werden, der zur Betreibung notwendig ist: dieser ist im Winter, wenn Wärmepumpen eingesetzt werden, sehr klimaschädlich. Dabei ist zwischen Luft- und Erdreich-Wärmepumpen zu unterscheiden, da Luftwärmepumpen im Winter weniger effizient sind als Erdreichwärmepumpen. Sie verbrauchen mehr Strom, der im Winter durch die Zuschaltung der Kohlekraftwerke mehr CO₂-Emissionen verursacht. Gegenüber einem „Standardkessel“ ermöglichen demzufolge nur Erdreichwärmepumpen eine wirkliche Reduktion von CO₂-Emissionen.

Bei Wärmepumpen entstehen zudem Emissionen durch die Nutzung von Kühlmitteln. Zunehmend werden Ozon-schädigende Kühlmittel verboten und es gibt Bemühungen um Ersatzstoffe. Für die Herstellungskriterien von Wärmepumpen gibt es Eco-Labels, die besonders wichtig in Bezug auf die Kühlmittel sind. Durch den stark Label-orientierten Markt in Europa halten sich die Umweltwirkungen bei der Herstellung von Wärmepumpen in Grenzen. Eine Gefahr kommt allerdings vom asiatischen Markt, wo es keine vergleichbaren Labels gibt und nicht entsprechend kontrolliert werden kann, inwiefern klimaschädliche Chemikalien im Herstellungsprozess eingesetzt werden. Dies ist insbesondere beim Wachstum des Marktes angesichts der hohen Investitionskosten für Wärmepumpen und der Konkurrenz preiswerterer Produkte vom asiatischen Markt zu berücksichtigen.

Energie

Bei sanierten Gebäuden ergibt sich eine deutliche Einsparung des Energieverbrauchs gegenüber dem unsanierten Zustand, besonders bei der Beheizung, der Warmwasserbereitung, der Beleuchtung und der Raumlufttechnik-Anlagen.

Die Herstellung von Dämmstoffen benötigt unterschiedlich viel Energie. Organisch natürliche Dämmstoffe können besonders sparsam hergestellt werden, die Herstellung von anorganischen Dämmstoffen ist dagegen besonders energieaufwendig. Betrachtet man die Dämmeigenschaften, ist die Energieeinsparung in der Betriebsphase bei all den „neuen“ Dämmstofftypen im Vergleich zum unsanierten Zustand als positiv zu bewerten.

Die Gebäudeautomation ermöglicht u.a. die zentrale Steuerung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen, durch die nicht genutzte Komponenten abgeschaltet oder an die Licht- und Temperaturverhältnisse angepasst werden können. Die energieeinsparende Wirkung dieser Komponenten ist hoch.

Luft

Der Effekt auf die Luft betrifft den Herstellungsprozess von Dämmstoffen, bei dem unter Umständen Schadstoffe freigesetzt werden. Dämmstoffe werden nicht immer in Deutschland hergestellt, so dass es schwierig ist, eine Bewertung der Umweltwirkung für die Luft abzugeben. Werden die Dämmstoffe im Ausland angebaut (im Fall von natürlichen Dämmstoffen) oder produziert (im Fall von synthetischen Dämmstoffen), ist davon auszugehen, dass in diesen Ländern auch eine negative Umweltwirkung entsteht.

Wärmepumpensysteme weisen im Vergleich zu anderen konventionellen Heizsystemen einen relativ geringen Ausstoß von NMVOC, NO_x und Staub auf. Dies liegt auch daran, dass ab bestimmten Leistungen Filtersysteme notwendig sind.

Wasser und Boden

Bei der Herstellung von Dämmstoffen werden unter Umständen Gewässer und Böden verunreinigt. Dämmstoffe werden nicht immer in Deutschland hergestellt, so dass es schwierig ist, eine Bewertung der Umweltwirkung für Wasser und Boden abzugeben. Werden Dämmstoffe in Deutschland hergestellt, hält sich jedoch die Verunreinigung in Grenzen da die Vorschriften zur Entsorgung von Abfällen bei der Herstellung sehr streng sind und diese kontrolliert wird. Werden die Dämmstoffe in Länder produziert wo die Vorschriften zur Abfallentsorgung weniger streng sind, ist davon auszugehen, dass in diesen Ländern durch die Herstellung von Dämmstoffen eine negative Umweltwirkung entsteht.

Da für Grundwasser-Wärmepumpen strenge Genehmigungen erlangt werden müssen, ist in Deutschland die Gefahr von Unfällen oder Verunreinigungen von Grundwasser bei solchen Eingriffen in tiefe Erdschichten nicht sehr hoch. Allerdings sollte diese Gefahr beim Ausbau dieser Technologie weiterhin streng beachtet werden. Zudem sind bei Geothermie auch geologische Veränderungen denkbar. Durch die Wärmepumpen-Technologie wird Wärme dem Erdreich entzogen, was mikrobiologische Veränderungen verursacht und eine Begrenzung für die Verbreitung dieser Technologie darstellt, da zu viele Wärmepumpen auf engem Raum nicht funktionsfähig wären.

Landschaft

Energetische Gebäudesanierung bedeutet, dass der Gebäudebestand durch technische Aufwertung weiter benutzt und bewahrt wird, was unter Gesichtspunkten der nachhaltigen Stadtentwicklung ein positiver Effekt ist. Allerdings bleibt zu diskutieren, ob neue Ausstattung wie z.B. Solaranlagen auf Dächern immer eine ästhetische Aufwertung ist.

Gesundheit

Durch die energetische Sanierung von Gebäuden ergeben sich in der Regel ein höherer Raumkomfort sowie eine geringere Wahrnehmung der externen Lärmemissionen durch eine bessere Schalldämmung, was von den Experten gegenüber dem unsanierten Zustand als positiv für die Gesundheit bewertet wird.

Durch eine bessere Dämmung steigt die Innentemperatur der Wand und es entstehen weniger Wärmebrücken, so dass sich weniger Schimmel bilden kann. Zu einer neuen Dämmung muss allerdings auch ggf. eine passende Lüftungstechnik geplant werden und der Verbraucher sollte ausreichend informiert werden, damit er sein Lüftungsverhalten den neuen Gegebenheiten des sanierten Gebäudes anpassen kann. Bei einer fachgerechten Ausführung der Dämmung (keine Wärmebrücken) und einem guten Lüftungsverhalten ist das Schimmelpilzrisiko viel niedriger als in einem nicht-sanierten Gebäude.

Durch den Einbau von Schallschutzfenstern kann die Schalldämmung im Vergleich zum nicht-sanierten Gebäude wesentlich verbessert werden. Dies hängt ebenfalls vom Dämmstoff-Typ ab: bei Verwendung eines schweren Dämmstoffs wird die Schalldämmung verbessert, bei Verwendung eines leichten Dämmstoffs wird diese unter Umständen aber verschlechtert.

Natürliche Ressourcen und Rohstoffe

Energetische Sanierung ist auch sinnvoll, weil bereits genutzte Ressourcen neu verwendet werden können. Eine Sanierung ist im Umgang mit natürlichen Ressourcen und Rohstoffen sparsamer als ein Abriss mit anschließendem Neubau. Die Nutzungsdauer der verwendeten Baustoffe bei der Sanierung ist hier allerdings ausschlaggebend: je länger die Baustoffe genutzt werden können und nicht erneuert werden müssen, desto sparsamer ist der Umgang mit natürlichen Ressourcen und Rohstoffen bei der energetischen Gebäudesanierung zu bewerten. Ein weiterer Aspekt ist die Trennung von Baustoffen zum Recycling: Verbundbaustoffe werden aktuell soweit möglich vermieden, da die Recyclingmöglichkeiten für trennbare Baustoffe besser sind, so dass natürliche Ressourcen und Rohstoffe wiederbenutzt werden können.

Die Aspekte des Recycling sind bei Dämmstoffen besonders wichtig. Organisch natürliche und anorganische Dämmstoffe sind gut wiederverwendbar und recycelbar, so dass sich in der Regel durch die Herstellung und die Nutzung dieser Dämmstoffe kein negativer Effekt auf natürliche Ressourcen und Rohstoffe ergibt. Allerdings basiert die Herstellung organisch synthetischer Rohstoffe auf den Verbrauch fossiler Rohstoffe und diese sind auch nur bedingt recycelbar, so dass die Bewertung der Umweltwirkung der Dämmung hier von der Aufteilung der Nutzung zwischen den verschiedenen Dämmstoff-Typen abhängt.

Stoffliche Abfallverwertung

Die Experten wurden zunächst gebeten, die Referenztechnologie bei der Betrachtung des Submarkts „stoffliche Abfallverwertung“ zu definieren. Generell haben die Experten die Primärgewinnung (von Metallen) und die Primärherstellung (von Kunststoffen) als Referenztechnologie angegeben.

