

CLIMATE CHANGE

18/2019

# Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz: Die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzgüter und -dienstleistungen



CLIMATE CHANGE 18/2019

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 14 1060  
FB000087/ZB,2

## **Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz (II): Die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzgüter und -dienstleistungen**

von

Jürgen Blazejczak, Dietmar Edler  
DIW, Berlin

Walter Kahlenborn, Manuel Lisenmeier, Malte Oehlmann, Kerstin Bacher, Kora Töpfer  
adelphi, Berlin

Ulrike Lehr, Christian Lutz, Anne Nieters, Markus Flaute  
GWS, Osnabrück

Ralph Büchele, Gordon Wolgam  
Roland Berger, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## **Impressum**

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

**Durchführung der Studie:**

adelphi  
Alt-Moabit 91  
10559 Berlin

**Abschlussdatum:**

April 2018

**Redaktion:**

Fachgebiet I 1.4  
Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum  
Beate Hollweg

**Publikationen als pdf:**

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

Das Übereinkommen von Paris enthält das globale Ziel, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu halten sowie Anstrengungen zu unternehmen, um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein ambitionierter Klimaschutz nötig. Deutsche Produzenten von Klimaschutzgütern, die im Export tätig sind, können von weltweitem Klimaschutz besonders stark profitieren. Die vorliegende Studie analysiert die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzgüter und -dienstleistungen bis zum Jahr 2030. Dafür werden ein 2°- und ein business-as-usual (BAU)-Szenario miteinander verglichen. Ausgehend von einem heutigen weltweiten Marktvolumen für Klimaschutzgüter von ca. 1.900 Mrd. Euro steigt das Marktvolumen im BAU-Szenario im Jahr 2030 auf über 5.400 Mrd. Euro und im 2°-Szenario auf über 7.500 Mrd. Euro. Der Export von Klimaschutztechnologiegütern aus Deutschland wächst jährlich – in realer Rechnung – um 3,7 Prozent (BAU-Szenario) bzw. 6,1 Prozent (2°-Szenario). Dabei nimmt der Export in andere EU-Länder sowie in die BRICS-Staaten nur unterdurchschnittlich zu. Die zusätzlichen Exporte führen dazu, dass das Bruttoinlandsprodukt im 2°-Szenario im Jahr 2030 um mehr als ein Prozent über dem Wert des BAU-Szenarios liegt. Zudem werden im Jahr 2030 etwa 110.000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen. Die Studie analysiert darüber hinaus Fallbeispiele attraktiver Exportmärkte und erfolgreich exportierender Unternehmen und leitet daraus politische Handlungsempfehlungen ab.

## Abstract

The Paris agreement contains the global goal to keep global warming below two degrees Celsius compared to preindustrial levels or even limit it to no more than 1.5 degrees Celsius. To achieve this goal, an ambitious climate action is needed. German producers of climate action goods that are exporting their goods can especially benefit from global climate action. This study analyses the growing world markets for climate action goods and services up to 2030. This is done by comparing a 2°- and a business-as-usual (BAU)-scenario. Assuming a current global market volume for climate action goods of about 1,900 billion Euros, the market volume in the BAU-scenario grows to over 5,400 billion Euros in 2030 and even 7,500 billion Euros in the 2°-scenario. The export of climate action goods from Germany is growing annually - in real terms – by 3.7% (BAU-scenario) or 6.1% (2°-scenario). The exports to other EU countries and to BRICS countries are growing below average. The additional exports lead to a GDP that is 1% higher in the 2°-scenario in 2030 than in the BAU-scenario. In 2030, around 110,000 additional jobs are created. The study analyses also case examples of attractive export markets and successfully exporting companies and draws policy recommendations from that.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
Abkürzungsverzeichnis .....	10
Zusammenfassung .....	13
1 Einleitung .....	15
1.1 Studienhintergrund .....	15
1.2 Aufbau und Ziele der Studie .....	15
2 Künftige Entwicklung der Klimaschutzmärkte .....	17
2.1 Methodik und Untersuchungsszenarien .....	17
2.2 Die Entwicklung des Weltmarktes für Klimaschutzgüter bis 2030 .....	18
2.2.1 Definition und Erläuterungen zu den Leitmärkten .....	18
2.2.2 Prognose des globalen Marktvolumens der Leitmärkte im BAU-Szenario .....	21
2.2.3 Vergleich der Prognosen im BAU-Szenario und 2°-Szenario .....	23
2.3 Wachstumsdynamik der Leitmärkte in ausgewählten Ländern .....	24
2.3.1 Betrachtung im BAU-Szenario .....	24
2.3.2 Betrachtung im 2°-Szenario .....	31
3 Szenarien des Welthandels und der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern .....	33
3.1 Welthandel und deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern .....	34
3.2 Ergebnisse .....	38
3.3 Unsicherheiten (Sensitivitätsanalysen) .....	45
4 Gesamtwirtschaftliche Ergebnisse .....	49
4.1 Einleitung .....	49
4.2 Wirkungskanäle in der Wirtschaft und das Modell PANTA RHEI .....	49
4.3 Impulse und Ergebnisse .....	50
5 Analyse ausgewählter Klimaschutzmärkte und erfolgreicher deutscher Unternehmen .....	57
5.1 Einführung und Methodik .....	57
5.2 Fallbeispiele attraktiver Exportmärkte .....	58
5.2.1 Recycling von PV-Anlagen .....	58
5.2.1.1 Aktuelle und zukünftige Marktsituation .....	58
5.2.1.2 Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale .....	59
5.2.1.3 Politische Rahmenbedingungen .....	60
5.2.1.4 SWOT-Übersicht .....	61
5.2.2 Elektromobilität mit Fokus auf Ladeinfrastruktur und Netzintegration .....	61
5.2.2.1 Aktuelle und zukünftige Marktsituation .....	62

5.2.2.2	Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale	62
5.2.2.3	Politische Rahmenbedingungen	63
5.2.2.4	SWOT-Übersicht	64
5.2.3	Lithium-Ionen Akkus.....	64
5.2.3.1	Aktuelle und zukünftige Marktsituation	65
5.2.3.2	Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale	65
5.2.3.3	Politische Rahmenbedingungen	67
5.2.3.4	SWOT-Übersicht	68
5.2.4	Industrielle Abwärme.....	68
5.2.4.1	Aktuelle und zukünftige Marktsituation	69
5.2.4.2	Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale	69
5.2.4.3	Politische Rahmenbedingungen	70
5.2.4.4	SWOT-Übersicht	71
5.3	Fallbeispiele erfolgreicher deutscher Unternehmen als Anbieter für Klimaschutztechnologien.....	72
5.3.1	Building Energy Management Systems.....	72
5.3.2	Organische Photovoltaik .....	73
5.3.3	Brennstoffzellen .....	74
5.3.4	Power-to-Gas .....	75
5.3.5	Membransysteme .....	76
5.4	Handlungsempfehlungen.....	77
6	Fazit.....	81
7	Literaturverzeichnis .....	84

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die fünf Leitmärkte der Klimaschutzwirtschaft und deren Marktsegmente .....	19
Abbildung 2:	Globales Marktvolumen nach Klimaschutzleitmärkten für das BAU-Szenario .....	21
Abbildung 3:	Marktvolumina des Klimaschutzmarktes sowie ausgewählter Klimaschutzleitmärkte im Jahr 2030 im BAU- und im 2°-Szenario; Prozentzahl gibt den Unterschied zwischen BAU und 2° Szenario an.....	23
Abbildung 4:	Marktvolumen in Deutschland nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum für das BAU-Szenario .....	25
Abbildung 5:	Marktvolumen in Europa (ohne Deutschland) nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario .....	26
Abbildung 6:	Marktvolumen in den USA nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario .....	27
Abbildung 7:	Marktvolumen in China nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario .....	28
Abbildung 8:	Marktvolumen in Brasilien nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario .....	29
Abbildung 9:	Marktvolumen in Indien nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario .....	30
Abbildung 10:	Marktvolumina der Klimaschutzleitmärkte im BAU- und im 2°-Szenario im Jahr 2030 in ausgewählten Ländern; Prozentzahl gibt den Unterschied zwischen BAU und 2° Szenario an.....	31
Abbildung 11:	Angenommene Veränderungen der Importquoten 2030 gegenüber 2013 im BAU- und im 2°-Szenario .....	35
Abbildung 12:	Angenommene Veränderungen der deutschen Lieferanteile 2030 gegenüber 2013 im BAU- und im 2°-Szenario .....	36
Abbildung 13:	Entwicklung des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern nach Ländergruppen im BAU- und im 2°-Szenario.....	37
Abbildung 14:	Entwicklung des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen im BAU- und im 2°-Szenario .....	38
Abbildung 15:	Deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern im BAU- und im 2°-Szenario .....	39
Abbildung 16:	Entwicklung der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Ländergruppen im BAU- und im 2°-Szenario .....	39
Abbildung 17:	Struktur der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Ländergruppen.....	40
Abbildung 18:	Entwicklung der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen.....	41

Abbildung 19:	Struktur der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen .....	42
Abbildung 20:	Liefersektoren der Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen – Anteile der Liefersektoren.....	43
Abbildung 21:	Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Liefersektoren im 2°-Szenario im Jahr 2030 .....	44
Abbildung 22:	Sensitivitätsrechnung „Unveränderte Importquoten und Lieferanteile von 2013 – Exporte von Klimaschutztechnologiegütern.....	46
Abbildung 23:	Sensitivitätsrechnung „Unveränderte Importquoten und Lieferanteile von 2013 – Deutsche Welthandelsanteile bei Klimaschutztechnologiegütern“ .....	46
Abbildung 24:	Deutsche Lieferanteile 2013 und Veränderungen der Gewichtung bei den Zielregionen deutscher Exporte 2030 gegenüber 2013 nach Ländergruppen im BAU-Status-Szenario .....	47
Abbildung 25:	Sensitivitätsrechnung „Stabilisierung des deutschen Welthandelsanteils von 2013 – Veränderung der Lieferanteile 2030 gegenüber 2013 nach Klimaschutzbereichen“ .....	48
Abbildung 26:	Wirkungen von zusätzlichen Exporten von Klimaschutzgütern .....	49
Abbildung 27:	Abweichungen des Bruttoinlandsprodukts (preisbereinigt), der Beschäftigung und der Exporte im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario .....	51
Abbildung 28:	Abweichungen des Arbeitnehmerentgelts und des verfügbaren Einkommens im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario .....	53
Abbildung 29:	Abweichungen der Beschäftigung in ausgewählten Sektoren im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario.....	54
Abbildung 30:	Differenz der Wachstumsraten des Produktionswertes in den unterschiedlichen Liefersektoren zwischen dem 2°- und dem BAU-Szenario .....	55
Abbildung 31:	Portfolio-Analyse ausgewählter Technologien in den Klimaschutzmärkten .....	57

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abweichungen der Komponenten des preisbereinigten BIP im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU Szenario .....	52
------------	--	----

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AHK</b>	Auslandshandelskammer
<b>BAU</b>	Business as usual
<b>BCG</b>	Boston Consulting Group
<b>BEMS</b>	Building Energy Management System
<b>BIP</b>	Bruttoinlandsprodukt
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BRIC(S)</b>	Brasilien, Russland, Indien, China, (Südafrika)
<b>BSW</b>	Bundesverband Solarwirtschaft
<b>CH2</b>	Methylgruppe
<b>CLEG</b>	Combined List of Environmental Goods
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>COMTRADE</b>	United Nations Commodity Trade Statistics Database
<b>COP</b>	Vertragsstaatenkonferenz (des UN-Klimaübereinkommens)
<b>CPP</b>	Clean Power Plan
<b>CPUC</b>	California Public Utilities Commission
<b>DACH</b>	Deutschland, Österreich, Schweiz
<b>destatis</b>	Statistisches Bundesamt
<b>DIW</b>	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
<b>DV</b>	Datenverarbeitung
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>EEA</b>	Europäische Umweltagentur
<b>EED</b>	Energy Efficiency Directive
<b>EEG</b>	Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>EG</b>	Europäische Gemeinschaft
<b>EGA</b>	Environmental Goods Agreement
<b>ElektroG</b>	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>ESC</b>	Energy Storage Council
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>FRELP</b>	Full Recovery End of Life Photovoltaic
<b>FuE</b>	Forschung und Entwicklung
<b>GWS</b>	Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung
<b>GTAI</b>	Germany Trade and Invest

<b>AHK</b>	Auslandshandelskammer
<b>GW</b>	Gigawatt
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>H2O</b>	Wassermolekül
<b>HS</b>	Harmonized Commodity Description and Coding System
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>IHS</b>	Institut für Höhere Studien
<b>IKI</b>	Internationale Klimaschutzinitiative
<b>IMS</b>	Integriertes Stackmodul
<b>INDCs</b>	Intended Nationally Determined Contributions
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>Kfz</b>	Kraftfahrzeug
<b>KMU</b>	Kleine und mittlere Unternehmen
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>LIB</b>	Lithium-Ionen-Batterie
<b>Lkw</b>	Lastkraftwagen
<b>MEC</b>	Metal Eco City
<b>Mio.</b>	Million
<b>MNRE</b>	Ministry of New and Renewable Energy (Indien)
<b>Mrd.</b>	Milliarde
<b>MW</b>	Megawatt
<b>NAPE</b>	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
<b>NIP</b>	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie
<b>NIW</b>	Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung
<b>NPE</b>	Nationale Plattform für Elektromobilität
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>OICA</b>	Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles
<b>OPV</b>	Organische Photovoltaik
<b>ORC</b>	Organic Rankine Cycle
<b>P2G</b>	Power-to-Gas (auch PtG)
<b>PET</b>	Polyethylenterephthalat
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>RCP</b>	Representative Concentration Pathways
<b>RoI</b>	Return on Investment

<b>AHK</b>	Auslandshandelskammer
<b>RPS</b>	Renewable Portfolio Standard
<b>SGIP</b>	Self-Generation Incentive Program
<b>SINTEF</b>	Stiftelsen för industriell og teknisk forskning
<b>SNG</b>	Synthetic Natural Gas
<b>SOFC</b>	Solid Oxid Fuel Cells
<b>SRC</b>	Steam-Rankine-Cycle
<b>SWOT</b>	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
<b>TNA</b>	Technical Needs Assessment
<b>UNEP</b>	United Nations Environmental Programme
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>UNO</b>	United Nations Organization
<b>USP</b>	Unique Selling Point
<b>VDE</b>	Verband der Elektrotechnik und Elektronik
<b>VDMA</b>	Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau
<b>VGR</b>	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
<b>VOC</b>	Volatile Organic Compounds
<b>WEEE</b>	Waste Electrical & Electronic Equipment
<b>Wh</b>	Wattstunde
<b>WTO</b>	World Trade Organization
<b>WZ</b>	Klassifikation der Wirtschaftszweige

## Zusammenfassung

Das Übereinkommen von Paris aus dem Jahr 2015 enthält das globale Ziel, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur auf deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu halten sowie Anstrengungen zu unternehmen, um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein ambitionierter Klimaschutz nötig. Vor diesem Hintergrund bekräftigt die Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 ihre Langfristziele. Bis 2050 wird eine weitgehende Treibhausgasneutralität angestrebt.

Deutsche Produzenten von Klimaschutzgütern, die im Export tätig sind, können vom Klimaschutzabkommen von Paris besonders profitieren. Die vorliegende Studie analysiert die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzgüter und -dienstleistungen und projiziert wie sich diese Märkte bis zum Jahr 2030 entwickeln. Die Marktgrößen werden dabei nicht getrennt für Güter und Dienstleistungen ausgewiesen, sondern insgesamt ermittelt. Darauf aufbauend entwickelt die Studie Szenarien für den Welthandel sowie für deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern. Für die durch den Klimaschutz bedingten zusätzlichen Exporte werden die Effekte auf die Gesamtwirtschaft untersucht. Die Studie ist Teil des Forschungsvorhabens „Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz“, das die ökonomischen Vorteile von Klimaschutz in Deutschland bis zum Jahr 2030 ausführlich analysiert.

Um das Wachstum der globalen Märkte für Klimaschutztechnologien zu bestimmen, betrachtet die Studie folgende fünf Bereiche, die als Klimaschutzleitmärkte bezeichnet werden können: (1) Energieerzeugung, -speicherung, -verteilung, (2) Energieeffizienz, (3) Rohstoff- und Materialeffizienz, (4) Nachhaltige Mobilität und (5) Kreislaufwirtschaft.

Die Entwicklung dieser Klimaschutzleitmärkte wird anhand zweier Szenarien analysiert: ein „business as usual“-Szenario (BAU) und ein 2°-Szenario. Das BAU-Szenario schreibt die aktuelle Entwicklung im Markt fort und schließt diejenigen nationalen und internationalen Beschlüsse ein, die bereits tatsächlich oder demnächst höchstwahrscheinlich umgesetzt werden. Das ambitioniertere 2°-Szenario basiert auf der Annahme, dass das 2°-Ziel erreicht werden kann. Zur Erreichung des 2°-Ziels sind weltweit Investitionen notwendig, welche die Nachfrage nach Klimaschutztechnologien wachsen lassen. Ausgehend von einem heutigen Marktvolumen von ca. 1.900 Mrd. Euro steigt das Marktvolumen im BAU-Szenario im Jahr 2030 auf über 5.400 Mrd. Euro und im 2°-Szenario auf über 7.500 Mrd. Euro. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Leitmärkte beträgt im BAU-Szenario 6,3 Prozent und im 2°-Szenario 8,3 Prozent.

Mit einem vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) entwickelten Welthandelsmodell werden mögliche zukünftige Entwicklungen des Welthandels und der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern bestimmt. Betrachtet werden dabei sowohl Güter, die tatsächlich im Klimaschutz eingesetzt werden, als auch Güter, die auf Klimaschutztechnologien beruhen (Klimaschutztechnologiegüter). Es wird angenommen, dass einige andere Länder mehr eigene Produktionskapazitäten für Klimaschutztechnologiegüter aufbauen und auf Drittmarkten stärker mit deutschen Anbietern konkurrieren. Der Export von Klimaschutztechnologiegütern aus Deutschland wächst dann jährlich – in realer Rechnung – um 3,7 (BAU-Szenario) bzw. 6,1 (2°-Szenario) Prozent. Dabei nimmt der Export in andere Länder der Europäischen Union sowie in die Länder Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika (BRICS-Staaten) nur unterdurchschnittlich zu. Der deutsche Anteil am Welthandel sinkt auf Grund des zunehmenden Wettbewerbs, aber die deutschen Exporte steigen weiter an. Grund hierfür ist das starke weltweite Wachstum der Klimaschutzleitmärkte.