Bei der Bewertung möglicher Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung von Fe- und NE-Metallen haben die Experten möglichst versucht, zwischen der Verwertung von Eisen und Stahl, sowie von Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Aluminium zu unterscheiden. Eine weitere Unterscheidung wäre laut Aussage der Experten nach Teilsektoren (Recycling von Elektroschrott, Erzen oder seltenen Erden) empfehlenswert, denn die Verfahren und Umweltbelastungen seien insbesondere bei Metallen unterschiedlich, je nachdem ob man das Recycling von Elektroschrott oder Erzen, insbesondere auch von Seltenen Erden betrachtet. Allerdings liegen zu den Umweltwirkungen des Recyclings von Metallabfällen unterschiedlicher Herkunft nicht viele Daten vor, so dass es schwierig sei, sichere Aussagen dazu zu treffen.

Bezüglich der Bewertung der Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung von Kunststoffen, haben die Experten angemerkt, dass neben dem Vergleich mit der Primärherstellung für bestimmte Umweltgüter auch ein Vergleich mit der energetischen (oder thermischen) Verwertung sinnvoll sein kann, da diese aktuell bei gemischten Kunststoffen noch am meisten eingesetzt wird. Grund dafür ist der energieaufwendige und emissionsintensive Prozess der Spaltung gemischter Kunststoffe (Fraktion), der zur stofflichen Verwertung notwendig wäre. Die thermische Verwertung solcher Kunststoffe ist (immer noch) kostengünstiger als die stoffliche Verwertung, solange noch ausreichend fossile Rohstoffe vorhanden sind, um neue Kunststoffe zu produzieren. Stoffliche Abfallverwertung von Kunststoff beinhalten aktuell deshalb hauptsächlich das Recycling von „einfachen“ Kunststoffen wie Polyethylenterephthalat (PET)-Flaschen, High Density Polyethylen (HDPE) und Polystyrol (PS).

Nach Aussage der Experten ist Deutschland bei der stofflichen Abfallverwertung schon recht fortgeschritten, da z.B. Schrott zu 98% recycelt wird, Kupfer zu 60% (im Vergleich zum weltweiten Durchschnitt von 6%), bei „einfachen“ Kunststoffen wie PET, HDPE und Polystyrol liegt die Recyclingrate bei nahezu 100%. Allerdings sei das Potenzial aus der gelben Tonne noch nicht 100% ausgeschöpft: aktuell werden davon ca. 50% recycelt, weil der Rest zu klein oder zu verschmutzt sei.

Stoffliche Abfallverwertung ermöglicht laut Aussage der Experten vor allem eine große Entlastung für Klima und Energie. Neben der Umweltentlastung weisen die Experten aber auch darauf hin, dass die stoffliche Abfallverwertung im Umgang mit begrenzten Ressourcen strategisch wichtig ist. Recycling von Metallen ermöglicht die langfristige Absicherung der Wirtschaft mit kritischen Stoffen, weshalb besonders in der Industrie das Bewusstsein für den Einsatz solcher Technologien steigt. Das Recycling von Kunststoffen ist laut Aussage der Experten für qualitativ hochwertige Kunststoffe, wie sie in der deutschen Industrie benötigt werden, noch nicht möglich. Auch in den BRICS-Ländern steigt das Bewusstsein für Recycling, insbesondere von Metallen: Länder wie China, Indien und Brasilien brauchen zunehmend Roh-

stoffe für ihre Entwicklung, weshalb sich auch dort Rücknahmesysteme verbreiten, aber auch Schrott aus Industrieländern importiert und aufbereitet wird.

Klima

Die Experten sehen durch die stoffliche Abfallverwertung von Metallen eine deutliche Entlastung des Klimas. Eisen wird z.B. aus Eisenerz gewonnen; es wird Kohlenstoff benötigt, um das Eisenerz zu reduzieren. Durch Sekundärgewinnung von Eisen fällt dieses Verfahren weg und es wird weniger Kohlenstoff freigesetzt. Ähnliches gilt für Nichteisen-Metalle, für die Recyclingverfahren in der Regel als weitaus klimafreundlicher bewertet werden als Primärverfahren zur Gewinnung der Metalle. Auch hinsichtlich des Transports von Primärmetallen aus Abbaugebieten wird das Klima entlastet, da eine Sekundärgewinnung vor Ort in Deutschland möglich ist. So müssen weniger Metalle importiert werden und es werden weniger Treibhausgase durch den Transport ausgestoßen.

Auch durch die stoffliche Abfallverwertung der oben genannten Kunststoffen, für die Recycling im Vergleich zur thermischen Verwertung lohnenswert ist, ergibt sich eine deutliche Klimaentlastung.

Energie

Sekundärverfahren sind in der Regel deutlich weniger energieintensiv als Primärverfahren. Bei Metallen liegt die Energieeinsparung bei einem Faktor 3 bis 10 (10 mal weniger Energie wird beim Recycling von Aluminium im Vergleich zur Primärerzeugung verbraucht).

Bei nicht-gemischten Kunststoffen ergibt sich aus der stofflichen Verwertung ebenfalls eine deutliche Energieeinsparung.

Luft

Durch die stoffliche Abfallverwertung von Metallen entstehen auch weniger Schadstoffeinträge in die Luft als durch Primärgewinnung, allerdings können bei manchen Verfahren Stäube entstehen, z.B. beim Recycling von Autoschrott, wo eine Rauchgasreinigung nötig ist. Heutzutage sind diese Emissionen in Deutschland technisch aber gut zu kontrollieren und ein Ausstoß zu vermeiden.

Die Verwertung von Kunststoffen verursacht Dämpfe. Im Vergleich zur Ölförderung, die zur Primärproduktion von Kunststoffen notwendig ist, wird von den Experten durch die stoffliche Abfallverwertung eher eine Entlastung der Luft gesehen. Im Vergleich zur thermischen Verwertung von Kunststoffen ergibt sich kein großer Unterschied bezüglich der Schadstoffeinträge, da solche Anlagen in Deutschland strenge Grenzwerte einhalten müssen.

Wasser und Boden

Ein indirekt positiver Effekt ergibt sich durch stoffliche Abfallverwertung von Metall auf Wasser und Boden: da solche Verfahren weniger Emissionen verursachen als Primärverfahren, werden indirekt auch die Einträge in Gewässer und Boden durch Niederschlag, insbesondere in Abbaugebieten, entlastet. Bei Grundwasser sehen die Experten keinen nennenswerten Effekt.

Direkt vom Recyclingprozess von Kunststoffen werden keine nennenswerten Effekte auf Wasser und Boden erwartet. Im Vergleich zur Ölförderung sinkt durch mehr Recycling und somit weniger Primärproduktion von Kunststoffen allerdings das Risiko der Verschmutzung durch eine Ölpest, wie sie z.B. im Jahr 2012 im Golf von Mexiko auftrat.

Artenvielfalt und Landschaft

Ein wichtiger Effekt kann sich indirekt durch mehr Recycling und dadurch weniger Primärgewinnung von Metallen ergeben: Landschaftszerstörung könnte dadurch vermieden werden. Aktuell erfordern z.B. die Goldminen in Brasilien die Zerstörung großer Regenwald-Gebiete, wodurch indirekt wiederum Effekte auf Wasser (Grundwasser) und Boden entstehen.

Bei der Betrachtung von Kunststoff-Recycling ist das Argument der Landschaftszerstörung nicht so relevant, wobei sich auch indirekt positive Effekte z.B. in Abbaugebieten wie Alaska oder in Wüstengebieten ergeben können, wenn weniger Ölförderung zur Produktion von Kunststoff notwendig ist.

Gesundheit

Beim Abbau von Metallen sind u.a. Cyanide, Fluor und Quecksilber notwendig und es werden gesundheitsschädliche Sulfide und weitere Schwermetalle freigesetzt. Sekundärgewinnung trägt also indirekt dazu bei, dass weniger dieser gesundheitsschädlichen Elemente freigesetzt und emittiert werden.

Bei Kunststoffen spielt ein ähnlicher Effekt eine Rolle: bei der Ölförderung entstehen Leckagen durch undichte Pipelines, die biologisch schwer abbaubare Schadstoffe aussetzen. Recycling trägt indirekt zur Vermeidung dieser Leckagen bei. Ölförderung verursacht auch Lärm, allerdings wird dieser Effekt aufgrund der Lage der Abbaugelände (in der Wüste oder im Meer) von den Experten als nicht relevant bewertet.