Zur Analyse der durch einen ambitionierten Klimaschutz im 2°-Szenario ausgelösten Effekte zusätzliche deutscher Exporte auf die Gesamtwirtschaft wird das makroökonomische umweltökonomische Modell PANTA RHEI der Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) eingesetzt. In einem Szenarienvergleich wird untersucht, wie sich die zusätzlichen deutschen Exporte im 2°-Szenario im

Vergleich zum BAU-Szenario auf wichtige ökonomische Kenngrößen wie Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung auswirken.

Vereinfacht dargestellt muss zur Deckung zusätzlicher ausländischer Nachfrage die Produktion in Deutschland steigen. Eine Ausweitung der Produktion geht einher mit Beschäftigungszuwachs. Gleichzeitig werden mehr Vorleistungsgüter für die Produktion nachgefragt, welche entweder aus dem In- oder Ausland kommen. Insgesamt sind die Importe im 2°-Szenario damit um knapp 91 Mrd. Euro im Jahr 2030 (vgl. Tabelle 1) höher als im BAU-Szenario. Zusammen mit dem durch Einkommenseffekte bedingten höheren Konsum kommt es insgesamt zu höherem Wachstum und weiteren positiven gesamtwirtschaftlichen Effekten. Das Bruttoinlandsprodukt liegt im 2°-Szenario im Jahr 2020 um 0,5 Prozent und im Jahr 2030 um mehr als einem Prozent und damit deutlich höher als im BAU-Szenario. Auch die Wirkungen auf die Beschäftigung sind positiv. Der Effekt fällt mit einer um 0,3 Prozent erhöhten Beschäftigung bzw. 110.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen im Jahr 2030 jedoch eher gering aus. Ein Grund für die Größe des Effekts sind die wenig arbeitsintensiven, teilweise hochautomatisierten Fertigungsprozesse, die durch die zusätzlichen Exporte angesprochen werden. Ein weiterer Grund besteht in der zukünftigen Knappheit von Arbeitskräften, die sich bereits heute in einigen Wirtschaftszweigen ankündigt. Der private Konsum ist im Jahr 2020 etwa 0,4 Prozent und im Jahr 2030 etwa 1,2 Prozent höher als im BAU-Szenario. Der Beschäftigungsanstieg wirkt auch positiv auf die Staatseinnahmen. Diese liegen im 2°-Szenario im Jahr 2030 – durch zusätzliche Einkommensteuereinnahmen – um 1,3 Prozent höher. Zudem erhöhen sich durch das Exportwachstum die Einnahmen aus den Produktions- und Importabgaben leicht.

Die Studie analysiert darüber hinaus die Chancen deutscher Unternehmen durch den Export von innovativen Klimaschutztechnologiegütern anhand von Fallbeispielen. Vertieft betrachtet werden dabei insbesondere die vier Technologien (1) Recycling von Photovoltaik (PV)-Anlagen, (2) Elektromobilität (Fokus: Ladeinfrastruktur und Netzintegration), (3) Lithium-Ionen-Akkus und (4) Industrielle Abwärme. Die Aussichten deutscher Unternehmen, von den wachsenden globalen Märkten zu profitieren, werden basierend auf Experteninterviews ausgewertet. Dafür wurden Unternehmen, die innovative Klimaschutztechnologiegüter anbieten, befragt. Im Fokus der Auswertung stehen die technologiespezifischen Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen der deutschen Industrie. Daran anknüpfend werden beispielhaft erfolgreiche deutsche Unternehmen vorgestellt, die bereits Klimaschutztechnologiegüter anbieten und im Rahmen von weiteren Experteninterviews befragt wurden.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse werden Handlungsempfehlungen erarbeitet. Die vorgeschlagenen politischen Maßnahmen umfassen dabei die Förderung von Grundlagenforschung, von Kooperationen zwischen Wissenschaft und Industrie, der Markteinführung und Verbreitung von Technologien, eine gezieltere Förderung von Technologien für den Export, die Unterstützung von internationalen Unternehmenskooperationen sowie die Verbesserung des regulatorischen Rahmens im Ausland. Basierend auf Experteninterviews wurden zusätzlich Determinanten des wirtschaftlichen Erfolgs von Unternehmen herausgearbeitet, die Unternehmen selbst beeinflussen können. Daraus wurden ergänzend Vorschläge für Unternehmen formuliert.

## 1 Einleitung

Das Übereinkommen von Paris vom Dezember 2015 konkretisiert die Ziele für den Klimaschutz: Die globale Erwärmung soll auf deutlich unter 2° Celsius, möglichst auf 1,5° Celsius über dem vorindustriellen Temperaturniveau begrenzt werden. Zukünftig müssen die Staaten alle fünf Jahre ihre Klimaschutzziele fortschreiben und vorlegen, wobei diese so ambitioniert wie möglich sein sollen (Bals et al. 2016). Von dieser Entwicklung können weltweit die Hersteller und Anbieter von Klimaschutzgütern profitieren. Dies gilt erst recht für deutsche Produzenten, die im Export traditionell sehr stark sind.

Diese Studie untersucht die Entwicklung der Weltmärkte der Klimaschutzgüter und -dienstleistungen, die deutschen Exporte und deren Auswirkungen auf die heimische Wirtschaft. Sie soll dazu beitragen, die öffentliche Debatte zum Klimaschutz um ökonomische Argumente zu erweitern. Zudem werden Handlungsempfehlungen entwickelt, die helfen, die wachsenden Chancen deutscher Exporteure im Bereich des Klimaschutzes zu erkennen und zu nutzen.

### 1.1 Studienhintergrund

In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts soll die Welt nach dem Beschluss auf der Klimakonferenz in Paris treibhausgasneutral werden (Bals et al. 2016). Hierzu ist eine vollständige Dekarbonisierung erforderlich, was im Wesentlichen das Ende für Kohle, Öl und Gas bedeutet. Um diese Herausforderung zu bewältigen, verpflichten sich die Unterzeichner des Pariser Klimaabkommens, auf nationaler Ebene verbindliche Vorgaben zu formulieren und geeignete Maßnahmen zu ergreifen die das Erreichen dieses Ziels gewährleisten. Dabei sollen die Ziele die höchstmögliche Ambition widerspiegeln. Mit Blick auf die Langfristziele werden die Vorgaben alle fünf Jahre nachjustiert und stringenter gestaltet. Konkret müssen die Staaten ab 2020 alle fünf Jahre ihre nationalen Klimaschutzziele („Nationally Determined Contributions“ - NDCs) fortschreiben (Bals et al. 2016).

Wenn die INDCs tatsächlich regelmäßig überprüft und zunehmend stringenter formuliert werden, und zudem die quantitativen Ziele so eindeutig benannt werden, dass einzelne Technologielinien erkennbar sind (etwa im Bereich der erneuerbaren Energien), dann können sich Investoren daran orientieren und die Hersteller von Klimaschutzgütern erhalten die Möglichkeit, an den zunehmenden globalen Klimaschutzmärkten zu partizipieren.

Deshalb wird in der vorliegenden Studie angenommen, dass sich der Trend eines deutlich wachsenden globalen Marktes in den kommenden Jahren fortsetzen wird. Wie stark er dabei ausfällt und welche Wirtschaftszweige davon besonders profitieren, ist eng an die Ambitionen der Weltgemeinschaft sowie der einzelnen Staaten geknüpft und hängt zudem davon ab, wie effektiv und zügig die erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden.

In der Vergangenheit exportierten deutsche Anbieter von Klimaschutzgütern vornehmlich Technologien im Bereich „Erneuerbare Energien“. Mit neuen Klimaschutzz Zielen und einem sich weiterentwickelten Markt ergeben sich weitere Geschäftsfelder.

In der vorliegenden Studie wird anhand unterschiedlicher Szenarien das Potenzial des wachsenden Klimaschutzmarktes untersucht. Zudem wird gezeigt, welche unternehmerischen und politischen Faktoren den Export neuer Klimaschutzgüter durch deutsche Anbieter aktuell maßgeblich beeinflussen.

### 1.2 Aufbau und Ziele der Studie

Diese Studie hat zum Ziel, die wirtschaftlichen Vorteile, die sich durch den Export deutscher Klimaschutztechnologiegüter bis zum Jahr 2030 ergeben, umfassend darzustellen. Dabei geht sie sowohl auf die gesamtwirtschaftlichen Effekte als auch auf die Chancen für deutsche Unternehmen ein.

Die Studie zeigt zunächst, wie sich die internationalen Klimaschutzmärkte bis zum Jahr 2030 voraussichtlich entwickeln werden. Hierzu betrachtet sie zum einen den Weltmarkt für Klimaschutzgüter

sowie zum anderen die Wachstumsdynamiken in sechs ausgewählten Ländern und Regionen (Deutschland, Europäische Union, USA, China, Brasilien und Indien). Die Entwicklung wird anhand zweier Szenarien für die fünf Klimaschutzleitmärkte „Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung“, „Energieeffizienz“, „Rohstoff- und Materialeffizienz“, „Nachhaltige Mobilität“ und „Kreislaufwirtschaft“ nachgezeichnet.

Das BAU-Szenario basiert auf nationalen und internationalen Beschlüssen, die bereits umgesetzt wurden oder in der Zukunft höchstwahrscheinlich umgesetzt werden. Darüber hinausgehende Anstrengungen zum Klimaschutz sind hier nicht vorgesehen. Das BAU-Szenario wird einem ambitionierteren Szenario gegenübergestellt, in dem die Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen so stark sinken, dass die Erderwärmung auf 2°C begrenzt wird (2°-Szenario). Die beiden Szenarien sind an die Emissionsszenarien des Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) angelehnt. Die Annahmen des BAU-Szenarios entsprechen den Annahmen des RCP6.0-Szenarios. Das 2°-Szenario basiert auf dem RCP2.6-Szenario (IPCC 2013).

Vor dem Hintergrund des BAU- und 2°-Szenarios werden mit Hilfe eines Welthandelsmodells des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) Entwicklungspfade für den Welthandel sowie für deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern entwickelt. Hierfür werden zunächst Annahmen getroffen, wie sich die Importquoten anderer Länder und die deutschen Lieferanteile verändern werden. Bezuglich der deutschen Exporte unterscheidet die Studie nach Zielländern und Technologiebereichen.

Anschließend untersucht die Studie die Effekte der durch Klimaschutz bedingten zusätzlichen Exporte und Importe auf die deutsche Gesamtwirtschaft bis zum Jahr 2030. Diese Analyse geschieht durch einen Vergleich des BAU-Szenarios und des 2°-Szenarios. Bezuglich der Entwicklung der deutschen Wirtschaft basieren beide Szenarien in dieser Studie auf der Energiereferenzprognose (ERP-REF), beschrieben in Schlesinger et al. (2014). Insbesondere ist die Struktur der deutschen Volkswirtschaft in beiden Szenarien identisch. Das 2°-Szenario enthält darüber hinaus die zusätzlichen Exporte und Importe Deutschlands, die durch den weltweiten ambitionierteren Klimaschutz angestoßen werden. Durch einen Vergleich der zwei Szenarien können folglich die Auswirkungen der Änderungen im Außenhandel auf die deutsche Volkswirtschaft von anderen Einflussfaktoren isoliert untersucht werden. Dafür werden die beiden Szenarien in das makroökonomische umweltökonomische Modell PANTA RHEI der GWS eingespeist und die Ergebnisse anschließend miteinander verglichen.

Nachfolgend betrachtet die Studie vier Klimaschutzmärkte im Detail (Recycling von PV-Anlagen, Elektromobilität mit Fokus auf Ladeinfrastruktur und Netzintegration, Lithium-Ionen-Akkus und Industrielle Abwärme). Hierbei befasst sie sich besonders mit der Wettbewerbssituation deutscher Unternehmen und deren Exportchancen. Sieben erfolgreiche deutsche Unternehmen, die für den Klimaschutz relevante Technologien anbieten, werden sodann beispielhaft vorgestellt.

Abschließend gibt die Studie politische Handlungsempfehlungen. Diese sollen dazu beitragen, die wirtschaftlichen Potenziale einer ambitionierten Klimaschutzpolitik zu realisieren.

## 2 Künftige Entwicklung der Klimaschutzmärkte

### 2.1 Methodik und Untersuchungsszenarien

Den in diesem Abschnitt ermittelten aktuellen Marktvolumina sowie den Prognosen für deren Wachstum bis 2030 liegt das Marktmodell von Roland Berger zugrunde (Kasten 1).

#### Kasten 1: Die Grundlagen der Marktprognosen im Roland Berger Marktmodell

Den Ausgangspunkt des Marktmodells bilden die Technologielinien (Produkte, Verfahren und Dienstleistungen) der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Das Marktmodell basiert auf der Analyse der einzelnen Technologielinien; in einem Bottom-up-Ansatz werden hieraus die aktuelle sowie die erwarteten Größen der Marktsegmente und Leitmärkte ermittelt. Die Datengrundlage bilden dabei einschlägige Markt- und Branchenstudien.<sup>1</sup> Im Marktmodell werden die Marktgröße im Jahr 2013 und die Wachstumsraten bis 2030 betrachtet. Dies gilt sowohl für den nationalen Markt als auch für die globalen Märkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz.

Für die Entwicklung der Klimaschutzmärkte werden zwei verschiedene Szenarien betrachtet – ein „business as usual“-Szenario (BAU) schreibt die aktuelle Entwicklung im Markt fort; ein „2°-Szenario“ berücksichtigt die ehrgeizigen Ziele der Staatengemeinschaft zum Klimaschutz.

Das BAU-Szenario umfasst die Beschlüsse auf nationaler und internationaler Ebene, die sich bereits in der Umsetzungsphase befinden oder, ausgehend von historischen Daten, höchstwahrscheinlich umgesetzt werden, entsprechend der IPPC Logik. Dazu müssen die Beschlüsse teilweise als Gesetzesentwurf verabschiedet werden und als Gesetz in Kraft treten. Im Zeitraum 2013 bis 2030 sind für dieses Szenario bereits auf den Weg gebrachte Gesetze berücksichtigt. Es wird angenommen, dass neue Gesetzesinitiativen so gestaltet werden, dass ihre Implementierung bis 2030 noch keine Auswirkungen auf die Entwicklungen am Klimaschutzmarkt haben wird.

Analog zu den dem RCP6.0-Szenario des „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC)<sup>2</sup> werden im BAU-Szenario die gleichen wirtschaftlichen und demographischen Einflussfaktoren auf den Klimawandel berücksichtigt. Auch die zugehörigen Entwicklungspfade beider Betrachtungen sind vergleichbar.

Konkret handelt es sich bei den IPCC-Faktoren um die Entwicklung der Weltbevölkerung, des globalen Bruttoinlandsprodukts, des globalen Energie- und Ölverbrauchs, des Energiemix und der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Beide Szenarien greifen zur Bewertung dieser Faktoren auf Studien renommierter Organisationen zurück. So wird angenommen, dass die Weltbevölkerung bis 2050 auf 9,7 Mrd. Menschen wächst (UNO 2015). Gleichzeitig legt das weltweite BIP bis 2050 im Durchschnitt um 3,1 Prozent pro Jahr zu (Greenpeace 2015). In beiden Szenarien geht mit dieser Entwicklung ein zunehmender Ener-

<sup>1</sup> In den zugrunde liegenden Studien werden jeweils auch Lernkosteneffekte über den Zeitverlauf berücksichtigt. Folgende Studien wurden als Datenbasis verwendet (siehe Literaturverzeichnis): Zu Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung UNEP (2013); IEA (2014); BCG (2013); EEA (2015); zu Energieeffizienz Statista (o.J.); IEA (2014); zu Rohstoff- und Materialeffizienz Swiss Biotech Association; Tech Navio (2014); Marketline (2015); zu Nachhaltige Mobilität OICA (o.J.); Aruvian's R'search (o.J.); Navigant Research (2014b); Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2014); IEA (2015a); OICA (o.J.); Aruvian's R'search; Navigant Research (2014b); Fraunhofer-Institut ISI (2014); IEA (2015a); zu Kreislaufwirtschaft (stoffliche Verwertung) Navigant Research (2014a). Thematisch übergreifend wurden zudem folgende Datenbanken und Studien verwendet: Oanda (o.J.); Oxford Economics (o.J.); World Bank (o.J.); BMUB (2014).

<sup>2</sup> Die Abkürzung RCP steht für Representative Concentration Pathways (Repräsentative Konzentrationspfade). Die RCPs repräsentieren verschiedene Entwicklungspfade der Konzentrationen von Treibhausgasen, Aerosolen und den zugehörigen Emissionen. Auf Grundlage der RCPs wurden mithilfe globaler Klimamodelle neue Projektionen möglicher Klimaänderungen im 21. Jahrhundert und darüber hinaus berechnet.

giebedarf einher, der 2040 weltweit bei circa 750 Exajoule liegen wird, so die Prognose der Internationalen Energie-Agentur (IEA 2015c).

Im BAU-Szenario wird davon ausgegangen, dass, verglichen mit heute, im Jahr 2050 keine signifikanten Veränderungen des Energiemix eintreten. So wird 82 Prozent der Primärenergie durch den Einsatz fossiler Brennstoffe erzeugt; die Kernkraft stellt einen Anteil von 5 Prozent; auf Biokraftstoffe, Wasserkraft, Photovoltaik und Windkraft entfallen zusammen knapp 14 Prozent (IEA 2015b). Schließlich wird davon ausgegangen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2030 rund 56,7 Gigatonnen betragen (UNFCCC 2015). Auf Basis dieser Annahmen kann das BAU-Szenario mit dem IPCC-Szenario „RCP6.0“ gleichgesetzt werden.

Von den bestehenden vier IPCC-Szenarien unterschreitet langfristig nur das „RCP2.6“ die 2°-Grenze. Innerhalb dieses Szenarios sind die Reduktionen des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die Energiebereitstellung aus regenerativen Quellen die wesentlichen Treiber zur Einhaltung des 2°-Ziels. Für die genannten Treiber wird im RCP2.6-Szenario angenommen, dass vorwiegend die Energieträger Biomasse und Kohle zur Energieerzeugung genutzt werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2050 auf 2,5 Gigatonnen sinken. Vor diesem Hintergrund wird auch angenommen, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix bei 40 Prozent im Jahr 2050 liegt (IPCC 2013).

Das für diesen Bericht entwickelte 2°-Szenario basiert auf den oben dargestellten Annahmen und kann damit ebenfalls in die IPCC-Logik eingeordnet werden. Da zur Erreichung des 2°-Ziels umfangreiche Investitionen notwendig sind, wird mit einem signifikanten Wachstum der Märkte für Klimaschutztechnologien gerechnet. Im folgenden Abschnitt wird die globale Entwicklung der Klimaschutzmärkte in beiden Szenarien vorgestellt.