Natürliche Ressourcen und Rohstoffe

Durch die stoffliche Verwertung von Metallen wird die Eigenschaft von Metallen genutzt, dass diese im Kreislauf sehr lange nutzbar bleiben. So werden die Vorkommen in Abbaugeländen geschont, aber auch die Ressourcen, die zu deren Abbau notwendig sind. Beispielsweise wird in Brasilien Regenwald abgeholzt und zu Holzkohle verarbeitet, mit der in Abbaugeländen u.a. Minen betrieben werden, in denen wiederum Eisenerze verhüttet werden.

Bei klassischen Kunststoffen, wie sie hier betrachtet werden, spielt der Effekt auf natürliche Ressourcen keine große Rolle (anders bei Biokunststoffen). Durch Recycling von Kunststoffen werden allerdings indirekt fossile Rohstoffe eingespart, da diese Hauptbestandteil bei der Herstellung von Kunststoffen sind.

Anhang 3: Anschreiben und Gesprächsleitfaden für die Experteninterviews

Anschreiben

Sehr geehrte Damen und Herren,

vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben uns mit Ihrem Wissen über die Umweltwirkungen von **Technologie XXX** weiter zu helfen. Das Forschungsprojekt zu den Umweltwirkungen der Nutzung neuer Technologien in den Grünen Zukunftsmärkten führen wir im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durch. Ziel des Projektes ist es eine Einschätzung der positiven und negativen Wirkungen von Technologien auf verschiedene Umweltgüter zu geben, u.a. auf Klima, Energie, Luft, Wasser, Boden. Im Rahmen des Projekts wurden aufgrund ihres zu vermutenden Umweltentlastungspotenzials Technologien der sechs folgenden Teilmärkte ausgewählt: Alternative Antriebstechnologien, erneuerbare Energien, Effizienztechniken im industriellen Sektor, Speichertechnologien, Energieeffizienz von Gebäuden und Abfallverwertung.

Um einen ersten Überblick zu bekommen, haben wir für jeden Teilmarkt eine Kurzübersicht über die vorhandene Literatur erstellt, auf deren Basis wir Hypothesen für die zu vermutenden Umweltwirkungen formuliert haben. Diese vorläufigen Aussagen sind in einer **Hypothesenmatrix** zusammengefasst. Diese (Technologie × Umweltgut) Matrix ist an einigen Stellen noch lückenhaft. Diese Lücken würden wir gerne mit Ihrer Hilfe versuchen zu schließen und um eine Bewertung des Gesamteffekts der Technologie/des Einsatzes der Technologie auf das Umweltgut ergänzen. Diese soll dann in einer **Bewertungsmatrix** festgehalten werden.

Dieser Email sind 3 Dateien beigelegt. Im **Fragebogen** (UBA-GZM-Fragebogen.pdf) haben wir die unserer Meinung nach wichtigsten noch zu klärenden Punkte festgehalten. Zunächst wird das Ziel des Interviews genauer definiert und ein Bewertungsschema vorgeschlagen. Diesem folgen dann die Fragen, die wir gerne mit Ihnen besprechen würden. In Anhang I (UBA-GZM-AnhangI-Matrix.xls) gibt es zwei Arbeitsblätter, je eins für die (teilweise) ausgefüllte Hypothesenmatrix und die noch auszufüllende Bewertungsmatrix. Anhang 2 (UBA-GZM-Anhang2-Literatur.doc) enthält eine kurze Liste mit Literatur, die wir benutzt haben.

Die Erkenntnisse, die wir aus dem Interview mit Ihnen gewinnen, werden in den Projektbericht für BMU/UBA einfließen und möglicherweise nach Projektende im Jahr 2014 in kondensierter Form in einer Fachpublikation der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Selbstverständlich werden Sie einen Entwurf des Berichtes vorab zur Durchsicht erhalten.

Wir können Ihnen versichern, dass alle Bedingungen zum Datenschutz strengstens eingehalten werden. Ihre Angaben werden ausschließlich für wissenschaftliche und statistische Zwecke genutzt. Sie werden nicht an Dritte weitergegeben und nur in anonymisierter Form ausgewertet.

Wir sind offen für weitere Fragen, Anregungen und Kritik. Für etwaige Rückfragen, gerne auch vor dem eigentlichen Interview, stehen wir jederzeit zur Verfügung.

Vielen Dank für Ihre freundliche Kooperation.

Gesprächsleitfaden

FRAGEBOGEN

für das Projekt „Grüne Zukunftsmärkte“ im Auftrag des Umweltbundesamt zu den Umweltwirkungen der Nutzung neuer Technologien.

I. Ziel des Interviews

Das Ziel des Gespräches ist, eine Bewertung des Gesamteffekts der **Technologie XXX** auf jedes Umweltgut zu vorzunehmen. Zurzeit ist die (Technologie × Umweltgut) Matrix (UBA-GZM-AnhangI-Matrix.xls - Hypothesen) mit Hypothesen befüllt, die eine Zusammenfassung unserer Literaturrecherche darstellen. Mit Ihrer Hilfe würden wir gerne die Matrix um einen Layer (Tabellenblatt Bewertung) ergänzen. Dazu werden wir in zunächst einige allgemeinere Fragen stellen, um einen Gesamtüberblick zu bekommen und unsere Erkenntnisse aus der Literatur zu verifizieren bzw. möglicherweise auch zu falsifizieren. Im zweiten Teil des Interviews würden wir gerne auf spezifische Fragen eingehen, die wir durch die Literaturrecherche bisher nicht beantworten konnten.

Die Bewertungen der Umwelteffekte hat zwei Dimensionen: zum einen die Richtung, positiv (+) oder negativ (-), und zum anderen die Stärke (leicht/stark)

- ▶ Die Richtung der Effekte soll relativ zur aktuell eingesetzten Technologie in dem Teilmarkt bestimmt werden, d.h. ist die neue Technologie umweltfreundlicher als die alte Technologie (+), oder umweltschädlicher (-)?
- ▶ Die Stärke der Effekte soll absolut gemessen werden und das Potenzial der Technologie widerspiegeln, welches bei dem geplanten Ausbau zu erwarten ist. Stark (++/--): der erwartete Effekt ist signifikant für das Umweltgut; Leicht (+/-): Es gibt einen Effekt, der aber auf das gesamte Umweltgut kaum einen Einfluss hat.
- ▶ Es kann zwischen lokalen und globalen Effekten unterschieden werden (L/G).

Beispiel: Der Einsatz von Windkraft zur Stromerzeugung ist positiv für das globale Umweltgut Klima, da die Emissionen die im Lebenszyklus eines Windrads entstehen niedriger sind als die der aktuell eingesetzten Technologien im deutschen Kraftwerkspark. Somit ist der Effekt positiv. Da selbst bei einem Windrad, welches mit Energie aus dem aktuellen Kraftwerkspark hergestellt wurde, die bei der Herstellung entstandenen Emissionen nach 3 bis 9 Monaten wieder eingespart werden und es danach ca. 20 Jahre lang praktisch emissionsfreien Strom erzeugt, ist der zu erwartende positive Effekt dieser Technologie bei den aktuellen Ausbauplänen auf das Umweltgut Klima stark. Der Eintrag in der Bewertungsmatrix für Technologie Wind und Umweltgut Klima ist ++.

2. Allgemeine Fragen

1. Wie würden Sie die aktuell eingesetzte Technologie definieren?
2. Relevante Umwelteffekte
 - a) Für welches Umweltgut gibt es den größten Entlastungseffekt der Technologie?
 - b) Welches Umweltgut wird potenziell am stärksten belastet?
 - c) Welche anderen Umweltgüter sind betroffen?
 - d) Treten die Effekte in Deutschland oder im Ausland auf?
3. Effekt der Technologie auf die identifizierten Umweltgüter
 - a) Wie stark ist der negative Effekt?
 - b) Wie stark ist der positive Effekt?
 - c) Was ist der Gesamteffekt?
 - d) Kann man daraus eine Empfehlung ableiten?
4. Stimmen Sie der Hypothese zu?
 - a) Falls „nein“: Welche Hypothese haben Sie?
5. Wie schätzen Sie die Entwicklung der positiven/negative Effekte in der Zukunft (bis 2020 oder max. 2030) ein?

- a) Verstärken/verringern sich die Effekte?
 - b) Können/werden Technologien mit negativen Effekten durch andere Technologien ersetzt werden?
 - c) Werden die Effekte national oder international bemerkbar sein?
6. Vollständigkeit
- a) Gibt es wichtige Aspekte, die noch gar nicht genannt wurden?
 - b) Gibt es wichtige Literatur/Forschungsrichtungen, die noch nicht berücksichtigt wurden (vgl. Literaturliste im Anhang)?

3. Technologiespezifische Fragen

Alternative Antriebstechnologien

1. Gibt es auch Wirkungen auf Gewässer/Boden in Deutschland?
2. Werden bei Hybrid und Plug-In-Hybrid Fahrzeugen dieselben Rohstoffe verwendet, wie bei Elektrofahrzeugen? Falls nein, gibt es andere Wirkungen auf Gewässer/Boden?
3. Wird die Marktdurchdringung so sein, dass signifikante Mengen an Öl eingespart werden können?
4. Gibt es Entlastungswirkungen durch die geringere Nutzung von Verbrennungsmotoren?

Erneuerbare Energien

1. Was passiert mit den Biogas/PV/Wind-Anlagen nach ihrer Nutzung und welche Umwelteffekte können entstehen?
2. Biomasse:
 - a) Wie gefährlich sind die Schadstoffe, die in den Anlagen entstehen? Was für Folgen auf Gesundheit und Luft kann ein Entweichen der Schadstoffe haben?
 - b) Gehen die Umweltbelastungen bei Nutzung von Biokraftstoffen der 2. Generation (Reststoffnutzung) wirklich zurück?
3. PV: Sehen Experten hier bzgl. Artenvielfalt/Landschaft und Böden Probleme bei großflächiger Nutzung auf der grünen Wiese?
4. Wind: Werden die Environmental Impact Assessments tatsächlich beachtet, und somit ein größerer negativer Effekt auf Vögel (onshore) bzw. Zugvögel und Meerestiere (offshore) vermieden?

Speichertechnologien

1. Sind die ausgewählten Speichertechnologien in der Tat die mit den größten Umweltentlastungspotenzialen?
2. Kann man allgemeine Aussagen über die Umweltwirkungen der Technologien treffen oder sind diese zu unterschiedlich in ihren Wirkungen?
3. Gibt es überhaupt relevante Effekte auf:
 - a) Luft?
 - b) Artenvielfalt & Landschaft?
 - c) Gesundheit?
 - d) Natürliche Ressourcen?
4. Gibt es Effekte auf Boden und Wasser bei Natrium-Schwefel-Batterien oder Bleibatterien?
5. Könnten die Platingruppenmetalle in naher Zukunft technisch und wirtschaftlich auch durch andere Stoffe ersetzt werden?
6. Wie sind die Umweltwirkungen, wenn es (wirtschaftlich) möglich ist die toxischen Metalle durch z.B. Phosphorsalze zu ersetzen?
7. Wird es bei den Materialien, die zu Bau und Nutzung dieser Technologien gebraucht werden, zu Knappheiten kommen?

Effizienztechniken in der Industrie

1. Wie ist der Durchdringungsgrad von „neuen“ Effizienztechniken in den Bereichen Metallerzeugung und Querschnittstechnologien zur Wärme- und Kälteerzeugung?
2. Ist eine Gesamtaussage zu den Umweltwirkungen der hier betrachteten Technologielinien (in jeder Zeile der Matrix) möglich oder müssen Umwelteffekte weiter nach Teilsektoren oder nach Technologien unterschieden werden?
3. Gibt es überhaupt relevante Effekte auf:
 - a) Luft?
 - b) Wasser und Boden?
 - c) Artenvielfalt und Landschaft?
 - d) Gesundheit?
 - e) Natürliche Ressourcen und Rohstoffe?
4. Entstehen im Fall der Entnahme von Kälte aus der Umgebung (Luft, Gewässer, Boden) bestimmte Umweltwirkungen?

Energieeffizienz von Gebäuden

1. Gibt es überhaupt relevante Effekte (der einzelnen Technologien) auf:
 - a) Wasser und Boden?
 - b) Artenvielfalt und Landschaft?
 - c) Gesundheit?
 - d) Natürliche Ressourcen und Rohstoffe?
2. Besteht die Gefahr, dass durch Dämmung der Gebäudehülle gesundheitliche Probleme aufgrund von mangelhafter Lüftung entstehen (z.B. durch Schimmelbildung)?
3. Gibt es aufgrund der Dämmung der Gebäudehülle auch eine bessere Lärmisolation?
4. Entstehen speziell bei der Herstellung von Wärmepumpen Umweltwirkungen auf die genannten Umweltgüter (z.B. aufgrund der Nutzung von Chemikalien)?
5. Welche Rolle spielt in dieser Hinsicht die Gebäudeautomation: gibt es da weitere relevante Umwelteffekte?

Stoffliche Abfallverwertung

1. Ist „Sekundärgewinnung“ gleichzusetzen mit der Bezeichnung „stoffliche Abfallverwertung“?
2. Müssen die Umwelteffekte weiter nach Teilsektoren oder nach Technologien unterschieden werden?
3. Welche Rolle spielt die Höhe des Metallgehalts für die Umweltwirkungen der stofflichen Abfallverwertung?

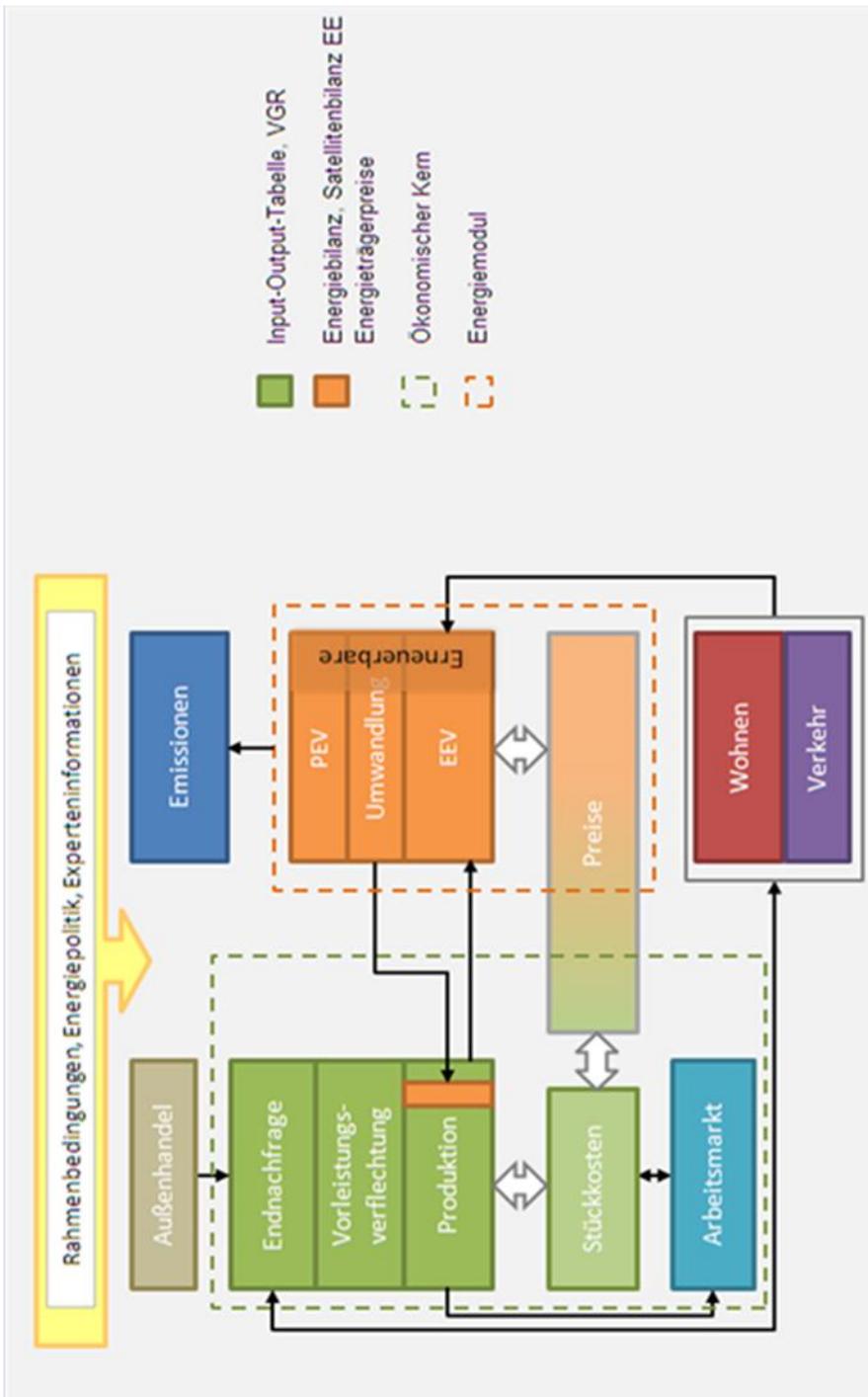
4. Gibt es überhaupt relevante Effekte auf:
- a) Wasser und Boden?
 - b) Artenvielfalt und Landschaft?
 - c) Gesundheit?

Anhang 4: Die Modelle

PANTA RHEI

PANTA RHEI ist ein zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen entwickeltes Simulations- und Prognosemodell für die Bundesrepublik Deutschland. Der Name, der eine Reflexion des griechischen Philosophen Heraklit zitiert („alles fließt“), ist Programm: Das Modell erfasst den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen.