## 2.2 Die Entwicklung des Weltmarktes für Klimaschutzgüter bis 2030

Der Weltmarkt für Klimaschutzgüter hat im Jahr 2013 ein Volumen von 1.940 Mrd. Euro erreicht und entspricht damit ca. 2,5 Prozent des weltweiten Bruttoinlandsprodukts 2013 (IMF 2017). Damit zeigt sich die Bedeutung des Klimaschutzmarktes in Hinblick auf den Handel mit Produkten und Dienstleistungen. Es wird erwartet, dass dieser Markt bis 2030 auch ohne weitere Maßnahmen auf 5.483 Mrd. Euro wächst (BAU-Szenario). Diesem Wachstum liegen Megatrends, wie die Globalisierung, der demografischer Wandel, die Digitalisierung und Urbanisierung zugrunde, die in den nächsten Jahrzehnten weltweit die Rahmenbedingungen für die gesellschaftliche und ökonomische Entwicklung prägen – und somit auch den Markt für Klimaschutzgüter maßgeblich beeinflussen. Hinzu kommt, dass in vielen Staaten das Bewusstsein für den Stellenwert des Umwelt- und Klimaschutzes wächst. Diese grundsätzliche Feststellung gilt in der Szenarien-Modellierung bereits für das BAU Szenario. Dieses Szenario lässt nicht außeracht, dass sich bereits in den letzten und in zukünftigen Jahren Trends entwickelt haben, die Investitionen in Klimaschutztechnologien fördern.

Um die Dynamiken und Trends in den klimarelevanten Bereichen detailliert zu erfassen und zu beschreiben, werden als Analyseraster fünf Leitmärkte verwendet: 1. Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie, 2. Energieeffizienz, 3. Rohstoff- und Materialeffizienz, 4. Nachhaltige Mobilität und 5. Kreislaufwirtschaft (stoffliche Verwertung). Diese Einteilung dient als Rahmen, um die Positionierung deutscher Anbieter auf den internationalen Klimaschutzmärkten zu skizzieren.

### 2.2.1 Definition und Erläuterungen zu den Leitmärkten

Auf dieser konzeptionellen Grundlage werden unterhalb der Ebene „Leitmarkt“ die Ebenen „Marktsegmente“ und „Technologielinien“ eingeführt. Mithilfe dieses dreistufigen Schemas lassen sich die Entwicklungen auf den nationalen und internationalen klimaschutzrelevanten Märkten differenziert darstellen. Der Begriff „Technologielinie“ umfasst Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Die

Technologielinien werden „bottom up“ zu Marktsegmenten zusammengefasst, was folgendes Beispiel veranschaulicht: Das Marktsegment „Erneuerbare Energien“ umfasst acht wesentliche Technologielinien: Photovoltaik, Solarthermie, Solarthermische Kraftwerke, Windkraft Onshore, Windkraft Offshore, Geothermie, Biomassenutzung und Wasserkraft.

Die Abbildung 1 zeigt, welche Marktsegmente den fünf klimaschutzrelevanten Leitmärkten zugeordnet sind.

Abbildung 1: Die fünf Leitmärkte der Klimaschutzwirtschaft und deren Marktsegmente

Klimaschutzrelevante Leitmärkte		Marktsegmente	
	Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erneuerbare Energien</li> <li>• Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speichertechnologien</li> <li>• Effiziente Netze</li> </ul>
	Energieeffizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieeffiziente Produktionsverfahren</li> <li>• Energieeffizienz von Gebäuden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieeffizienz von Geräten</li> <li>• Branchenübergreifende Komponenten</li> </ul>
	Rohstoff- und Materialeffizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialeffiziente Produktionsverfahren</li> <li>• Querschnittstechnologien</li> <li>• Nachwachsende Rohstoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz von Umweltgütern</li> <li>• Klimaangepasste Infrastruktur</li> </ul>
	Nachhaltige Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternative Antriebstechnologien</li> <li>• Erneuerbare Kraftstoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologien zur Effizienzsteigerung</li> <li>• Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung</li> </ul>
	Kreislaufwirtschaft (Stoffliche Verwertung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkstoffliche Verwertung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffliche Verwertung</li> </ul>

Quelle: eigene Darstellung basierend auf BMUB 2014

Am Beispiel ausgewählter Technologien wird im Folgenden verdeutlicht, dass Deutschland in vielen Segmenten der Klimaschutzwirtschaft eine marktführende Stellung hat sowie eine überdurchschnittliche Innovationsdynamik vorweisen kann.

### Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

Für den Klimaschutz spielt der Energiesektor eine Schlüsselrolle, denn er verursacht weltweit den größten Teil klimaschädlicher Treibhausgase (Prognos 2014). Deren Ausstoß zu reduzieren, während der Energiebedarf in der globalen Perspektive weiterhin zunehmen wird, zählt zu den größten Herausforderungen im Kampf gegen die globale Erwärmung. Deshalb gilt es, den Anteil von CO<sub>2</sub>-freien bzw. CO<sub>2</sub>-armen Quellen an der Energieerzeugung massiv auszubauen. Daneben ist die Nutzung fossiler Brennstoffe mithilfe von Technologien, die den Ressourcenverbrauch und den Schadstoffausstoß bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern minimieren, klimaverträglicher zu gestalten.

Die Energiespeicherung ist bei der Dekarbonisierung des Energiesektors ebenfalls ein wesentliches Element. Durch die zunehmende Dezentralisierung der Stromversorgung und den wachsenden Anteil der fluktuierenden Einspeisung der erneuerbaren Energieträger Sonne und Wind gewinnen Speichertechnologien immer mehr an Bedeutung, um die Netzstabilität zu sichern (dena 2014). Auch effiziente Netze, die zum einen die Versorgungssicherheit gewährleisten und zum anderen durch die Integration intelligenter Komponenten das Lastmanagement verbessern, sind wichtige Elemente bei der klimaverträglichen Transformation des Energiesektors. Der Logik dieser Handlungsfelder folgend, besteht der Leitmarkt „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ aus den vier Marktsegmenten „Erneuerbare Energien“, „Umweltfreundliche Nutzung fossiler Brennstoffe“, „Speichertechnologien“ und „Effiziente Netze“.

## **Energieeffizienz**

Neben dem Ausbau einer CO<sub>2</sub>-armen bzw. CO<sub>2</sub>-freien Energieerzeugung ist die Verbesserung der Energieeffizienz der entscheidende Hebel, um den Energiesektor zu dekarbonisieren (Europäische Kommission 2011). Die Energieeffizienz ist wesentlich für die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch und trägt dazu bei, weltweit den Anstieg des Energieverbrauchs zu begrenzen.

Die Systematisierung der Marktsegmente orientiert sich an denjenigen Bereichen bzw. Verbrauchergruppen, die große Potenziale für Energieeinsparungen bieten: Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen sowie der Immobiliensektor. Folgende Marktsegmente zählen zur Energieeffizienz: „Energieeffiziente Produktionsverfahren“, „Energieeffizienz von Gebäuden“, „Energieeffizienz von Geräten“ sowie „Branchenübergreifende Komponenten“ (beispielsweise Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Ventilatoren, Pumpensysteme etc.).

## **Rohstoff- und Materialeffizienz**

Zum Leitmarkt „Rohstoff- und Materialeffizienz“ gehören Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die den Verbrauch nicht-energetischer Rohstoffe (wie etwa die Metalle Eisen und Kupfer) sowie nicht-metallischer Rohstoffe (beispielsweise Steine und Erden) sowie den Einsatz von Werkstoffen reduzieren. Rohstoffeffizienz bedeutet Effizienz bei der Rohstoffgewinnung. Materialeffizienz bezeichnet die Effizienz bei der Rohstoffverarbeitung. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Güterproduktion in Industrie und Gewerbe. Die Marktsegmente „Materialeffiziente Produktionsverfahren“ sowie „Querschnittstechnologien“ adressieren hier Einsparpotenziale. Im Marktsegment „Querschnittstechnologien“ werden Biotechnologie, Nanotechnik und Organische Elektronik im Kontext der Materialeffizienz beschrieben (BMUB 2014).

Die Rohstoffförderung ist nicht nur mit Belastungen für die Natur verbunden, sondern verbraucht darüber hinaus Energie. Beides wirkt sich negativ auf das Klima aus. Negative Landschaftseingriffe können Pflanzen und insbesondere Wälder gefährden, die ein zentrales Element der Klimapolitik sind. Gleichzeitig muss für Abbau-, Trocknung- bzw. Verarbeitungsprozesse Energie aufgewandt werden und prozessbedingte CO<sub>2</sub> Ausstöße werden verursacht (bspw. bei der Aluminiumherstellung). Insofern birgt der wachsende Rohstoffbedarf erhebliche Risiken für das Klima. Daher wird der Schutz von Umweltgütern als ein Marktsegment des Leitmarktes „Rohstoff- und Materialeffizienz“ betrachtet. Ein weiteres Marktsegment dieses Leitmarktes sind „Nachwachsende Rohstoffe“: Der Ersatz (endlicher) fossiler durch nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) ist ein wesentlicher Hebel, um mit Ressourcen nachhaltig umzugehen. Das fünfte Segment des Leitmarktes „Rohstoff- und Materialeffizienz“ ist „Klimaangepasste Infrastruktur“. Darunter fallen Technologien, die dem Sturmschutz, dem Hitze- und Feuerschutz sowie dem Hochwasserschutz dienen.

## **Nachhaltige Mobilität**

Auf den Verkehrssektor entfallen mehr als ein Fünftel der weltweiten Kohlendioxid-Emissionen (IEA 2013). Etwa drei Viertel dieses Anteils verursacht der Straßenverkehr. Diese Relationen machen deutlich, dass die Dekarbonisierung dieses Bereichs ein wesentliches Element des Klimaschutzes darstellt. Dies gilt erst recht angesichts der Prognosen, die einen weiteren Anstieg des Verkehrsaufkommens vorhersagen. Ein entscheidender Faktor für die Dekarbonisierung ist dabei die Verringerung der Abhängigkeit vom Öl, das immer noch die Schlüsselressource der Mobilität darstellt (Europäische Kommission, 2014). Die Systematisierung der Marktsegmente im Leitmarkt „Nachhaltiger Mobilität“ entspricht diesen Zielsetzungen. Zu den Marktsegmenten in diesem Leitmarkt gehören „Alternative Antriebstechnologien“, „Erneuerbare Kraftstoffe“, „Technologien zur Effizienzsteigerung“ sowie „Verkehrsinfrastruktur“ und „Verkehrssteuerung“.

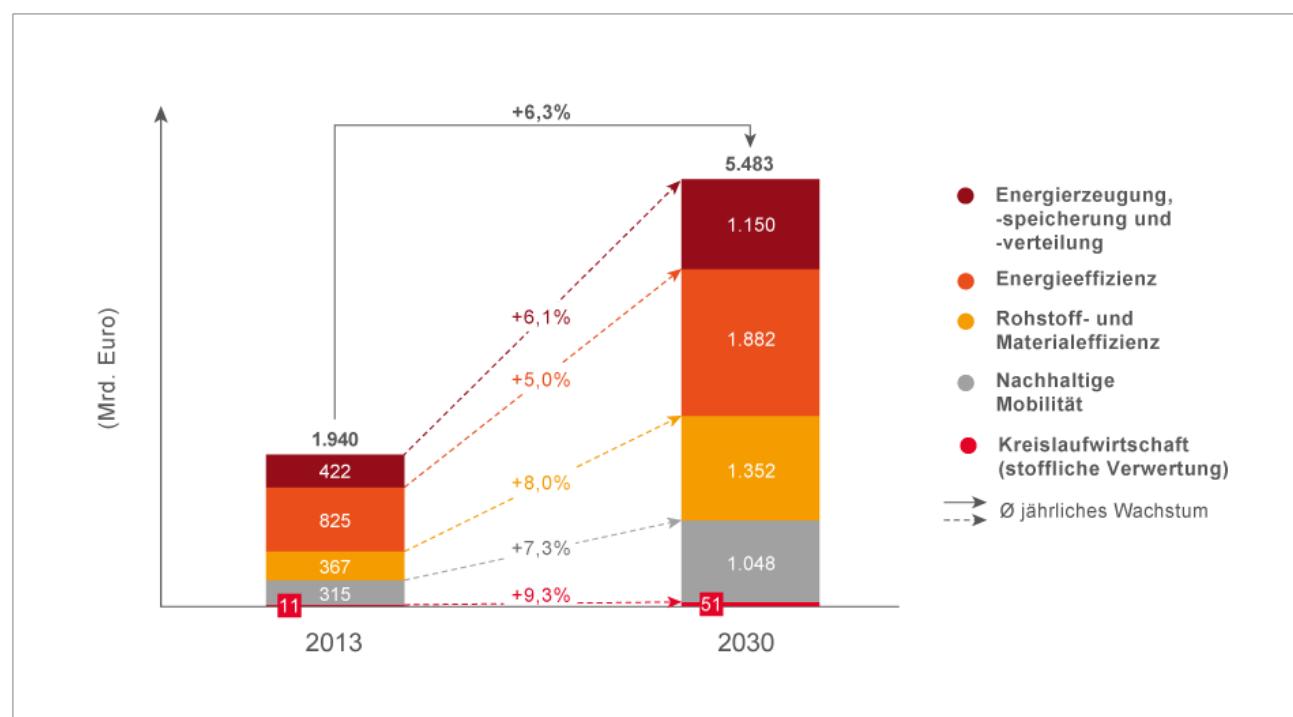
## Kreislaufwirtschaft (stoffliche Verwertung)

Indem sie die Abfallmengen senkt, trägt eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft dazu bei, die Ressourcen zu schonen. Maßgeblich ist dabei der Grundsatz „Vermeiden, Verwerten, Beseitigen“ (KrWG, 2012). Diese „Abfallhierarchie“ impliziert eine klare Prioritätensetzung: Die Entstehung von Abfall ist von vornherein zu vermeiden – das ist die beste Strategie, um die Umwelt zu schonen und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Eine nachhaltige Ausrichtung der Kreislaufwirtschaft erfordert, dass sich ein möglichst großer Anteil der Abfälle erneut nutzen lässt. Die stoffliche Verwertung trägt erheblich dazu bei, den Ressourcenverbrauch zu verringern. Dabei wird der stofflichen Verwertung Vorrang vor der energetischen Verwertung eingeräumt. Das Marktsegment „Stoffliche Verwertung“ besteht aus den Technologielinien „Werkstoffliche Verwertung“ und „Rohstoffliche Verwertung“.

### 2.2.2 Prognose des globalen Marktvolumens der Leitmärkte im BAU-Szenario

In Abbildung 2 ist das weltweite Marktvolumen der einzelnen Klimaschutzleitmärkte in den Jahren 2013 und 2030 dargestellt.

Abbildung 2: Globales Marktvolumen nach Klimaschutzleitmärkten für das BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

Den größten Anteil stellen aktuell Güter und Dienstleistungen im Leitmarkt „Energieeffizienz“ mit 825 Mrd. Euro. Bedingt durch die weltweit steigenden Strompreise, sind vor allem Unternehmen des produzierenden Gewerbes – aber auch des Dienstleistungssektors – interessiert, ihre Energiekosten zu senken. Zusätzlich gewinnt die Energieeffizienz im Gebäudesektor an Bedeutung: Die Nachfrage nach Geschäfts- und Wohngebäuden, die in ressourcenschonender Bauweise errichtet werden und während der Nutzung eine hohe Energieeffizienz gewährleisten, nimmt zu. In den nächsten Jahren wird im Leitmarkt „Energieeffizienz“ ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 5 Prozent erwartet; das Marktvolumen wird demnach 2030 voraussichtlich bei 1.882 Mrd. Euro liegen. Dabei ist anzunehmen, dass sich die Wachstumsdynamik in diesem Markt aufgrund der hohen Einsparpotenziale im Bereich „Energieeffizienz“ noch leicht verstärken wird. Im Vergleich dazu dürfte die Wachstumsdynamik in anderen Leitmärkten über den Zeitverlauf leicht abnehmen, weil bereits ein hoher Installationsgrad von Klimaschutztechnologien erreicht ist.

Nach der Energieeffizienz ist die umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie mit einem Volumen von derzeit 422 Mrd. Euro der zweitgrößte Leitmarkt der Klimaschutzwirtschaft. Für die Dekarbonisierung des Energiesektors sind neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien auch die Speicherung und Verteilung von Energie immens wichtig: Eine weitere Voraussetzung für die Transformation des Energiesystems sind zunächst effiziente Netze, die Versorgungssicherheit gewährleisten und durch intelligente Komponenten die Integration der erneuerbaren Energien erleichtern. Ein effizientes und effektives Lastmanagement gleicht die örtlich und zeitlich unterschiedlichen Stromangebote und -nachfragen aus. Wenn der Anteil regenerativer Energien wie Photovoltaik und Windkraft steigt, wird das Herstellen des erforderlichen Gleichgewichtes zwischen Stromangebot und -nachfrage für die Netzstabilität immer schwieriger. Es muss somit auch die Energiespeicherkapazität zunehmen. Die Energiespeicher sind nicht nur stationär, sondern auch mobil verfügbar und können so für die nachhaltige Mobilität genutzt werden. Das Volumen des Leitmarktes „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ wächst im BAU Szenario jährlich durchschnittlich um 6,1 Prozent auf 1.150 Mrd. Euro im Jahr 2030.

Durch die weltweite Zunahme des motorisierten Individualverkehrs in Verbindung mit dem Trend zur Urbanisierung, treten in vielen Metropolen immer häufiger akut sichtbare Umweltprobleme auf, beispielsweise Smog. Dies führt zu einer verstärkten Nachfrage nach Produkten, die einen lokalen Ausstoß von Abgasen vermeiden oder zumindest reduzieren. Der Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ umfasst die Marktsegmente „Alternative Antriebstechnologien“ und „Erneuerbare Kraftstoffe“. Mit dem zunehmenden Umweltbewusstsein in Verbindung mit regulatorischen Vorschriften werden elektrische und hybride Antriebstechnologien populärer. Das Volumen des Leitmarktes „Nachhaltige Mobilität“ wird sich mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate im Bau Szenario von 7,3 Prozent voraussichtlich von 315 Mrd. Euro (2013) auf 1.048 Mrd. Euro im Jahr 2030 erhöhen.