Abbildung 27: Struktur des umweltökonomischen Modells PANTA RHEI



Quelle: Eigene Darstellung.

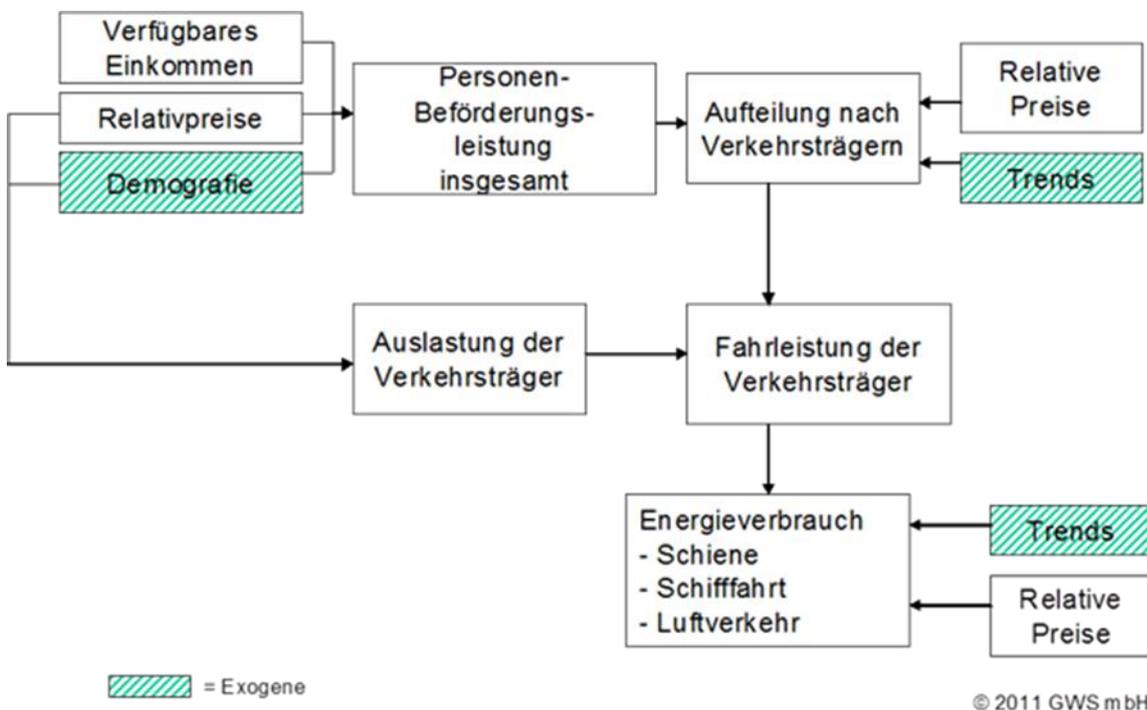
Einen Einblick in die Struktur des Modells PANTA RHEI gibt das in Abbildung 27 dargestellte Flussdiagramm. Neben der umfassenden ökonomischen Modellierung werden die Bereiche Energieverbräuche und Luftschadstoffe, Verkehr, Fläche und Wohnungen detailliert erfasst. Alle Modellteile sind konsistent miteinander verknüpft. Der Verkehrsbereich liefert z. B. den Treibstoffverbrauch in Litern, der mit den Literpreisen multipliziert unmittelbar in die monetäre Vorleistungsnachfrage der Industrie und die Konsumnachfrage der Privaten Haushalte eingeht. Änderungen der Steuersätze auf Treibstoffe führen dann einerseits zu geänderten Steuereinnahmen und vielfältigen ökonomischen Anpassungsprozessen. Andererseits lösen die Preisänderungen für Treibstoffe ihrerseits Verhaltensanpassungen aus, die im Modellrahmen erfasst werden.

Das Modell wird voll interdependent gelöst, d.h. dass die Wirkungen einer Maßnahme auf alle Modellvariablen gleichzeitig erfasst werden und keine Effekte „verloren gehen“. Das Modell enthält eine Fülle gesamtwirtschaftlicher Größen auf Basis der amtlichen Statistik und erlaubt sektorale Aussagen nach 59 Wirtschaftsbereichen. Die Energiebilanzen der AGEB sind voll in das Modell integriert. Die Verhaltensparameter sind auf Basis von Zeitreihendaten der Jahre 1991 bis 2010 ökonometrisch geschätzt.

Das Modell PANTA RHEI ist in den vergangenen Jahren vielfältig eingesetzt worden, u.a. in den Energieszenarien 2010 sowie verschiedenen Forschungsvorhaben für UBA und BMU.

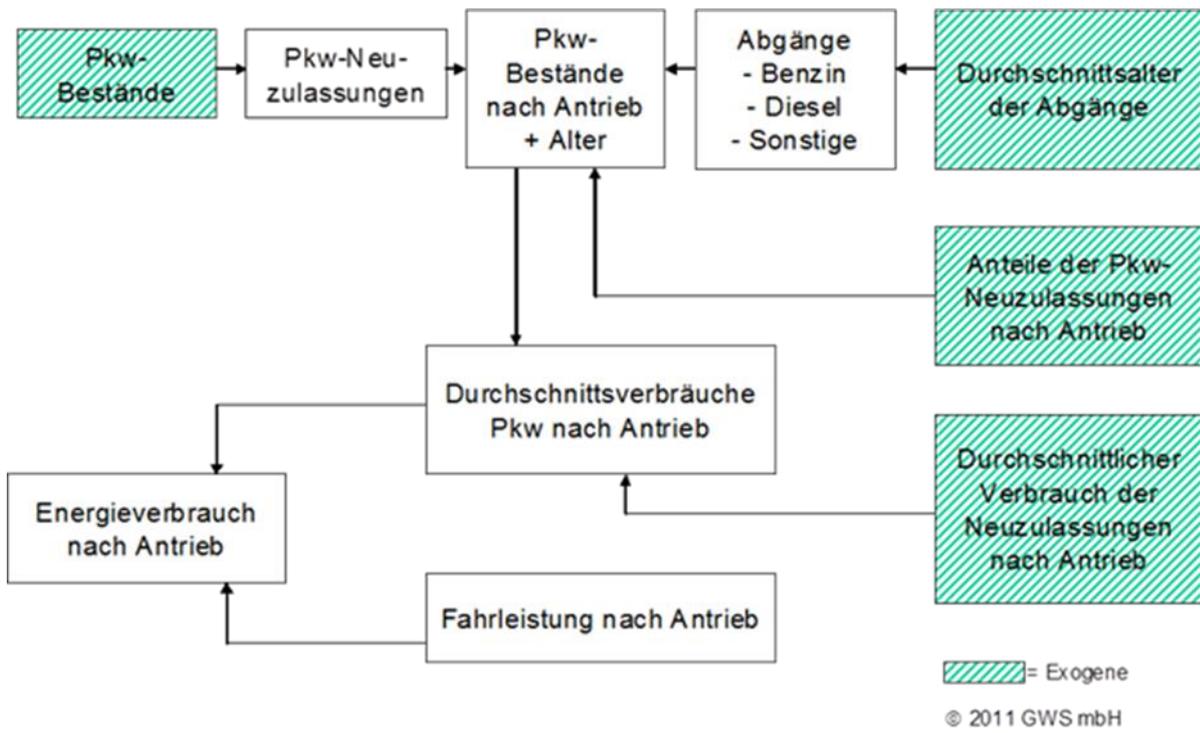
Im Verkehrsbereich ist die Erfassung des motorisierten Personenverkehrs von besonderem Interesse. Der Pkw-Bestand wird als exogene Größe wie z.B. auch in den Energieszenarien vorgegeben. Dahinter steht die Annahme, dass die endogene Erklärung im Modellzusammenhang schwierig ist, die Zahl der Pkw nur begrenzt durch die Politikmaßnahmen beeinflusst werden kann und zugleich die Höhe der Fahrleistungen sowie Effizienz und Altersaufbau des Fahrzeugbestandes die spannenderen Größen sind. Die Pkw-Neuzulassungen ergeben sich aus aktuellen Beständen und jeweiligen Abgängen dann definitorisch. Das Durchschnittsalter der Abgänge, das 2009 durch die Abwrackprämie stark beeinflusst worden ist, wird exogen vorgegeben. Die Anteile einzelner Antriebsarten (Otto, Diesel und Sonstige) an den Pkw-Neuzulassungen werden ebenfalls exogen vorgegeben. Damit folgen die Pkw-Bestände nach Alter und Antriebsarten definitorisch.

Abbildung 28: Überblick über die Personenverkehrsmodellierung



Die Durchschnittsverbräuche der Neuzulassungen, die stark von der Gesetzgebung beeinflusst sind, werden ebenfalls exogen vorgegeben. Damit folgen die Durchschnittsverbräuche der Pkw definitorisch, die zusammen mit den Fahrleistungen nach Antriebsart die Energieverbräuche nach Antriebsart ergeben.

Abbildung 29: Detailmodellierung Pkw



GRAM – Global Resource Accounting Model

Das Global Resource Accounting Model (GRAM) ist ein multi-regionales Input-Output Modell, das im Rahmen des Projekts petrE60 entwickelt wurde. Das GRAM Modell wurde erstellt, um die materielle Dimension der Beziehungen Europas mit dem Rest der Welt darzustellen und Ressourcenkonsum und Handel Europas in einer globalen Perspektive zu analysieren. GRAM ist ein umweltökonomisches Modell mit einem monetären Kernmodul, das IO-Tabellen der OECD verschiedener Länder über entsprechende bilaterale Handelsdaten der OECD (den so genannten Bilateral Trade Data, BTD) verbindet. Dieses monetäre Modell wird durch einen globalen Datensatz von Materialinputs und CO2 Emissionen in physischen Einheiten erweitert.

Daten

Die wichtigsten Datensätze, die zum Aufbau des GRAM Modells notwendig sind, sind Input-Output-Tabellen, Handelsdaten, sowie Materialextraktions- und CO2-Emissionsdaten.

CO2-Emissionen der IEA

Zur Berechnung der CO2-Rucksäcke des internationalen Handels sind sektorale Daten für produktionsbezogene CO2-Emissionen erforderlich. Diese werden aus den IEA Statistics 2008 Edition entnommen. Diese Daten liegen für die ganze Welt und für alle 53 explizit modellierten sowie für alle OPEC Länder vor. Emissionen für den Rest der Welt wurden als Restwert berechnet. Die Daten liegen in der Gliederung, wie in Tabelle 24 abgebildet, vor. Wir benutzen die Daten des Sektorenansatzes („Sectoral Approach“) 61. Zeile eins enthält die gesamten Emissionen errechnet mit dem Sektorenansatz. In Spalte „Gesamt“ sind die Emissionen aller Energieträger und in den vier Spalten rechts davon die Emissionen nach Kohle und Torf, Gas, Öl, und andere Energieträger abgebildet. Die sektorale Aufteilung der Emissionen in Zeilen zwei bis neun und 14 erfolgt mit Hilfe der Energiebilanzen.

Tabelle 24: Deutschlands Emissionen (2010) in Mio. t CO2

Sektor	Gesamt	Kohle & Torf	Gas	Erdöl	Andere
1 CO2 Sectoral Approach	761,6	306,2	171,8	266,1	17,5
2 Main Activity Producer Electricity and Heat	293,3	239,5	38,3	2,7	12,8
3 Unallocated Autoproducers	33,6	22,4	7,9	2,9	0,4
4 Other Energy Industries	26,3	5,7	2,1	18,5	0,0
5 Manufacturing Industries and Construction	116,0	33,7	48,9	29,2	4,2
6 Transport	145,5	0,0	0,5	145,0	0,0
7 of which: Road	414,0	0,0	0,5	140,4	0,0
8 Other Sectors	146,9	5,0	74,1	67,8	0,0
9 of which: Residential	101,0	4,3	53,7	43,1	0,0
10 CO2 Reference Approach	770,0	309,3	170,0	273,2	17,5
11 Diff. due to Losses and/or Transformation	10,2	1,5	0,0	8,7	0,0
12 Statistical Differences	-1,8	1,5	-1,8	-1,5	0,0
13 Memo: International Marine Bunkers	8,7	0,0	0,0	8,7	0,0

⁶⁰Resource productivity, environmental tax reform and sustainable growth in Europe“, unterstützt durch die Anglo German Foundation (AGF). Für weitere Informationen über das Projekt siehe <http://www.petre.org.uk/>.

⁶¹Die mit diesem Ansatz berechneten Emissionen sind mit denen der UNFCCC Berechnungen vergleichbar.

14	Memo: International Aviation	24,1	0,0	0,0	24,1	0,0
----	------------------------------	------	-----	-----	------	-----

Quelle: IEA (2012)

Die Energiebilanzen (EB) der Internationalen Energieagentur (IEA, 2008a, 2008b) enthalten physische Daten über die Nutzung der Energieträger in Kilotonnen Erdöläquivalenten (ktoe), aufgeteilt nach 68 Sektoren. Unter der Annahme, dass für alle Sektoren die gleichen CO₂-Emissionen pro eingesetzter Einheit des jeweiligen Energieträgers entstehen, können die Emissionen in Tabelle 24 auf die 68 Sektoren der Energiebilanz aufgeteilt werden und dann über die Energieträger summiert werden um die Gesamtemissionen jedes Sektors der Energiebilanz zu erhalten.

Die sektorale Gliederung der im Anschluss beschriebenen Input-Output (IO) Tabellen entspricht nicht der Gliederung der Energiebilanzen. Die Emissionen bezogen auf die EB-Sektoren werden mit den Verhältnissen der monetären Daten der IO-Tabellen von Sektor 8 („Coke, refined petroleum products and nuclear fuel“) auf die Sektoren der IO-Tabellen aufgeteilt.

Materialdaten

Die Materialdaten stammen Global Material Flow Analysis Database (GMFAD, 2009) und enthalten nur genutzte Extraktionen, nicht Gesamtextraktionen. Es werden acht Materialkategorien unterschieden:

Tabelle 25: Materialkategorien in GRAM

Materialkategorie	IOT Sektor
Agriculture, grazing, fish	1
Forestry	1
Coal & Oil	2
Natural gas	2
Iron ores	3
Other metal ores	3
Industrial minerals	3
Construction minerals	30

Quelle: GMFAD (2009) und eigene Darstellung.

Interessant sind in diesem Zusammenhang die Eisenerze (Iron Ores). Materialintensitäten werden auf der zweiten Produktionsstufe berechnet. Dazu werden die Materialien zunächst einem der IO Sektoren zugeordnet. Basierend auf den Lieferverflechtungen des entsprechenden Sektors mit den anderen Sektoren innerhalb jedes Lands wird die Materialextraktion auf die zweiten Verarbeitungsstufe verteilt. Basierend auf der Produktion der Sektoren der zweiten Bearbeitungsstufe werden die Materialintensitäten berechnet.

Input-Output Tabellen

Das Modell benutzt die letzte Edition (vierte Überarbeitung, 2009) der von der OECD publizierten IO-Tabellen welche 29 OECD-Länder (exkl. Island) und elf nicht-OECD-Länder (Argentinien, Brasilien, China, Estland, Indien, Indonesien, Israel, Russland, Slowenien, Südafrika und Taiwan) umfassen und in 48 Sektoren untergliedert sind (Yamano and Ahmad, 2006). Für weitere 15 Länder bzw. Weltregionen wurden unter der Annahme, dass diese die gleiche Technologie anwenden wie benachbarte Länder oder Länder mit ähnlicher Wirtschaftsstruktur, IO-Tabellen abgeschätzt. Insgesamt unterscheidet das GRAM Modell also 55 Länder und Weltregionen und 48 Wirtschaftssektoren.

Die OECD IO-Tabellen sind für die meisten Länder für die Jahre 1995, 2000 und 2005 verfügbar (siehe OECD, 2009). Für einige Länder ist diese Verfügbarkeit jedoch auf nur ein oder zwei der drei Jahre eingeschränkt oder die Bezugsjahre weichen leicht ab. Für die Analyse hier werden jedoch nur die Daten aus dem Jahr 2005 berücksichtigt.

Bilaterale Handelsdaten

Wie erwähnt stammen auch die Handelsdaten, die für MRIO Modelle von zentraler Bedeutung sind, von der OECD. Die bilateralen Handelsdaten (Bilateral Trade Data, BTB, siehe OECD, 2006) sind mit den IO-Tabellen der OECD harmonisiert und beinhalten Daten über Importe und Exporte für alle OECD-Länder aufgeschlüsselt nach 61 Handelspartnern und 25 Gütergruppen sowie einem aggregierten Sektorssektor. Die Gütergruppen entsprechen beinahe der sektoralen Disaggregation der IO-Tabellen. Zwei Ausnahmen bilden die Sektoren "Mining and quarrying (Energy)" und "Mining and quarrying (Non-Energy)", die in den Handelsmatrizen nicht unterschieden werden, sowie ein Sektorssektor der BTB, der alle 23 Dienstleistungssektoren der IO-Tabellen aggregiert.