Eine hohe Relevanz zeigen Produkte, Prozesse und Dienstleistungen des Leitmarktes „Rohstoff- und Materialeffizienz“. Für die kosteneffiziente Produktion ist der umweltschonende Einsatz von Rohstoffen und Materialien erforderlich. Hier lassen sich die Ziele von Unternehmen – vor allem aus dem verarbeitenden Gewerbe – mit dem Klimaschutz nachhaltig verbinden. Mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 8 Prozent wird sich das Volumen dieses Leitmarktes im Bau Szenario von 367 Mrd. Euro (2013) auf 1.352 Mrd. Euro im Jahr 2030 erhöhen.

Die dynamischste Entwicklung unter den Leitmärkten der Klimaschutzwirtschaft verzeichnet die Kreislaufwirtschaft. Mit einem Marktvolumen von 11 Mrd. Euro (2013) ist sie zwar der kleinste der fünf klimaschutzrelevanten Leitmärkte; allerdings hat sie mit 9,3 Prozent die höchste jahresdurchschnittliche Wachstumsrate. Auch wenn das derzeit niedrige Preisniveau auf den Rohstoffmärkten aktuell die Nachfrage nach Lösungen zur stofflichen Verwertung nicht vorantreibt, bleiben diese Technologien mittel- und langfristig relevant für den Klimaschutz: Durch die endlichen Rohstoffvorkommen sowie aufgrund der nationalen Interessen der rohstoffarmen Länder wird das Marktvolumen der Kreislaufwirtschaft expandieren. Im Jahr 2030 wird es sich voraussichtlich auf 51 Mrd. Euro beziffern.

In allen Leitmärkten haben Dienstleistungen eine wesentliche Funktion als Treiber für die ökologische Modernisierung der Wirtschaft. In Deutschland liegt der Anteil der Dienstleistungen am gesamten Marktvolumen der Leitmärkte bei 54 Prozent; das entspricht 184 Mrd. Euro. Zum Vergleich: Die deutsche Wirtschaftsstruktur aller Branchen weist ein Dienstleistungsanteil von 69% mit einem absoluten BIP Anteil von 1888 Mrd. Euro<sup>3</sup>. Dabei lassen sich die Dienstleistungen in drei Kategorien unterteilen: originäre, industriebezogene und unternehmensbezogene Dienstleistungen. Einer besonderen Bedeutung für den Klimaschutz kommen originäre Umwelttechnik-Dienstleistungen zu. Diese Gruppe umfasst Dienstleistungen, die unmittelbaren Bezug zur Umwelttechnik haben, die in der Umweltbranche

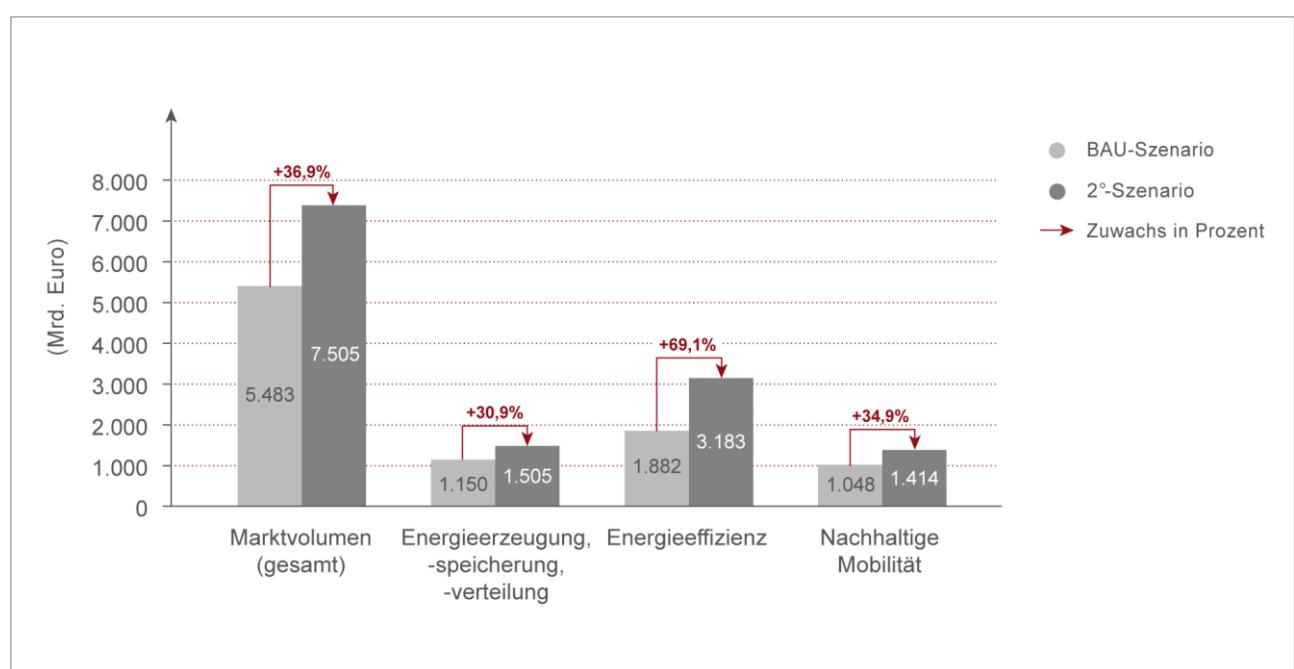
<sup>3</sup> Statistisches Bundesamt, Bruttoinlandsprodukt 2013 für Deutschland, Seite 11 (2014).

entstanden sind und keine Entsprechung in anderen Wirtschaftszweigen haben. Dazu zählen beispielsweise Beratungsleitungen zu den Themen Energieeffizienz oder Materialeffizienz, sowie der Vertrieb von Ökostrom.

### 2.2.3 Vergleich der Prognosen im BAU-Szenario und 2°-Szenario

Abbildung 3 stellt das Marktvolumen des Klimaschutzmarktes für die zwei unterschiedlichen Szenarien im Jahr 2030 dar. Während im BAU-Szenario für die fünf Leitmärkte ein Gesamtvolume von 5.483 Mrd. Euro errechnet wurde, muss unter der Annahme des Erreichens des 2°-Ziels der globale Klimaschutzmarkt um weitere 37 Prozent wachsen. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf die Klimaschutzleitmärkte „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“, „Energieeffizienz“ und „Nachhaltige Mobilität“. Hintergrund ist, dass für das 2°-Szenario insbesondere die Entwicklung der Variablen Luftschadstoffe, Energieverbrauch und Energiemix relevant ist. Derzeit liegen keine belastbaren Szenarien vor, aus denen hervorgeht, dass durch eine weitere Steigerung der Investitionen in den Bereichen „Ressourcen- und Materialeffizienz“ sowie „Stoffliche Verwertung“ ein relevanter Einfluss auf diese Variablen möglich ist.

Abbildung 3: Marktvolumina des Klimaschutzmarktes sowie ausgewählter Klimaschutzleitmärkte im Jahr 2030 im BAU- und im 2°-Szenario; Prozentzahl gibt den Unterschied zwischen BAU und 2° Szenario an



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

Der Volumenunterschied zwischen beiden Szenarien im Leitmarkt „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ beträgt gut 30 Prozent bzw. 355 Mrd. Euro. Das jährliche durchschnittliche Wachstum steigt von 6,1 auf 7,8 Prozent. Der Unterschied liegt vor allem darin begründet, dass im 2°-Szenario deutlich mehr Investitionen in erneuerbare Energien getätigt werden, da mit einem weltweiten Anteil am Energiemix für die erneuerbaren Energien von 40 Prozent gerechnet wird. Der Volumenunterschied für den gesamten Leitmarkt kann ausschließlich mit den hierfür notwendigen Investitionen erklärt werden.

Das Marktvolumen der Energieeffizienzgüter und -dienstleistungen wird sich von 2013 bis 2030 im Vergleich zum Ausgangswert unter Berücksichtigung des 2°-Szenarios knapp vervierfachen. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 8,3 Prozent. Zugleich ist das Marktvolu-

men im 2°-Szenario mit 3.183 Mrd. Euro in 2030 um 69 Prozent größer als im BAU-Szenario mit 1.882 Mrd. Euro. Diese Entwicklung lässt sich insbesondere dadurch begründen, dass im 2°-Szenario mit hohen Energieeinsparpotenzialen im Gebäudebereich und bei Produktionsverfahren gerechnet wird. Verglichen mit anderen Studien (u.a. dem World Energy Investment Outlook) fällt diese Entwicklung auch deshalb leicht höher aus, weil der Leitmarkt „Energieeffizienz“ einen noch stärkeren Fokus auf den Industriesektor inklusive aller industriellen Fertigungsprozesse legt. Insgesamt ergibt sich in diesem Leitmarkt ein kumuliertes Marktvolumen bis 2030 von rund 32 Billionen Euro.

Der Volumenunterschied zwischen den beiden Szenarien im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ beträgt etwa 35 Prozent bzw. 366 Mrd. Euro im Jahr 2030. Das jährliche durchschnittliche Wachstum steigt auf 9,2 Prozent. Diese Differenz ist fast ausschließlich mit zusätzlichen Investitionen in Elektroantriebe begründbar, da weltweit Staaten das Entlastungspotenzial dieser Technologie erkennen.

Auch wenn Kreislaufwirtschaft und Rohstoff- und Materialeffizienz entscheidend für den weiteren Klimaschutz sind, können im Moment keine höheren Marktvolumina im 2°-Szenario erkannt werden. Die Leitmärkte zeigen keine wesentlichen Unterschiede in der Betrachtung beider Szenarien.

Der Vergleich der Szenarien zeigt, dass ausgehend von einem bereits starken Wachstum des Marktvolumens im BAU-Szenario eine weitere Steigerung des Marktvolumens im 2°-Szenario berechnet wird. Das zeigt, dass die Bedeutung des Klimaschutzes noch weiter zunimmt: immer mehr grüne Produkte und Dienstleistungen werden angeboten werden und mehr Unternehmen werden sich mit Klimaschutz auseinandersetzen.

## 2.3 Wachstumsdynamik der Leitmärkte in ausgewählten Ländern

Das globale Wachstum der Klimaschutzmärkte resultiert aus der Summe der Entwicklungen in den Ländern. Nationale Richtlinien und Gesetze setzen unterschiedliche Schwerpunkte beim Klimaschutz – was wiederum die Wachstumsdynamik der einzelnen Leitmärkte beeinflusst. Im Folgenden wird die Entwicklung der Leitmärkte in ausgewählten Ländern untersucht.<sup>4</sup> Dazu wurden umfangreiche Marktstudien der einzelnen Länder für ausgewählte Marktsegmente analysiert und in das bestehende globale Marktmodell integriert.

### 2.3.1 Betrachtung im BAU-Szenario

#### Deutschland

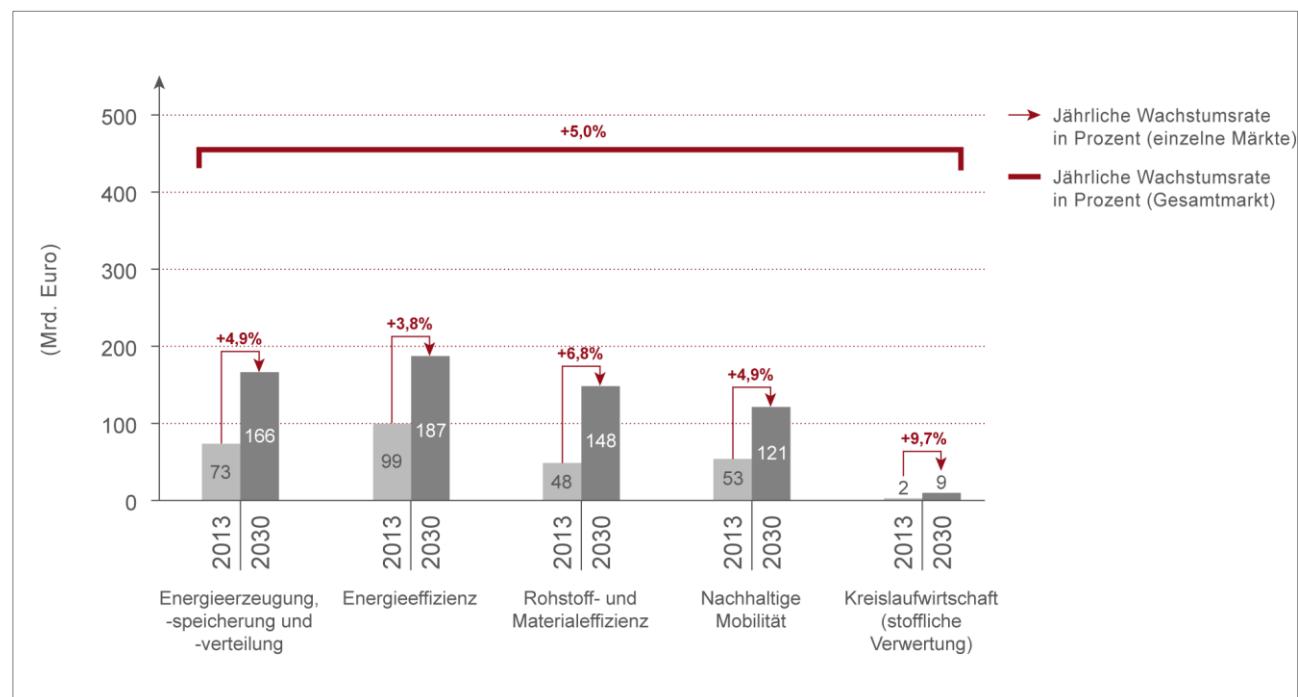
Mit dem 2010 verabschiedeten Energiekonzept und dem 2011 beschlossenen Gesetzespaket zur Energiewende hat die Bundesregierung den gesetzlichen Rahmen für die Verbesserung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien gelegt. Engagement und Bewusstsein für den Umwelt- und Klimaschutz spiegeln sich im Volumen der fünf Klimaschutzleitmärkte in Deutschland wider, das 276 Mrd. Euro beträgt (2013). Das Volumen enthält zusätzlich zu den core und non-core Klimaschutzbereichen für Güter, die in Arbeitspaket 1 dargestellt werden, mehr klimaschutzbezogene Dienstleistungen. Vergleicht man die Entwicklung der einzelnen Klimaschutzleitmärkte bis 2030, ist in der Kreislaufwirtschaft – mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 9,7 Prozent – das größte Wachstum zu erwarten (Abbildung 4). Das Volumen dieses mit Abstand kleinsten Leitmarktes wird sich voraussichtlich von 2 Mrd. Euro (2013) auf 9 Mrd. Euro im Jahr 2030 erhöhen. Im Vergleich zu anderen Ländern ist dieser Bereich in Deutschland bereits ausgebaut. Bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 6,8 Prozent zeigt der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz die höchste absolute Steigerung: Sein Volumen wird 2030 voraussichtlich 100 Mrd. Euro höher liegen. Wesentliche Treiber dieser Entwicklung sollen Investitionen in branchenübergreifende Querschnittstechnologien,

<sup>4</sup> Die Aufteilung des Marktvolumens auf die einzelnen Länder erfolgt dabei auf Basis mehrerer Marktstudien. Diese umfassen OECD (2012); Greenpeace (2015); IEA (2015c); UNFCCC (2015); UNO (2015) (siehe Literaturverzeichnis).

beispielsweise Nano- und Biotechnologien sein. Darüber hinaus wird in vielen Forschungsprojekten und in der Industrie die Steigerung der Materialeffizienz um den Faktor 4 angestrebt. In den letzten Jahren gab es dazu bereits mehrere Förderprojekte und es ist gelungen, die Rohstoffproduktivität kontinuierlich zu steigern.

Deutschland ist und bleibt ein starker Markt für die Leittechnologien im Klimaschutzbereich. Die bereits ambitionierten Klimaschutzanstrengungen spiegeln sich im BAU-Szenario und dem prognostizierten Marktvolumen wider. Dies soll auch langfristig die Attraktivität von Deutschland für innovative Klimaschutztechnologien sichern.

Abbildung 4: Marktvolumen in Deutschland nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum für das BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

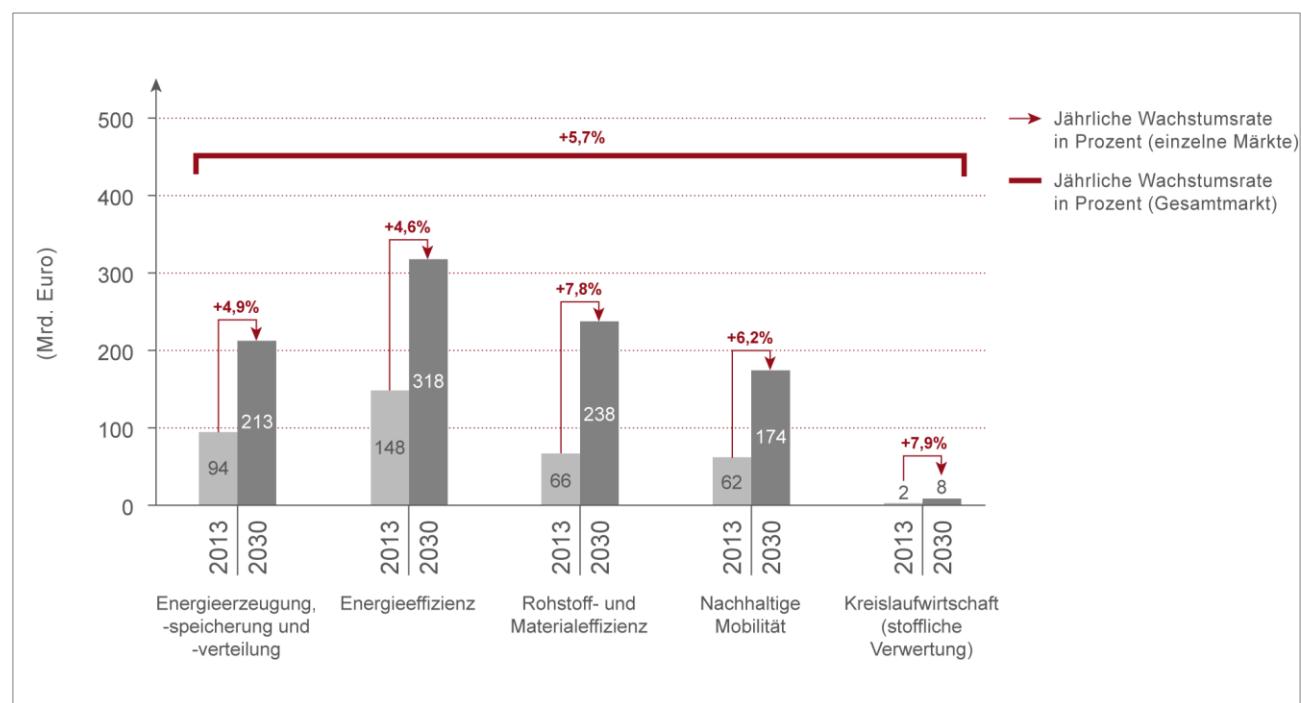
### Europäische Union (ohne Deutschland)

Die Europäische Union bildet mit 28 Mitgliedstaaten eine politische und wirtschaftliche Vereinigung. In den Top 20 des Klimaschutz-Index 2016 dominieren eindeutig die EU-Länder. Es gibt nur zwei Staaten in diesem Spaltenfeld, die keine EU-Mitglieder sind: Marokko und die Schweiz. 2009 haben die Staats- und Regierungschefs der EU das langfristige Ziel ausgegeben, dass die Treibhausgas-Emissionen der EU-Staaten bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 sinken sollen. Einen weiteren Meilenstein setzte die UN-Klimakonferenz in Paris 2015. Eine neues Übereinkommen wurde geschlossen, welches die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau anstrebt. Nach dem "Winterpaket" des Jahres 2016 der Europäischen Kommission sollen die THG Emissionen weiter reduziert werden. In der EU sollen -wie in Deutschland- vor allem die Klimaschutzleitmärkte „Kreislaufwirtschaft“ und „Rohstoff- und Materialeffizienz“ mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 7,9 Prozent bzw. 7,8 Prozent deutlich wachsen (Abbildung 5). Durch EU-Förderprogramme, wie beispielsweise Horizont 2020, sollen Effizienzinitiativen in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) unterstützt werden. Analog zur Situation in Deutschland zielt diese Entwicklung ebenfalls auf verstärkte Investitionen in branchenübergreifende Querschnittstechnologien ab. Hinzu kommen die Auswirkungen der Ökodesign-Richtlinie: Mit ihr hat die Europäische Kommission die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Produkten

gesetzlich verankert. Die Ökodesign-Richtlinie erfasst ein breites Spektrum von Produktgruppen. Weiterhin fällt das Wachstum des Leitmarktes „Nachhaltige Mobilität“ von 62 Mrd. Euro auf 174 Mrd. Euro im Jahr 2030 höher aus als in anderen Ländern. Die EU will die Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor verringern und zwar um 20 Prozent bis 2030 (auf Basis 2008) sowie um 60 Prozent bis 2050 (auf Basis 1990). Um diese Ziele zu erreichen gibt es verschiedenste Anstrengungen von der europäischen Ebene bis hin zur kommunalen Politik. So kann beispielsweise die EU-Verkehrspolitik Grenzwerte festlegen und Rechtsvorschriften erlassen, die eine höhere Kraftstoff-Effizienz oder eine weitere Reduktion klimaschädlicher Emissionen verlangen. Aber auch viele Kommunen und Städte in Europa wollen den Ausstoß von CO<sub>2</sub> in Ballungsräumen aktiv vermeiden und haben beispielsweise Umweltzonen eingerichtet. Vor diesem Hintergrund steigen insbesondere Investitionen in alternative Antriebstechnologien (86 Mrd. Euro 2030).

Im Vergleich zu Deutschland wachsen die Marktvolumina in Europa stärker. Dies zeigt auch Möglichkeiten für deutsche Unternehmen auf, mit ihren Erfahrungen auf dem europäischen Markt zu profitieren. Gerade in den stark wachsenden Leitmärkten der Rohstoff- und Materialeffizienz und der nachhaltigen Mobilität ergeben sich Chancen das wachsende Marktvolumen für den verstärkten Absatz deutscher Produkte und Dienstleistungen zu nutzen.

Abbildung 5: Marktvolumen in Europa (ohne Deutschland) nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

## USA

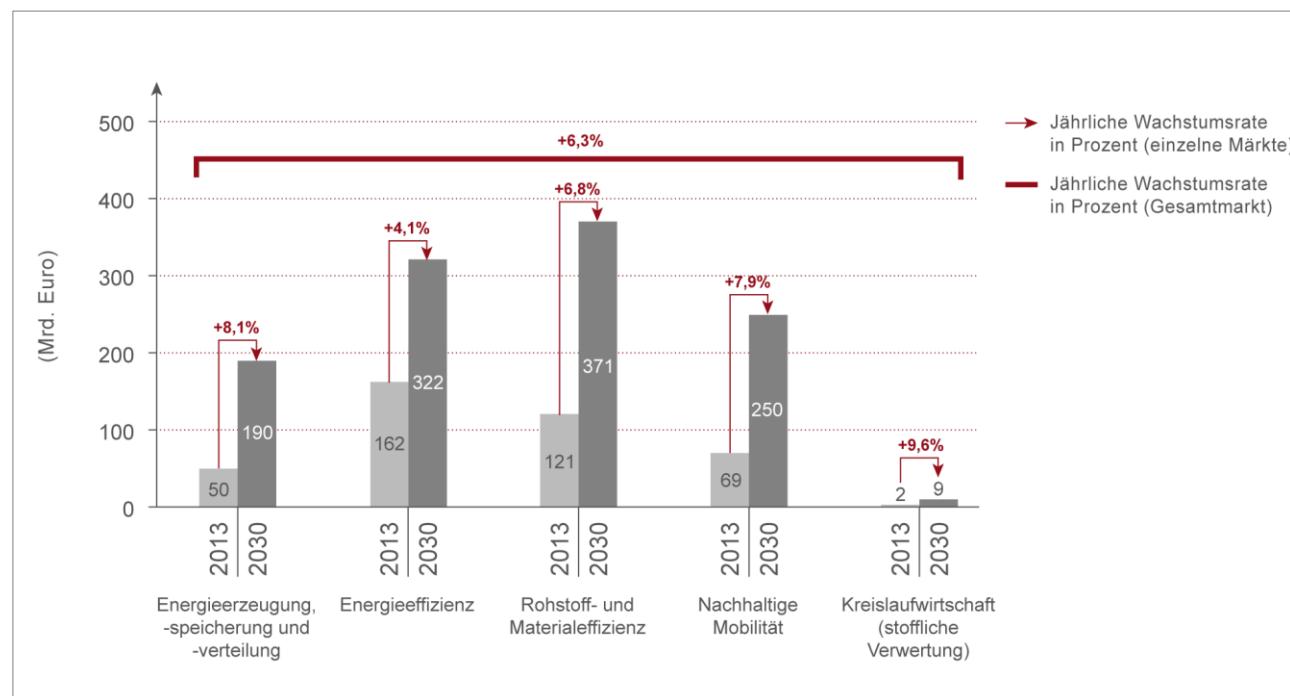
Auffällig am Klimaschutzmarkt der USA ist die Wachstumsdynamik in den Leitmärkten „Umwelt-freundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ sowie „Nachhaltige Mobilität“. In beiden Leitmärkten sind die USA besonders aktiv (Abbildung 6). Mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 8,1 Prozent in der Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung nehmen die USA eine Führungsposition beim Ausbau erneuerbarer Energien ein. Beispielsweise treibt die US-

Regierung seit 2011 mit der SunShot-Initiative den Ausbau der Solarenergie systematisch voran. Der von Präsident Obama und der „U.S. Environmental Protection Agency“ (EPA) im August 2015 vorgelegte „Clean Power Plan“ (CPP)<sup>5</sup> sieht vor, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung bis 2030 um ein Drittel, verglichen mit 2005, zu reduzieren. Mitte 2017 kündigte der amtierende Präsident der USA, Donald Trump, den Pariser Klimavertrag. Die zukünftige Position der USA zum Klimaschutz ist weiterhin unklar.

Die USA verfolgen das Ziel, den Gesamtenergieverbrauch (gegenüber 2005) um 25 bis 28 Prozent bis 2025 zu senken. Darüber hinaus wächst auch der Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ von 69 Mrd. Euro (2013) auf 250 Mrd. Euro im Jahr 2030. Dabei nutzt die USA nicht nur das Potenzial von Biokraftstoffen; vielmehr kann sie auch in der Automobil- und Informationstechnik-Industrie neue und effektivere Antriebstechnologien auf den Markt bringen. Allein auf Elektroantriebe entfallen im Jahr 2030 Investitionen in Höhe von 84 Mrd. Euro. Der Leitmarkt weist damit ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 7,9 Prozent aus. Mit diesen und weiteren Schritten zur Verbesserung des Klimaschutzes belegt die USA Rang 34 im Klimaschutz-Index 2016 – damit verbesserte sie sich aufgrund ihrer ambitionierteren Klimapolitik um zwölf Plätze im Vergleich zum Vorjahr.

Als zweitgrößter Kohlenstoffdioxidemittent der Erde kann das Marktwachstum in den Klimaschutzleitmärkten zur erheblichen Verringerung der weltweiten Emissionen beitragen. Dies betrifft sowohl große Kraftwerke, die durch Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung ersetzt werden können, als auch die verstärkte Nachfrage von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien.

Abbildung 6: Marktvolumen in den USA nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

<sup>5</sup> Die Umsetzung dieses Plans wurde am 9. Februar 2016 vom Obersten US-Gerichtshof gestoppt, um die rechtliche Zulässigkeit zu überprüfen. Das Verfahren ist derzeit noch anhängig.

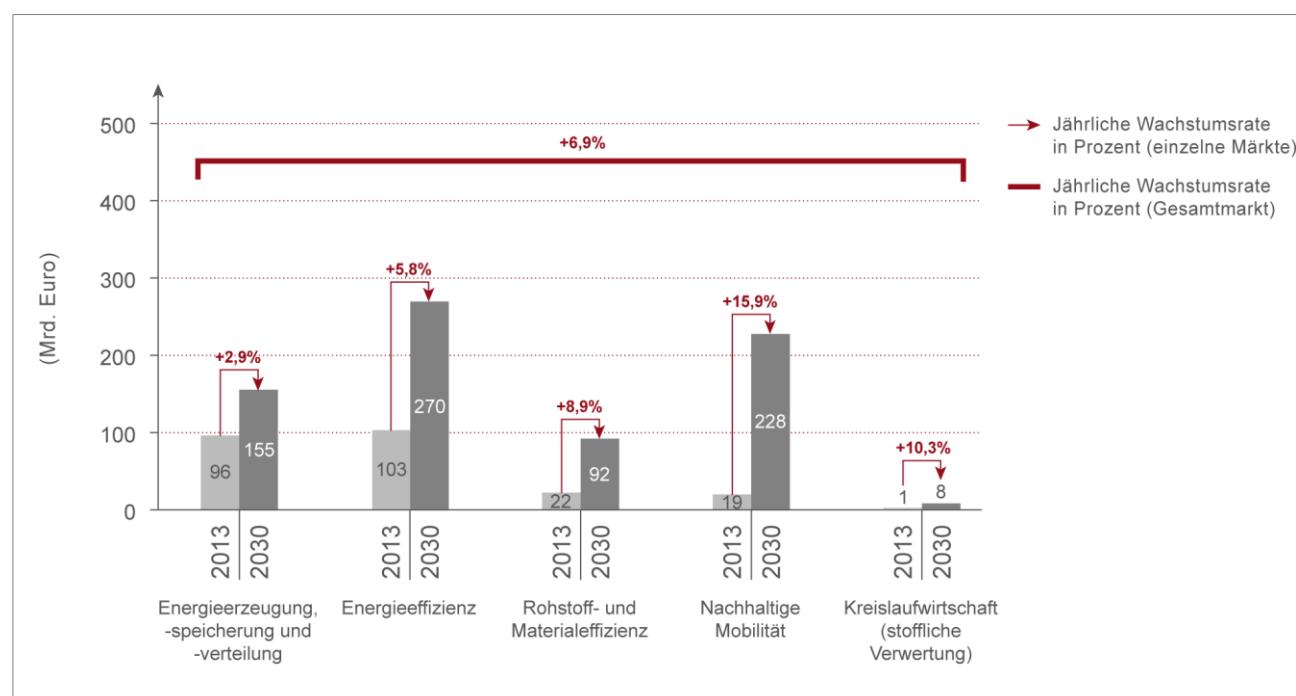
## China

Obwohl die chinesische Regierung durchaus erkannt hat, dass der Umweltschutz in der Energieerzeugung verbessert werden muss, zeigt das Land bis 2030 im internationalen Vergleich das geringste Wachstum im Klimaschutzleitmarkt „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“. Der Ausbau der Energieerzeugung ist nicht mehr in gleichem Maß notwendig wie früher, sodass sich die Investitionen in erneuerbare Energien weniger dynamisch entwickeln dürfen als in der Vergangenheit. Für diesen Leitmarkt kann nur mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 2,9 Prozent gerechnet werden (Abbildung 7). Im 13. Fünfjahresplan (2016-2020) werden umwelt- und energiepolitische Ziele verkündet: Die Energieintensität (Energieverbrauch/BIP) soll im Vergleich zu 2015 bis zum Jahr 2020 um mindestens 15 Prozent sinken. Bis 2030 soll der Anteil nicht-fossiler Energieträger (Atomenergie und erneuerbare Energien) am Primärenergieverbrauch auf 20 Prozent steigen. China positioniert sich damit im aktuell schwierigen internationalen Umfeld als zukünftig starker Akteur im Klima- und Umweltschutz.

China zählt zu den dynamischsten Märkten für nachhaltige Mobilität: Dieser Leitmarkt entwickelt sich bis 2030 voraussichtlich mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 15,9 Prozent. Aufgrund der Zunahme des motorisierten Individualverkehrs in Verbindung mit anderen akuten Umweltbelastungen in den Mega-Städten des Landes setzt die chinesische Regierung verstärkt auf Elektromobilität. So wird prognostiziert, dass der Markt für Elektroantriebe von heute 1 Milliarde Euro auf 110 Mrd. Euro im Jahr 2030 wächst. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 35 Prozent.

Damit könnte China großes Potenzial für die weltweite Autoindustrie bieten. In keinem anderen Land ist die Vermeidung von lokalen Emissionen durch alternative Antriebstechnologien so bedeutend, wie in China. Dies ermöglicht Chancen für die deutschen Autobauer, lenkt aber auch von großen klimapolitischen Fortschritten ab. Diese liegen in den - im Vergleich zur Größe der chinesischen Wirtschaft - kleinen Leitmärkten, wie bspw. der Rohstoff- und Materialeffizienz und der Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung.

Abbildung 7: Marktvolumen in China nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario



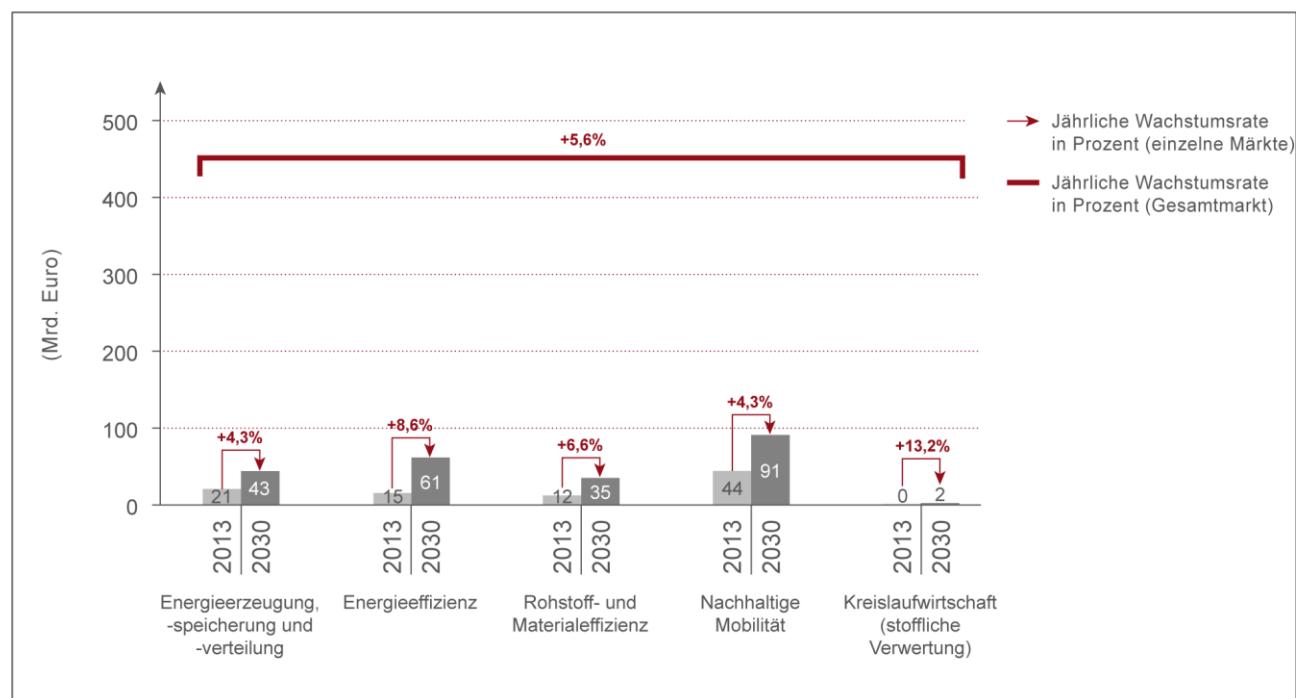
Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

## Brasilien

Als einer der BRICS-Staaten weist Brasilien in den letzten Jahren ein geringes Wirtschaftswachstum auf. Mit 232 Mrd. Euro werden in Brasilien unter den betrachteten Ländern die geringsten Investitionen in Klimaschutztechnologien erwartet. Es wird angenommen, dass der Klimaschutzleitmarkt für Energieeffizienz – Volumen in 2013 rund 15 Mrd. Euro – bis 2030 auf 61 Mrd. Euro gewachsen sein wird (Abbildung 8). Damit wird er voraussichtlich den Markt für umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie deutlich hinter sich lassen. Der Grund für die dynamische Entwicklung des Leitmarktes „Energieeffizienz“ (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate bis 2030 rund 8,6 Prozent) ist vor allem der von der brasilianischen Regierung eingeführte, nationale Energieeffizienzplan für den industriellen Sektor.

Eine starke Position hat Brasilien auch im Klimaschutzleitmarkt „Nachhaltige Mobilität“, der 2013 ein Volumen von 44 Mrd. Euro erreicht. Bereits 2008 hat das Land mehr Biokraftstoffe<sup>6</sup> für Kraftfahrzeuge verbraucht als konventionelle Kraftstoffe. Der Großteil der in Brasilien zugelassenen Fahrzeuge ist mit Flex-Fuel-Motoren ausgestattet, die sowohl mit Ethanol als auch mit Benzin betrieben werden können. Dieser Trend wird sich bis 2030 fortsetzen, sodass sich der Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ in diesem Zeitraum mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 4,3 Prozent entwickelt.