Die bilateralen Handelsdaten sind für fast alle im Modell abgebildeten Länder direkt vorhanden. Der aktuelle OECD-Handelsdatensatz erfasst zusätzlich zu den meisten Handelsbeziehungen der OECD-Mitglieder auch die Handelsströme zwischen den wichtigsten Partnerländern wie China, Indien, Brasilien, Russland, etc. Lediglich der Handel zwischen sechs kleinen osteuropäischen EU-Mitgliedsstaaten, sowie den beiden Regionen OPEC und dem Rest der Welt muss noch auf Basis internationaler Statistiken geschätzt werden. Die Bedeutung dieser Schätzgrößen für die Modell-Ergebnisse ist sehr gering.⁶²

Methode

Die grundlegende Gleichung jedes Input-Output-Modells mit der Matrix der Inputkoeffizienten A , dem Endnachfragevektor y , und dem Outputvektor x , ist:

$$Ax + y = x$$

$$y = (I - A)x$$

$$x = (I - A)^{-1}y$$

Ein entsprechendes multi-regionales Input-Output Modell mit C Regionen ist:

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1C} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{C1} & x_{C2} & \dots & x_{CC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \dots & -A_{1C} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \dots & -A_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A_{C1} & -A_{C2} & \dots & I - A_{CC} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1C} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{C1} & y_{C2} & \dots & y_{CC} \end{pmatrix},$$

wobei x_{ij} den sektoralen Output in Land i beschreibt, der zur Befriedigung des Endverbrauchs in Land j verwendet wird, A_{ij} sind die interregionalen Matrizen der Inputkoeffizienten, und y_{ij} ist der Endnachfragevektor von Land j auf Produkte des Landes i .

Ausgehend von den symmetrischen IO-Tabellen der OECD erhält man durch spaltenweise Division mit der Bruttoproduktion die Input-Koeffizienten-Matrix. Der erste Quadrant dieser Matrix (Vorleistungen) bildet die Matrix A_{ij} . Die Matrizen auf der Hauptdiagonale entsprechen der Einheitsmatrix I abzüglich der Input-Koeffizientenmatrizen der Länder (A_{ij} für $j = i$).

⁶²Wenn Bedarf für eine ausführliche Erklärung besteht, bitte an die GWS wenden.

Die Submatrizen A_{ij} für $j \neq i$ werden wie folgt berechnet: Mittels der bilateralen Handelsmatrizen kann der Anteil jedes exportierenden Landes an den Importen aller anderen Länder ermittelt werden. Diese Anteile werden sodann mit der Importmatrix der IO-Tabellen multipliziert. Dadurch erhalten wir $C - 1$ Importmatrizen für jedes Land. Die Inputmatrizen A_{ij} werden dann durch die Division jedes Eintrages der Importmatrizen durch die entsprechende sektorale Bruttoproduktion berechnet. Auf die gleiche Art wird auch die Endnachfrage nach Importen auf die exportierenden Länder aufgeteilt.

Die Endnachfragematrix (Final Demand Matrix) in den IO-Tabellen besteht aus 48 Sektoren in den Zeilen und zehn Endnachfragekategorien in den Spalten (vgl. Tabelle 26). Um die Endnachfragevektoren y_{ij} , die die Endnachfrage auf die 48 Sektoren der IOT enthalten, zu berechnen, wurden Spalten 2 bis 7 (heimischer Verbrauch) für die Vektoren auf der Diagonalen (heimische Nachfrage auf heimische Produkte) aufaddiert. Für die Vektoren der heimischen Nachfrage auf Importe wurde zusätzlich Spalte 8 (Transitimporte) addiert.

Tabelle 26: Endnachfragekategorien

OECD IOT Endnachfragekategorien	
c1	Intermediärverbrauch
c2	Haushaltsendverbrauch
c3	Non-Profit Organisationen
c4	Öffentlicher Endverbrauch
c5	Bruttoanlageinvestitionen
c6	Bestandsveränderungen
c7	Wertsachen
c8	Exporte

Quelle: OECD (2009)

Während in A nur Koeffizienten enthalten sind, besteht die Endnachfrage y aus monetären Werten in Millionen USD. Die OECD IO-Tabellen sind allerdings in lokaler Währung ausgewiesen. Sie werden mit dem Wechselkurs des Internationalen Währungsfonds umgerechnet.

Emissionsintensitäts-Matrix / Materialextraktionskoeffizientenmatrix

Für ein einfaches IO-Modell für ein Land werden die Emissionen, die bei der Produktion eines Outputs \mathcal{X} anfallen, als

$$P = Ex = E(I - A)^{-1} y$$

bezeichnet. E ist eine $K \times N$ Matrix mit Emissions-/Materialintensitäten, die K Schadstoffe/Materialien und N Sektoren unterscheidet. Dieses Konzept lässt sich leicht auf zwei und mehr Länder übertragen (Turner et al., 2007). Für MRIO Modelle:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1c} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{c1} & p_{c2} & \dots & p_{cc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & E_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & E_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \dots & -A_{1c} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \dots & -A_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A_{c1} & -A_{c2} & \dots & I - A_{cc} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1c} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{c1} & y_{c2} & \dots & y_{cc} \end{pmatrix}$$

gibt es eine E -Matrix pro Land, E_c . Die Intensitäten in E sind so genannte direkte Intensitäten, die produktionsbasiert sind, d.h. Emissionen pro Produktionseinheit. Die Matrix eines MRIO Modells setzt sich aus den E_c^{sk} , Land c , Sektor s und Schadstoff/Material k , zusammen:

$$E = \begin{pmatrix} E_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & E_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & E_c \end{pmatrix} \text{ mit Matrizen } E_c = \begin{bmatrix} E_c^{11} & E_c^{21} & \dots & \dots & E_c^{N1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E_c^{1k} & E_c^{2k} & \dots & \dots & E_c^{Nk} \end{bmatrix} \text{ auf der}$$

Diagonalen.

In diesem Fall betrachten wir nur einen Schadstoff (CO₂). Daher reduzieren sich die E_c Matrizen zu Zeilenvektoren. Dies wiederum impliziert, dass die Einträge der P -Matrix, p_{ij} , einfache Aggregatgrößen (Skalare) sind. p_{ij} enthält also die Summe aller Emissionen die in Land j aufgrund der Nachfrage in Land i entstehen. Eine alternative Formulierung des Modells, in dem Fall, in dem nur ein Schadstoff berücksichtigt wird, sind diagonale E_c -Matrizen. Berechnet man das System in dieser Form, so sind p_{ij} Vektoren von Größe N (Anzahl der Sektoren). Die Matrix P hat dann die Größe $(N \times C) \times C$, wobei C die Anzahl der Länder ist. p_{ij}^s ist dann ein Skalar, in dem die Emissionen abgespeichert sind, die in Sektor s in Land j entstanden sind, um die Endnachfrage in Land i zu bedienen. Diese zweite Art der Formulierung, mit diagonalen E_c -Matrizen, ist in GRAM implementiert.

Die in den Importen eines Landes j enthaltenen Emissionen sind $P_j^{import} = \sum_{i \neq j} p_{ij}$, die Summe der dunkelgrau hinterlegten Zellen in Abbildung 30. Die in den Exporten eines Landes i von Produkt g enthaltenen Emissionen sind $P_{ig}^{Export} = \sum_{j \neq i} p_{ij}$ (die hellgrau hinterlegten Zellen in Abbildung 30). p_{ii} enthält die Emissionen die bei der Produktion von Gütern in Land i entstehen, die auch in Land i konsumiert werden.

Abbildung 30: Verschmutzungsmatrix

		importing country				Emissions embodied in exports of		
		A	B	C	D			
exporting country & sector	A	G1	$P_{AA}(G1)$	$P_{AB}(G1)$	$P_{AC}(G1)$	$P_{AD}(G1)$	country A industry G1	$P_{AB}(G1)+P_{AC}(G1)+P_{AD}(G1)$
		G2	$P_{AA}(G2)$	$P_{AB}(G2)$	$P_{AC}(G2)$	$P_{AD}(G2)$	country A industry G2	$P_{AB}(G2)+P_{AC}(G2)+P_{AD}(G2)$
	B	G1	$P_{BA}(G1)$	$P_{BB}(G1)$	$P_{BC}(G1)$	$P_{BD}(G1)$		
		G2	$P_{BA}(G2)$	$P_{BB}(G2)$	$P_{BC}(G2)$	$P_{BD}(G2)$		
	C	G1	$P_{CA}(G1)$	$P_{CB}(G1)$	$P_{CC}(G1)$	$P_{CD}(G1)$		
		G2	$P_{CA}(G2)$	$P_{CB}(G2)$	$P_{CC}(G2)$	$P_{CD}(G2)$		
	D	G1	$P_{DA}(G1)$	$P_{DB}(G1)$	$P_{DC}(G1)$	$P_{DD}(G1)$		
		G2	$P_{DA}(G2)$	$P_{DB}(G2)$	$P_{DC}(G2)$	$P_{DD}(G2)$		
		Emissions embodied in imports of						
		country A					$P_{BA}(G1)+P_{BA}(G2)+P_{CA}(G1)+P_{CA}(G2)+P_{DA}(G1)+P_{DA}(G2)$	
							Emissions embodied in goods produced and consumed in country A	
							$P_{AA}(G1)+P_{AA}(G2)$	

Quelle: Eigene Darstellung.