Abbildung 8: Marktvolumen in Brasilien nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

<sup>6</sup> Die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen ist umstritten und abhängig von der Methode der Herstellung sowie der eingesetzten Technologie. Hinzu kommen länderspezifische Auswirkungen der Biokraftstoffproduktion für die lokale Bevölkerung aber auch die Vegetation. So kann beispielsweise der weitere Ausbau von Zuckerrohr zur Herstellung von Ethanol in Brasilien den Bestand des Regenwaldes weiter bedrohen.

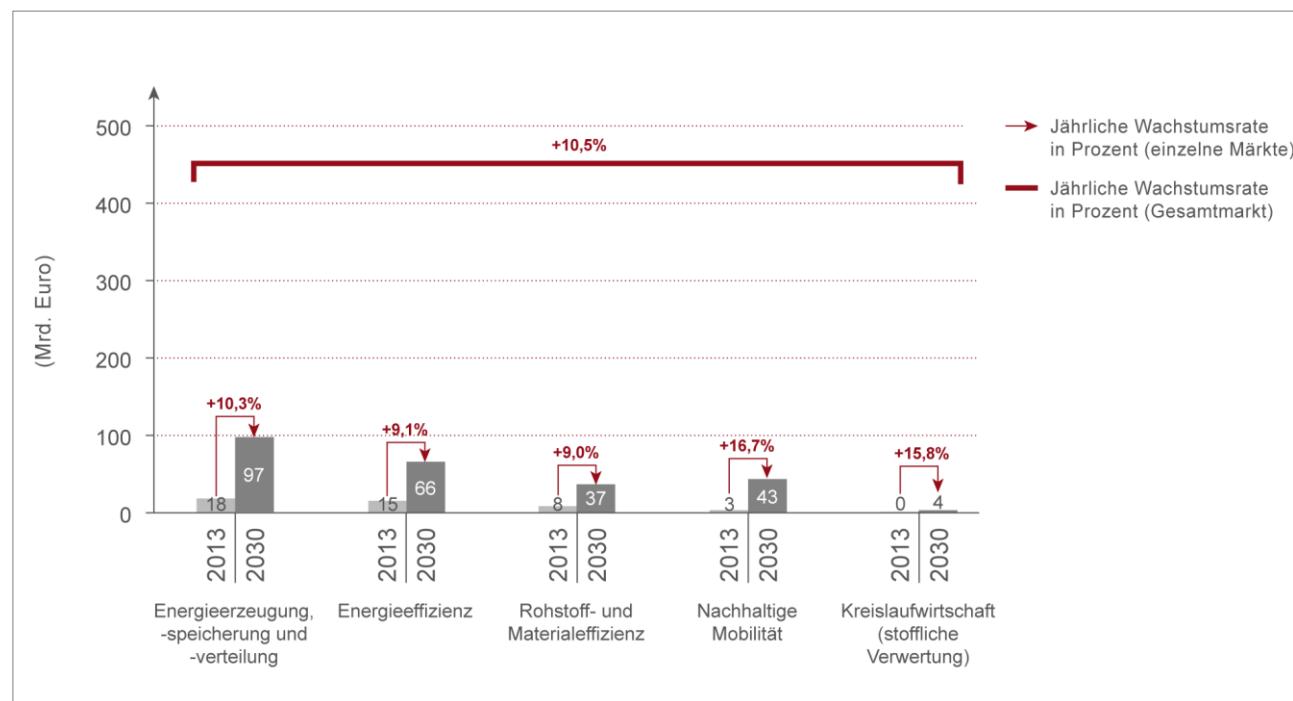
## Indien

Das Gesamtvolume des Klimaschutzmarktes ist mit aktuell 45 Mrd. Euro (2013) in Relation zur Größe des Landes eher gering. Indien hat aber seit 2005 diverse Anstrengungen unternommen, die Klimaverschmutzung zu verringern, beispielsweise durch eine Verschärfung der Auflagen für Fahrzeug-Emissionen sowie durch Gründung eines neuen Ministeriums (MNRE) für erneuerbare Energien. Die Wirtschaft zeigt im Moment jedoch wenig Engagement für den Umwelt- und Klimaschutz.

Trotz dieser Situation ist Indien sich der aus Umweltbelastungen resultierenden Gefahren bewusst und bemüht sich, die Umweltgesetzgebung zu verschärfen. Diese Tendenz spiegelt sich im Wachstum der Klimaschutzleitmärkte wider. Im Vergleich zu den anderen hier betrachteten Ländern zeigen die Klimaschutzleitmärkte Indiens die dynamischste Entwicklung. Das höchste durchschnittliche jährliche Wachstum wird voraussichtlich im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ zu verzeichnen sein (Abbildung 9). Investitionen in Elektroantriebe werden dabei über die Hälfte des bis 2030 zu erwartenden Marktvolumens ausmachen. Diese Investitionen werden mit bis zu 25 Mrd. Euro veranschlagt.

Insgesamt ist das Marktvolumen als eher gering einzuschätzen. Vielmals ist für deutsche Hightech-Lösungen nicht der hohe Ausgangsstandard vor Ort verfügbar. Dies betrifft die Beratung genauso wie den späteren Betrieb der oftmals komplexeren Lösungen in den Klimaschutzleitmärkten. So können Querschnittstechnologien für Energieeffizienz zwar verkauft werden, sind aber teilweise nicht kompatibel mit den veralteten Produktionsanlagen vor Ort. Für einen aktiven Klimaschutz wären gemessen an der Produktivität des Landes erhebliche Investitionen notwendig.

Abbildung 9: Marktvolumen in Indien nach Klimaschutzleitmärkten und durchschnittliches jährliches Wachstum im BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

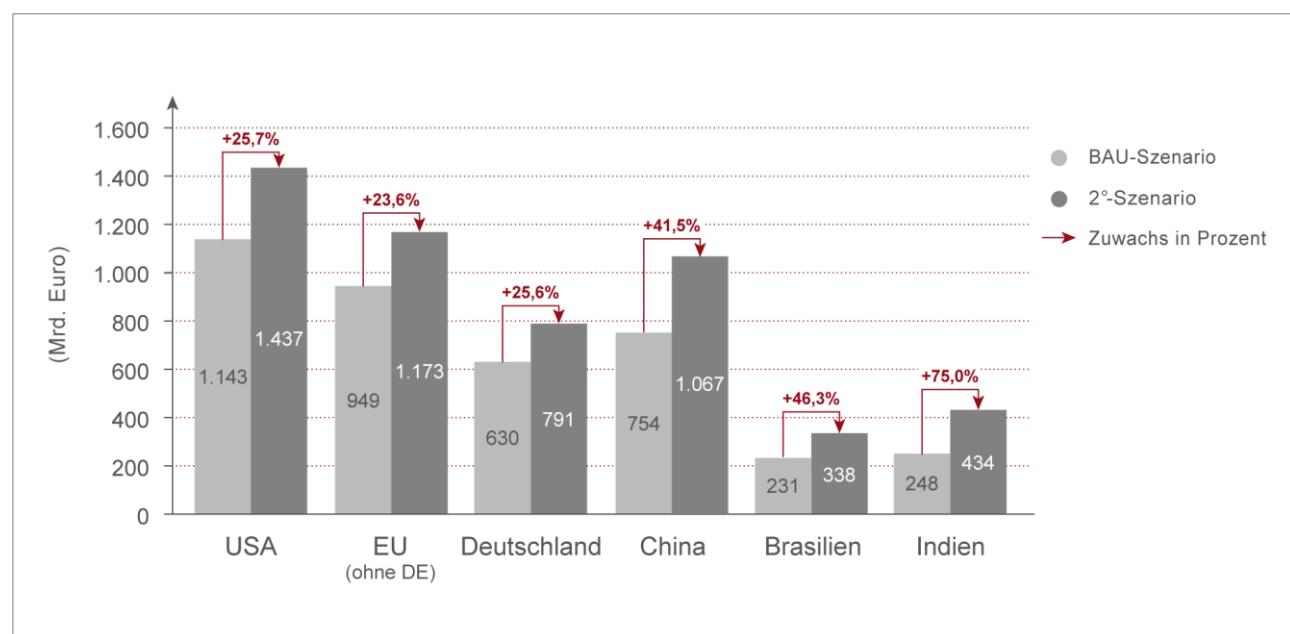
Nach der nachhaltigen Mobilität ist die Kreislaufwirtschaft in Indien der Leitmarkt mit einer besonders dynamischen Entwicklung: Für das Marktvolumen der Kreislaufwirtschaft wird eine durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 15,8 Prozent prognostiziert. Es gibt in Indien nur eine rudimentäre Infrastruktur für die Abfallbeseitigung und -verwertung. Die Verbrennung von Haushaltsabfällen und Elektroschrott führt zu enormen Umweltbelastungen. Das Land hat bereits begon-

nen, durch lokale Müllsammlungen und den Ankauf von Müll, der von „waste pickern“ auf Deponien sortiert wird, erste Ansätze umweltverträglicherer Formen der Abfallbehandlung zu schaffen. Der Leitmarkt „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ könnte mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 10,3 Prozent sein Volumen von 18 Mrd. Euro (2013) auf 97 Mrd. Euro (2030) steigern. Auch die Klimaschutzzleitmärkte „Energieeffizienz“ sowie „Rohstoff- und Material-effizienz“ wachsen jahresdurchschnittlich um 9,1 Prozent bzw. 9 Prozent. Ausschlaggebend für diesen Zuwachs sind vor allem die Investitionen in erneuerbare Energien in Höhe von 72 Mrd. Euro bis 2030. Die indische Regierung hat in diesem Bereich Handlungsbedarf identifiziert und sieht im Ausbau der erneuerbaren Energien einen wesentlichen Hebel für den Klimaschutz, weil in Indien derzeit noch knapp zwei Drittel der Nutzenergie mit fossilen Brennstoffen erzeugt wird.

### 2.3.2 Betrachtung im 2°-Szenario

Die Ergebnisse im 2°-Szenario zeigen, dass die weltweiten Investitionen in Klimaschutztechnologien im Jahr 2030 vor dem Hintergrund der ambitionierten Zielsetzung mehr als ein Drittel höher ausfallen als das Investitionsvolumen im BAU-Szenario. Diese Beobachtung zeigt sich auch auf der Länderebene, wie sich aus der nachstehenden Abbildung entnehmen lässt.

Abbildung 10: Marktvolumina der Klimaschutzzleitmärkte im BAU- und im 2°-Szenario im Jahr 2030 in ausgewählten Ländern; Prozentzahl gibt den Unterschied zwischen BAU und 2° Szenario an



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

Das zusätzliche Investitionsvolumen fällt unterschiedlich stark aus. Während Industrienationen wie die USA oder Deutschland jeweils knapp 25 Prozent zusätzliche Investitionen erzielen, erreichen China, Brasilien und Indien deutlich höhere Zuwächse. Diese grundsätzliche Beobachtung kann mit der unterschiedlichen Verbreitung bereits installierter Klimaschutztechnologien erklärt werden.

Der Vergleich zwischen BAU-Szenario und 2°-Szenario auf Länderebene verstärkt den beschriebenen Eindruck.

## **USA**

In den USA beziffert sich das Investitionsvolumen in den Klimaschutzleitmärkten 2030 auf 1.437 Mrd. Euro, das entspricht einem Plus von 294 Mrd. Euro gegenüber dem BAU-Szenario. Diese Differenz wird vor allem durch Investitionen in Energieeffizienz-Technologien (zusätzlich 145 Mrd. Euro) sowie in nachhaltige Mobilität (zusätzlich 77 Mrd. Euro) begünstigt.

## **Europa**

Der Szenarien-Vergleich für Europa zeigt einen Unterschied der Investitionsvolumina von 24 Prozent bzw. zusätzlich 224 Mrd. Euro. Der Klimaschutzleitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ wächst um weitere 65 Mrd. Euro ebenfalls stark zusätzlich und trägt damit wesentlich zum Volumenunterschied zwischen den Szenarien bei. Hintergrund für diesen Aufschlag ist die Tatsache, dass in Europa ein großes Potenzial für Fahrzeuge mit Elektro- und Brennstoffzellenantrieb besteht. Analog zum Zusatzvolumen der beiden vorherigen Märkte beträgt die Szenarien-Differenz für Deutschland knapp 26 Prozent bzw. 161 Mrd. Euro. Wie in den USA wird das zusätzliche Investitionsvolumen in Deutschland insbesondere durch die Leitmärkte „Energieeffizienz“ (zusätzlich 83 Mrd. Euro) und „Nachhaltige Mobilität“ (zusätzlich 43 Mrd. Euro) getrieben. Dabei werden im Jahr 2030 allein weitere 24 Mrd. Euro in Effizienztechnologien im Gebäudebereich investiert; 43 Mrd. Euro entfallen auf alternative Antriebstechnologien. Diese Entwicklungen sind auf politische Maßnahmen, wie zum Beispiel Gebäudesanierungsprogramme, Energiesparverordnungen und Prämien für Elektrofahrzeuge, zurückzuführen.

## **China**

Im 2° Szenario könnte beispielsweise der chinesische Markt für Klimaschutztechnologien im Jahr 2030 ein Volumen von 1.067 Mrd. Euro erreichen. Verantwortlich dafür ist ein durchschnittliches Wachstum von 9,2 Prozent pro Jahr. Vergleicht man die beiden Szenarien für China, so zeigt sich, dass das Investitionsvolumen im 2°-Szenario bis 2030 um knapp 42 Prozent oder 313 Mrd. Euro größer ausfällt. Im Wesentlichen wird diese Entwicklung durch zusätzliche Investitionen in Energieeffizienz-Technologien (165 Mrd. Euro) und nachhaltige Mobilitätslösungen getrieben. Dabei entfallen allein weitere 102 Mrd. Euro auf alternative Antriebstechnologien. Dahinter steht die Erwartung, dass China insbesondere in effizientere Produktionsverfahren investiert und das Potenzial von Elektrofahrzeugen ausnutzt, um die Schadstoffemissionen in den Städten zu senken.

## **Brasilien**

Der Szenarienvergleich für Brasilien zeigt ein ähnliches Bild. Das Investitionsvolumen fällt im 2°-Szenario um gut 46 Prozent bzw. um 107 Mrd. Euro größer aus als im BAU-Szenario. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 erwähnt, werden in Brasilien vielfach Agrar-Treibstoffe eingesetzt. Diese Tatsache spiegelt sich auch im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ wider, der im Jahr 2030 um 14 Mrd. Euro größer ist. Weiterer Treiber des 2°-Szenarios für Brasilien sind Investitionen in Energieeffizienz-Technologien. Hier ergeben sich Zusatzinvestitionen von 90 Mrd. Euro.

## **Indien**

In Indien fallen die Unterschiede zwischen dem BAU-Szenario und 2°-Szenario noch deutlicher aus als in China und Brasilien. In Indien ist das Investitionsvolumen im 2°-Szenario um 75 Prozent bzw. um 186 Mrd. Euro größer als im BAU-Szenario. Verantwortlich dafür sind insbesondere zusätzliche Investitionen in erneuerbare Energien (52 Mrd. Euro) und Energieeffizienz-Technologien (112 Mrd. Euro). Treiber hinter diesen Investitionsvolumina ist die Tatsache, dass sich das 2°-Ziel nur erreichen lässt, wenn Länder wie Indien deutliche Anstrengungen für eine umweltfreundlichere Energieerzeugung und -nutzung unternehmen. Indien steht dabei noch am Anfang eines Erneuerungsprozesses. Knapp 50 Prozent der Energieerzeugung erfolgt hier auf Basis von Kohle. Gleicher gilt für energieeffiziente Technologien, die vor allem noch nicht flächendeckend im industriellen Kontext verbreitet sind.

### 3 Szenarien des Welthandels und der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern

Von einer dynamischen Entwicklung der weltweiten Klimaschutzleitmärkte profitiert Deutschland als Exportnation mit einer starken Stellung im internationalen Handel mit diesen Gütern.

In diesem Abschnitt werden mit Hilfe des DIW Welthandelsmodells (Kasten 2) Szenarien der möglichen zukünftigen Entwicklung des Welthandels und der deutschen Exporte von Gütern, die auf Klimaschutztechnologien beruhen (Klimaschutztechnologiegüter), formuliert. Sie sind mit den im vorherigen Abschnitt 2 dargestellten Tendenzen der Entwicklung der weltweiten Nachfrage auf den Klimaschutzleitmärkten verknüpft (vgl. Kasten 2).

Darüber hinaus werden mögliche Veränderungen im internationalen Handel mit Klimaschutztechnologiegütern berücksichtigt: Veränderungen betreffen den Anteil der Nachfrage nach Klimaschutztechnologiegütern, der in anderen Ländern aus dem Ausland importiert statt im Inland produziert wird, sowie den Anteil der Klimaschutztechnologiegüter an den Importen anderer Länder, die von Deutschland geliefert werden.

Die Szenarien-Annahmen zu den Veränderungen im internationalen Handel mit Klimaschutztechnologiegütern illustrieren nach aktuellem Wissensstand plausible Größenordnungen zukünftiger Entwicklungen.. Um die Auswirkungen bestehender Unsicherheiten auf die zukünftigen deutschen Exporte zu verdeutlichen, werden Sensitivitätsrechnungen durchgeführt, bei denen diese Annahmen variiert werden.

#### Kasten 2: Methodisches Vorgehen

Ausgangspunkt im Welthandelsmodell ist die Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Klimaschutztechnologiegütern nach Ländern und Ländergruppen. Mit länder- und ländergruppenspezifischen Importquoten ergibt sich der durch Lieferungen aus dem Ausland (Importe) gedeckte Anteil der Nachfrage nach Klimaschutztechnologiegütern. In der Summe stellen sie den Welthandel (ohne Deutschland) dar. Zur Ermittlung der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern wird der Anteil deutscher Exporte an den Importen anderer Länder/Ländergruppen von Klimaschutztechnologiegütern (Lieferanteile Deutschlands) auf den Welthandel angewandt. „Stellschrauben“ des Welthandelsmodells, die für Szenario-Analysen genutzt werden können, sind also die Nachfrageentwicklung, die Importquoten und die Lieferanteile Deutschlands. Außerdem zeigt das Welthandelsmodell länder- und gütergruppen-spezifische Struktureffekte auf.

Das DIW Welthandelsmodell ist geographisch nach 6 Ländergruppen (EU (ohne Deutschland), Sonstige OECD-Länder, Sonstige Hocheinkommensländer, BRICS-Länder, Sonstige Schwellenländer sowie Niedrig- und Mitteleinkommensländer) gegliedert. Unter den EU-Ländern werden 7 Länder (Österreich, Spanien, Frankreich, Großbritannien, Italien, Niederlande, Polen) einzeln betrachtet, unter den sonstigen OECD-Ländern 2 (Japan und die USA) und unter den BRICS-Ländern 3 (Brasilien, China, Indien); die Niedrig- und Mitteleinkommensländer sind in 6 regionale Gruppen (Europa, Ostasien und Pazifik, Lateinamerika und Karibik, Mittlerer Osten und Nordafrika, Südasien, Sub-Sahara-Afrika) aufgeteilt.

Ausgangspunkt der Analyse sind „Klimaschutztechnologiegüter“, die Güter umfassen, die im Klimaschutz zum Einsatz kommen sowie auf einer vergleichbaren Technologie beruhen.

Es werden 3 (Core-) Klimaschutzbereiche („Erneuerbare Energien“, „Energieeffizienz“ und „Energieumwandlung“) und 3 weitere (Non-core-) klimaschutzrelevante Bereiche, die neben anderen Umweltentlastungen oder als Querschnittstechnologien auch zum Klimaschutz beitragen („Luftreinhaltung“, „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ sowie „Umweltfreundlichere Technologien“), betrachtet.

Um die Informationen des Roland-Berger-Marktmodells über die zukünftige Entwicklung des Marktvolumens der Klimaschutzmärkte (Abschnitt 2) nutzen zu können, muss für das Welthandelsmodell ein Indikator des Marktvolumens entwickelt werden. Er lässt sich aus den Daten der Importe sowie aus Informationen über die Importquoten der importierenden Länder gewinnen.

### Kasten 2: Methodisches Vorgehen

Die mit dem Roland-Berger-Marktmodell projizierten Entwicklungen fließen dann in das DIW Welthandelsmodell ein, um die Nachfrage ausgewählter Länder bei ähnlichen Gruppen von Klimaschutztechnologiegütern fortzuschreiben. Wegen der unterschiedlichen Abgrenzungen des Roland-Berger-Marktmodells über fünf Klimaschutzleitmärkte und des DIW-Welthandelsmodells über drei Core- und drei Non-Core klimaschutzrelevante Bereiche differieren die Entwicklung des globalen Marktvolumens der Klimaschutzleitmärkte und der weltweiten Nachfrage nach Klimaschutzgütern. Das Verfolgen beider Ansätze und die Verknüpfung in engem fachlichen Austausch bietet ein umfassendes Bild von Weltmarkt und Welthandel nach unterschiedlichen Schwerpunkten.

## 3.1 Welthandel und deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern

Die mögliche Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Klimaschutztechnologiegütern bis zum Jahr 2030 wurde in Abschnitt 2 dargestellt. Sie wird für die hier präsentierten Szenarien des Welthandels und der deutschen Exporte von Klimaschutzgütern übernommen.

Es wird angenommen, dass sich die Globalisierung der Weltwirtschaft in Zukunft fortsetzt, obwohl sich – in der Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise am Ende der 2000er-Jahre – diese Tendenz vorübergehend verlangsamt hat. Die Entwicklung ist dadurch gekennzeichnet, dass die internationalen Handelsströme mit Raten, die über dem weltweiten Wirtschaftswachstum liegen, zunehmen, dass also ein größerer Teil der weltweiten Wertschöpfung international gehandelt wird und die Importquoten steigen.

Die Importquote Deutschlands (Importe als Anteil am Bruttoinlandsprodukt zu jeweiligen Preisen) ist in der Bundesrepublik Deutschland von 1970 bis 1991 von 19,2% um fast 9 Prozentpunkte auf 28,1% gestiegen (Statistisches Bundesamt 2016). Im wiedervereinigten Deutschland hat sie von 24,2% im Jahr 1991 auf 39,2% im Jahr 2015 um 15 Prozentpunkte zugenommen. Weltweit ist die Importquote von 13,5% im Jahr 1970 um 15,3 Prozentpunkte auf 28,8% im Jahr 2015 angestiegen (World Bank 2017). Für die USA betrug der Anstieg in diesem Zeitraum 10,2 Prozentpunkte, für China 16,1 Prozentpunkte.

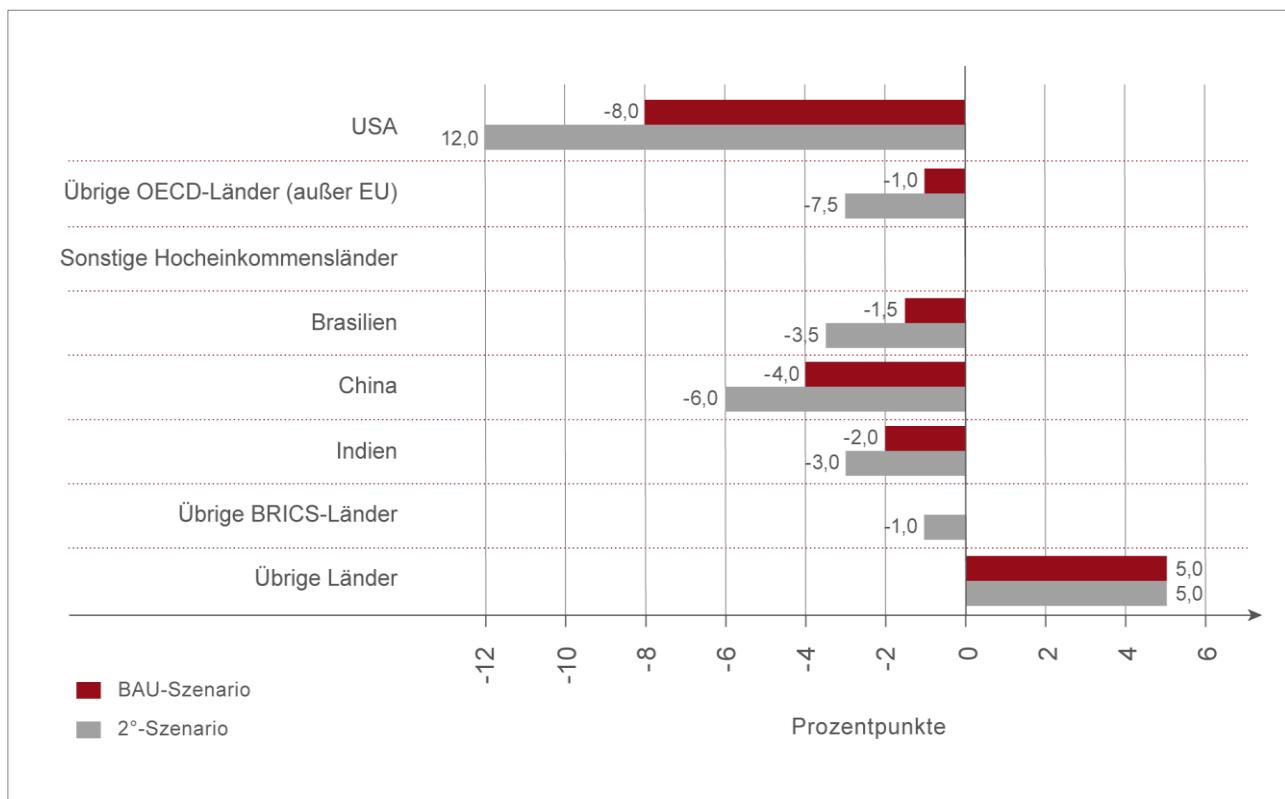
Szenarien der OECD, die in der Vergangenheit beobachtete Trends bei den Bestimmungsgründen des internationalen Handels wie die Integration von Schwellenländern in die Weltwirtschaft und die Fragmentierung von Wertschöpfungsketten für die Zukunft modifiziert forschreiben, gehen davon aus, dass die weltweite Exportelastizität (die Wachstumsrate der Exporte im Verhältnis zur Wachstumsrate des BIP) größer bleibt als eins, aber etwas geringer ist als in der Vergangenheit (Johansson und Olaberria 2014; siehe auch Château et al. 2014). Dies impliziert eine zunehmende Importquote. Das Verhältnis des Welthandels zum Welt-BIP, das jetzt in einer Größenordnung von gut 25% liegt, wird dann bis 2060 auf fast 45% ansteigen.

Auf Grundlage dieser Überlegungen wird für beide Szenarien angenommen, dass die Importquoten für Klimaschutztechnologiegüter aller Länder/Ländergruppen bis zum Jahr 2030 um 5 Prozentpunkte wachsen. Damit ist eine angesichts der Vergangenheitsentwicklung plausible Größenordnung charakterisiert.

Weiterhin wird angenommen, dass die nationale Entwicklung in den Zielländern deutscher Exporte unterschiedlich verläuft. In Ländern, in denen die Binnennachfrage nach Klimaschutztechnologiegütern hoch ist und die notwendigen technologischen Voraussetzungen vorliegen, werden im Laufe der Zeit zunehmend nationale Produktionskapazitäten für Klimaschutztechnologiegüter aufgebaut werden. Diese Länder werden dann weniger Klimaschutztechnologiegüter importieren und ihre Importquoten fallen niedriger aus, als sie es sonst wären. Dieser Effekt dürfte bei den weltweit forcierten Klimaschutzanstrengungen im 2°-Szenario stärker zum Tragen kommen als im BAU-Szenario (vgl. Abbildung 11).

Die Annahme, dass es in Zukunft zu einer Substitution von Importen von Klimaschutzgütern durch heimische Produktion und mithin zu sinkenden Importquoten in wichtigen Empfängerländern deutscher Exporte kommt, wird durch die Beobachtung gestützt, dass China bei Gütern zur Nutzung von Windkraft und anderen erneuerbaren Energien auf dem stark wachsenden heimischen Markt Importe erfolgreich substituiert hat (Gehrke und Schasse 2015, S. 75). Die Annahme korrespondiert auch mit der Einschätzung, dass internationale Unternehmen der Solarindustrie in Ländern, in denen die Nachfrage hoch genug und die Produktion kostengünstig ist, Produktionskapazitäten aufbauen (Ball und Meckling 2013).

Abbildung 11: Angenommene Veränderungen der Importquoten 2030 gegenüber 2013 im BAU- und im 2°-Szenario

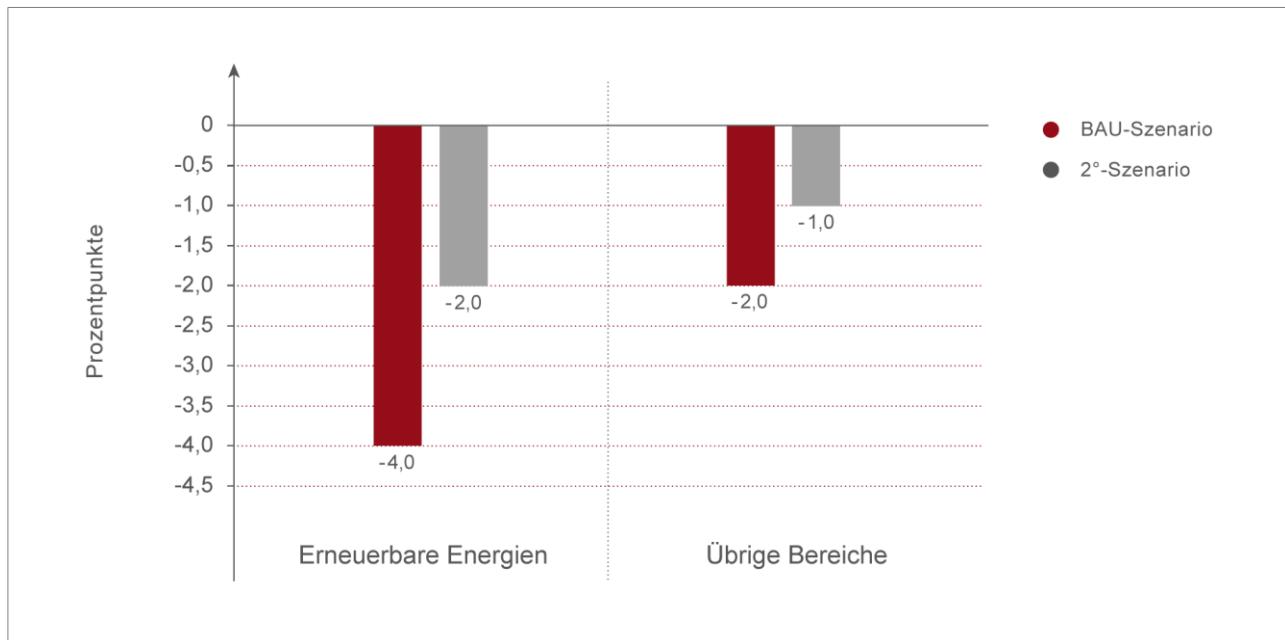


Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Besonders kräftig könnte dieser Effekt in den USA ausfallen. Hier ist die Nachfrage hoch und die technologischen Voraussetzungen sind günstig. Dort wird deshalb im BAU-Szenario angenommen, dass die Importquote für Klimaschutztechnologiegüter im Jahr 2030 um rund 8 Prozentpunkte niedriger ist als in 2013. Im 2°-Szenario werden zur Illustration 12 Prozentpunkte angenommen. Derselbe Effekt wird weniger ausgeprägt, in den Schwellenländern China (-4 bzw. -6 Prozentpunkte), Indien (-2 bzw. -3 Prozentpunkte) und Brasilien (-1,5 bzw. -3,5 Prozentpunkte) unterstellt. Auch für die übrigen OECD-Länder außerhalb der EU sowie für die übrigen BRICS-Länder wird ein Rückgang der Importquoten angenommen, der im 2°-Szenario stärker ausgeprägt ist als im BAU-Szenario.

Neben der Nachfrage im Ausland und den Importquoten bestimmen auch die deutschen Lieferanteile die deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern. Anbieter aus Ländern, in denen eigene Produktionskapazitäten entstehen, werden in verstärktem Maße auch auf Drittmarkten als Konkurrenten deutscher Exporteure von Klimaschutztechnologiegütern auftreten; das könnte dort zu Einbußen bei den deutschen Lieferanteilen führen (Abbildung 12).

Abbildung 12: Angenommene Veränderungen der deutschen Lieferanteile 2030 gegenüber 2013 im BAU- und im 2°-Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

So gehen Szenarien der OECD (Johansson und Olaberria 2014) davon aus, dass die Exporte der Eurozone bei einer Fortsetzung der Trends der Vergangenheit in 2060 nur noch 12% der weltweiten Exporte ausmachen werden, gegenüber 19% im Jahr 2012. Damit verliert die Eurozone am stärksten von allen Regionen an Weltmarktanteilen. Diese Tendenzen gelten auch für die Exporte des Verarbeitenden Gewerbes. Die erwarteten Veränderungen der regionalen Struktur des Welthandels wird auch deutschen Lieferanteile bei potenziellen Umwelt- und Klimaschutzgütern, die seit einigen Jahren etwas nachgegeben haben (Gehrke und Schasse 2015, S. 54), betreffen.

Bei den Exporten von Klimaschutzgütern wird schon jetzt eine Bedeutungszunahme aufholender Volkswirtschaften insbesondere asiatischer Länder und vor allem Chinas beobachtet (Gehrke und Schasse 2015; Cao und Groba 2013). Es lässt sich auch feststellen, dass mit zunehmender Größe des Heimatmarktes die Exporte eines Landes in Drittländer zunehmen (für Chinas Exporte von Solartechnik in die USA; s. Sawhney und Kahn 2012). Auch für die Zukunft wird vor diesem Hintergrund von deutlich verringerten deutschen Welthandelsanteilen bei Klimaschutzgütern ausgegangen (Lehr et al. 2015).

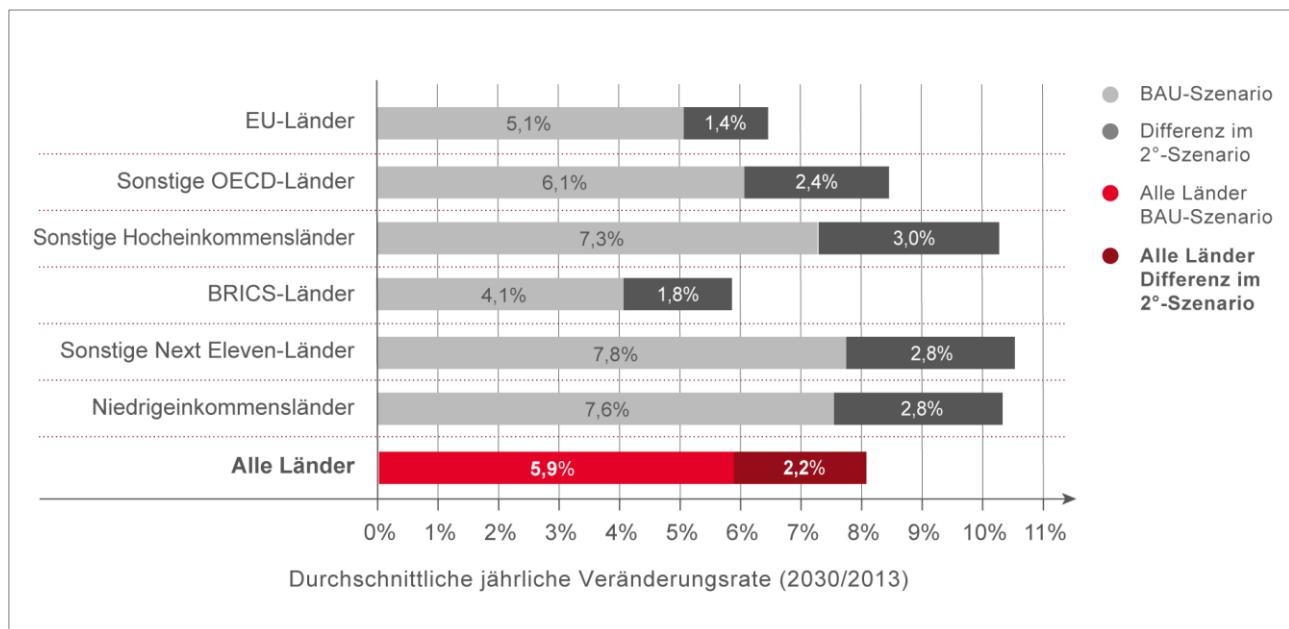
Für das BAU-Szenario wird angenommen, dass die deutschen Lieferanteile in den meisten Klimaschutzbereichen im Jahr 2030 um 2 Prozentpunkte niedriger ausfallen als in 2013. Bei Gütern zur Gewinnung erneuerbarer Energien allerdings könnte der Rückgang stärker ausfallen. Deutsche Anbieter konnten wegen der frühen Vorreiterrolle Deutschlands beim Ausbau erneuerbarer Energien zunächst hohe Lieferanteile auf Auslandsmärkten erringen. Da sich aber die Dynamik in räumlich entfernte Märkte verlagert, in denen verstärkt andere Wettbewerber auftreten, ist damit zu rechnen, dass ein Teil des durch die Vorreiterrolle gewonnenen Wettbewerbsvorteils wieder abgegeben werden muss. Diese Entwicklung wäre selbst dann zu beobachten, wenn deutsche Anbieter die Auslandsmärkte nicht mit Exporten versorgen würden, sondern durch eigene Produktionsstandorte vor Ort. Für das BAU-Szenario wird ein Rückgang der deutschen Lieferanteile von Gütern zur Gewinnung erneuerbarer Energien um 4 Prozentpunkte angesetzt.