Datenquellen

IEA (2008a): Energy Balances of Non-OECD Countries, 1960-2007. International Energy Agency, Paris, France.

IEA. (2008b): Energy Balances of OECD Countries, 1960-2007. International Energy Agency, Paris, France.

International Monetary Fund (2009): International Financial Statistics (IFS). available at: <http://www.imfstatistics.org/>.

OECD (2006): STAN Bilateral Trade Database (Edition 2006): 1988-2004. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

OECD (2009): Input-Output Tables (Edition 2009): 1995 - 2005. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Yamano, N., Ahmad, N. (2006): The OECD's Input-Output Database - 2006 Edition. STI Working Paper 2006/8 (DSTI/DOC(2006)8), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Directorate for Science, Technology and Industry, Economic Analysis and Statistics Division, Paris, France.

Weiterführende Literatur

Bruckner, M., Giljum, S., Lutz, C. & Wiebe, K. (2012). Materials embodied in international trade – Global material extraction and consumption between 1995 and 2005. Global Environmental Change, doi:10.1016/j.gloenvcha.2012.03.011.

Bruckner, M., Giljum, S., Khoroshun, O., Lutz, C. & Wiebe, K. S. (2009): Die Klimabilanz des österreichischen Außenhandels (Endbericht). Sustainable Europe Research Institute (SERI), Vienna.

Wiebe, K., Lutz, C., Bruckner, M., and Giljum, S. (2012a). Calculating energy-related CO2 emissions embodied in international trade using a global input-output model, Economic Systems Research 24(2), 113-139.

- Wiebe, K.S., Lutz, C., Bruckner, M., Giljum, S. and Polzin, C. (2012b). Carbon and Materials Embodied in the International Trade of Emerging Economies: A Multi-regional Input-Output Assessment of Trends between 1995 and 2005. *Journal of Industrial Ecology*, doi:10.1111/j.1530-9290.2012.00504.x.
- Wiebe, K.S., Lutz, C. Bruckner, M. and Giljum, S. (2013): The Global Resource Accounting Model (GRAM). Chapter 9 in Murray, J. and Lenzen, M. (Eds.): *The sustainability practitioner's guide to multi-regional input-output analysis*. Common Ground Publishing, Illinois. Forthcoming.

Tabelle 27: Wirtschaftszweige (WZ) der OECD Input-Output Tabellen

ISIC Rev. 3 code	IO industry	Description
1+2+5	1	Agriculture, hunting, forestry and fishing
10+11+12	2	Mining and quarrying (energy)
13+14	3	Mining and quarrying (non-energy)
15+16	4	Food products, beverages and tobacco
17+18+19	5	Textiles, textile products, leather and footwear
20	6	Wood and products of wood and cork
21+22	7	Pulp, paper, paper products, printing and publishing
23	8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel
24ex2423	9	Chemicals excluding pharmaceuticals
2423	10	Pharmaceuticals
25	11	Rubber and plastics products
26	12	Other non-metallic mineral products
271+2731	13	Iron & steel
272+2732	14	Non-ferrous metals
28	15	Fabricated metal products, except machinery and equipment
29	16	Machinery and equipment, nec
30	17	Office, accounting and computing machinery
31	18	Electrical machinery and apparatus, nec
32	19	Radio, television and communication equipment
33	20	Medical, precision and optical instruments
34	21	Motor vehicles, trailers and semi-trailers
351	22	Building & repairing of ships and boats
353	23	Aircraft and spacecraft
352+359	24	Railroad equipment and transport equipment n.e.c.
36+37	25	Manufacturing nec; recycling (include Furniture)
401	26	Production, collection and distribution of electricity
402	27	Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains
403	28	Steam and hot water supply
41	29	Collection, purification and distribution of water
45	30	Construction
50+51+52	31	Wholesale and retail trade; repairs
55	32	Hotels and restaurants
60	33	Land transport; transport via pipelines
61	34	Water transport
62	35	Air transport
63	36	Supporting & auxiliary transport activities; activities of travel agencies
64	37	Post and telecommunications
65+66+67	38	Finance and insurance
70	39	Real estate activities
71	40	Renting of machinery and equipment
72	41	Computer and related activities
73	42	Research and development
74	43	Other Business Activities
75	44	Public administration and defence; compulsory social security
80	45	Education
85	46	Health and social work
90-93	47	Other community, social and personal services
95+99	48	Private households with employed persons & extra-territorial organisations & bodies

Quelle: Yamano, N., Ahmad, N. (2006) Table 3: OECD I-O Database. Industry classification and concordance with ISIC Rev. 3, 2006 edition

Konsumbasierte vs. territoriale Emissionen – Ein Beispiel

Normalerweise basieren die Emissionen, die bestimmten Ländern zugeordnet werden, auf territorialen Bilanzsystemen. In diesen werden die Kohlenstoffemissionen, die innerhalb bestimmter Ländergrenzen bei der Produktion und dem Transport von Gütern entstehen, bilanziert. Die Daten, die von den nationalen Statistikämtern, EDGAR, UN oder IEA veröffentlicht werden, basieren auf dieser „territorialen“ oder „produktionsbasierten“ Kohlenstoffbilanzierung. Indem man diese Daten zusammen mit einem globalen MRIO Modell oder „process LCA“ verwendet, kann identifiziert werden, wo genau die Emissionen entlang der Wertschöpfungskette entstehen. Zudem können hierdurch die Verbindungen zwischen Konsum, Wertschöpfung entlang der Produktionsketten und den Emissionen, die im Zuge der Produktion in verschiedenen Regionen der Welt anfallen, analysiert werden.

Ein Beispiel: Ein deutscher Konsument, nennen wir ihn Peter, möchte sich für sein Wohnzimmer einen neuen Holztisch kaufen. Die einzelnen Bestandteile sind – sehr einfach ausgedrückt – Holz und Schrauben.

1. Der Tisch wurde in Schweden entworfen
2.
 - a) Das Holz stammt aus Finnland und
 - b) wird in Litauen zu Tischplatten und Tischbeinen weiterverarbeitet.
3.
 - a) Das Eisenerz stammt aus einer Mine in Australien,
 - b) wird in Großbritannien zu Stahl weiterarbeitet und
 - c) wird in Deutschland verwendet, um daraus Schrauben zu erstellen.
4. Die Tischplatten und Tischbeine werden in Polen unter Verwendung der Schrauben zusammengebaut.
5. Der komplette Tisch wird dann zurück nach Deutschland verschifft und in einem Möbelgeschäft an Peter verkauft.

Die Emissionen, die entlang der Produktionskette entstehen, gestalten sich wie folgt (die Emissionszahlen sind dabei völlig indikativ):

1. Emissionen, die durch die Nutzung von Elektrizität bei der Erstellung des Entwurfs in Schweden entstehen (da es Winter ist und somit Licht und Wärme benötigt werden): 0,5 Einheiten CO₂ Emissionen
2.
 - a) Emissionen, die während des Holzeinschlags in Finnland entstehen: 2 Einheiten CO₂ Emissionen
 - b) Emissionen, die während der Weiterverarbeitung des Holzes in Litauen entstehen: 5 Einheiten CO₂ Emissionen
3.
 - a) Emissionen während der Förderung des Eisenerz: 4 Einheiten (Australien)
 - b) Emissionen während der Stahlproduktion: 10 Einheiten (GB)
 - c) Emissionen während der Schraubenproduktion: 5 Einheiten (Deutschland)
4. Emissionen während des Zusammenbaus: 2 Einheiten (Polen)
5. Emissionen während des Transports: 1,5 Einheiten in Polen und 1,5 Einheiten in Deutschland.

Da Peter genau genommen der einzige ist, der den Tisch konsumiert, ist er verantwortlich für alle Emissionen, die während des Produktionsprozesses entstanden sind: 31,5 Einheiten CO₂. Diese Zahl sollte Deutschland zugeordnet werden.

In Anlehnung an den produktionsbasierten Ansatz der „Kohlenstoffbilanzierung“, werden nur die Emissionen Deutschland zugerechnet, die in Deutschland direkt anfallen. Das sind in diesem Beispiel 5 (Produktion der Schrauben) + 1,5 (Transport) = 6,5 Einheiten Kohlendioxidemissionen.