Im 2°-Szenario könnte Deutschland eine Vorreiterrolle einnehmen und so seine technologische Wettbewerbsfähigkeit stärken. Dann würden die Lieferanteile Deutschlands auf Drittmarkten möglicher-

weise weniger stark zurückgehen als im BAU-Szenario. Bei Gütern zur Gewinnung erneuerbarer Energien sind 2 Prozentpunkte unterstellt worden. In den übrigen Klimaschutzbereichen ist für das Jahr 2030 ein Rückgang um 1 Prozentpunkt gegenüber 2013 angenommen worden. In Sensitivitätsanalysen wird überprüft, wie sehr diese Annahmen die Schätzungen der zukünftigen deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern beeinflussen (Abschnitt 3.2).

Abbildung 13 zeigt, wie sich die Importe von Klimaschutztechnologiegütern unter diesen Annahmen in den Ländergruppen entwickeln könnten.

Abbildung 13: Entwicklung des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern nach Ländergruppen im BAU- und im 2°-Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

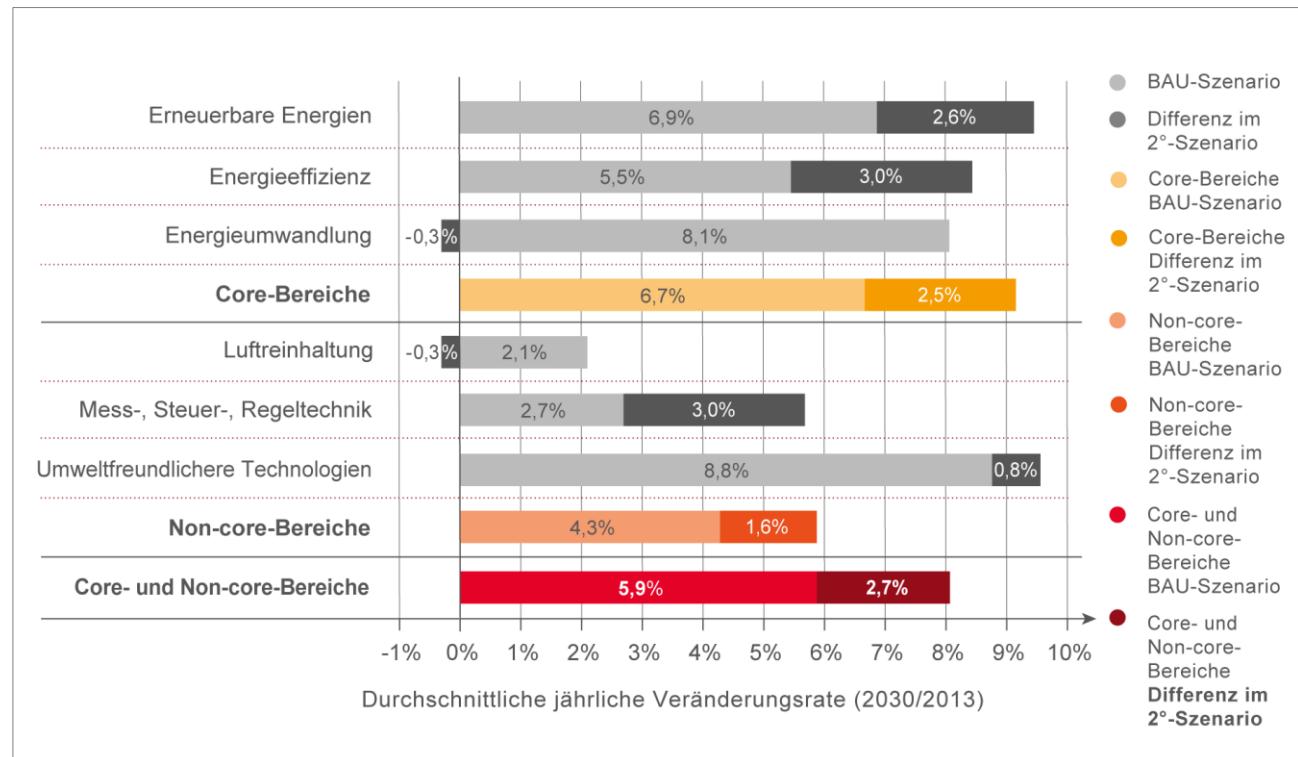
Im BAU-Szenario steigt aufgrund der dynamischen Nachfrageentwicklung trotz der sinkenden Importquoten in einer Reihe von Ländern der Welthandel mit Klimaschutztechnologiegütern um fast 6 Prozent pro Jahr. Unterdurchschnittlich steigen dabei insbesondere die Importe der BRICS-Länder, weil sie nationale Produktionskapazitäten aufbauen, das dämpft ihre Importquoten. Die schwache Entwicklung der Importe der EU-Länder geht hauptsächlich auf die dort schwächere Nachfrageentwicklung zurück.

Im 2°-Szenario ist die Dynamik der Nachfrageentwicklung deutlich höher, die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern ist um 2,2 Prozentpunkte höher als im BAU-Szenario; er nimmt also um gut 8 Prozent pro Jahr zu. Auch in diesem Szenario nehmen die Importe der BRICS- und der EU-Länder aus denselben Gründen wie im BAU-Szenario mit unterdurchschnittlichen Raten zu. Im Ergebnis ändert sich in beiden Szenarien die regionale Struktur des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern bis 2030 zu Lasten der EU- und der BRICS-Länder sowie zugunsten der übrigen Ländergruppen.

Die Entwicklung des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen ist durch die weltweite Nachfrageentwicklung geprägt. Der Welthandel nimmt in den Core-Bereichen stärker zu als im Durchschnitt, in den Non-Core-Bereichen somit schwächer (Abbildung 14). Letzteres geht auf die verhaltene Entwicklung der Importe von Gütern zur „Luftreinhaltung“ sowie der „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ zurück.

Im 2°-Szenario ist das Wachstum der Exporte von Gütern zur Luftreinhaltung und zur Energieumwandlung geringer als im BAU-Szenario. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass im 2°-Szenario weltweit stärker auf den Ausbau erneuerbarer Energien gesetzt wird und die Bedeutung fossiler Energien abnimmt. Hingegen beschleunigt sich in diesem Szenario gegenüber dem BAU-Szenario das Importwachstum in den Bereichen „Energieeffizienz“, „Erneuerbare Energien“ sowie „Mess-, Steuer-, Regeltechnik“ besonders stark.

Abbildung 14: Entwicklung des Welthandels mit Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen im BAU- und im 2°-Szenario

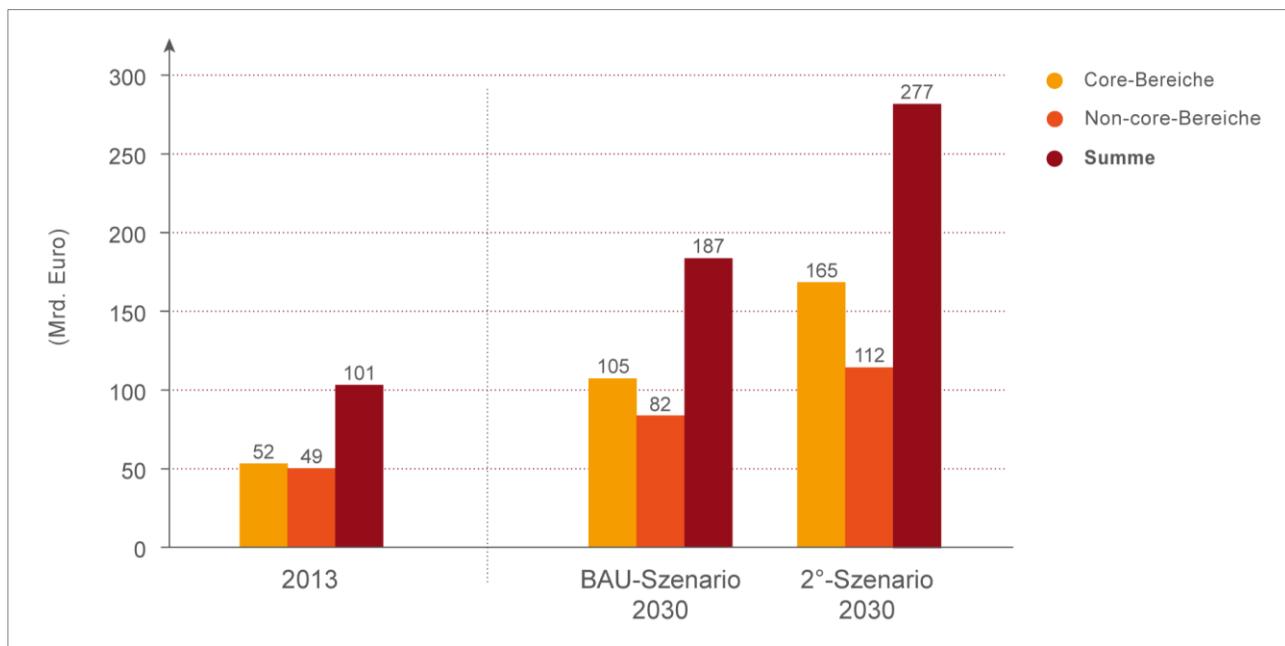


Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

### 3.2 Ergebnisse

Insgesamt ergeben sich damit im Jahr 2030 deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern von 187 Mrd. Euro (alle Angaben im Folgenden zu Preisen von 2013) im BAU-Szenario sowie von 277 Mrd. Euro im 2°-Szenario (Abbildung 15). Das höhere Wachstum im 2°-Szenario beruht sowohl auf der kräftigeren Nachfrage- und Importentwicklung als auch auf der geringeren Dämpfung deutscher Lieferanteile. Im Vergleich zu 2013 (rund 100 Mrd. Euro) steigen die deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern um jährlich 3,7 Prozent im BAU-Szenario und um 6,1 Prozent im 2°-Szenario. Die Exporte in den Core-Klimaschutzbereichen nehmen in beiden Szenarien stärker zu als in den Non-core-Bereichen. Im 2°-Szenario ist dieser Effekt noch ausgeprägter als im BAU-Szenario.

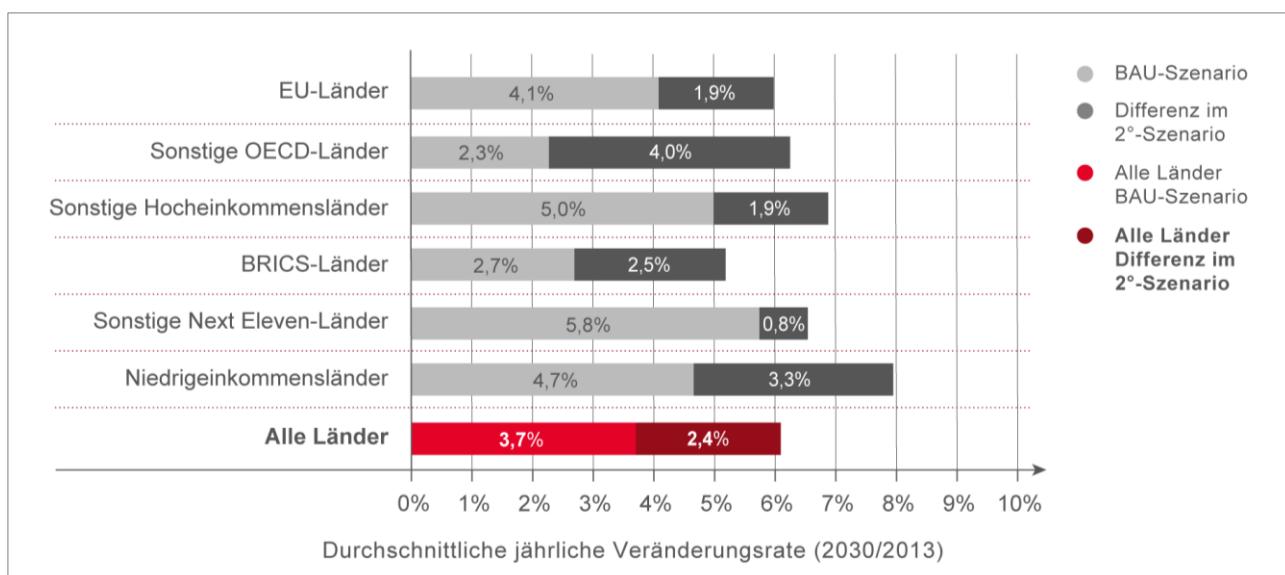
Abbildung 15: Deutsche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern im BAU- und im 2°-Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

In den Ländergruppen entwickeln sich die deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern bis 2030 durchaus unterschiedlich (Abbildung 16). Durch die sinkenden deutschen Lieferanteile wachsen im BAU-Szenario die Exporte in die OECD-Länder außerhalb der EU sowie in die BRICS-Länder überdurchschnittlich stark. Für die deutsche Klimaschutzwirtschaft ist dies insofern problematisch, als beide Ländergruppen ein hohes Gewicht unter den Zielregionen deutscher Exporte von Klimaschutztechnologiegütern haben. In beiden Regionen ist zudem die Wachstumsbeschleunigung im 2°-Szenario (gegenüber dem BAU-Szenario) überdurchschnittlich. Dies liegt vor allem daran, dass im 2°-Szenario die deutschen Lieferanteile – gemäß den Annahmen – weniger stark schrumpfen.

Abbildung 16: Entwicklung der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Ländergruppen im BAU- und im 2°-Szenario

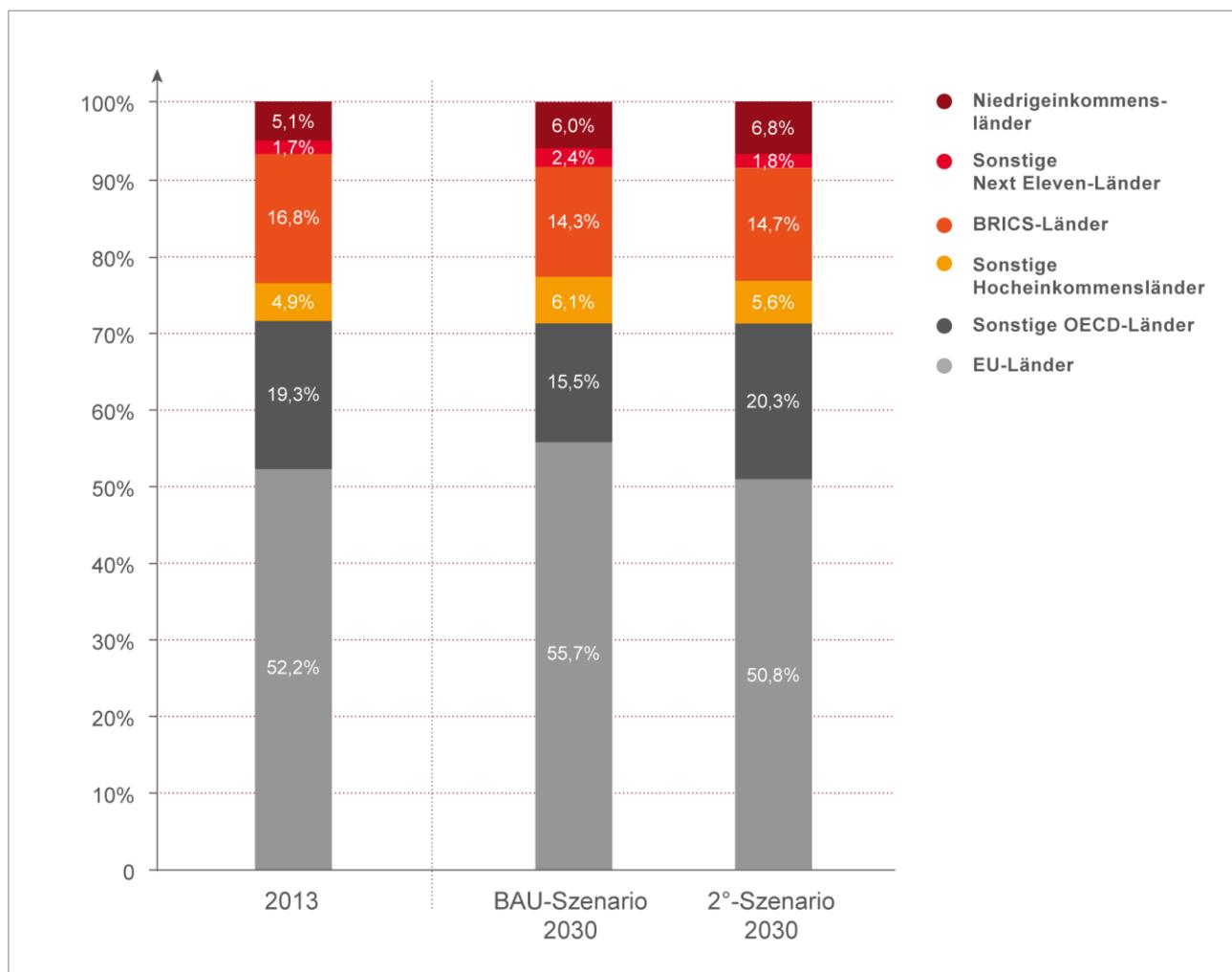


Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Im Jahr 2030 sind – wie im Ausgangsjahr 2013 – die EU-Länder die bei Weitem wichtigsten Abnehmer deutscher Exporte von Klimaschutztechnologiegütern (Abbildung 17). Im BAU-Szenario steigt ihre Bedeutung noch, im 2°-Szenario wird sie etwas geringer. Entsprechend spielen die OECD-Länder außerhalb der EU, die in beiden Bezugsjahren die zweitwichtigste Abnehmergruppe bilden, 2030 beim 2°-Szenario eine größere Rolle als beim BAU-Szenario.

Insgesamt verändert sich das Gewicht dieser beiden Gruppen als Ziele deutscher Exporteure – im Vergleich zu 2013 – bei beiden Szenarien kaum. Die Bedeutung der BRICS-Länder als Empfänger deutscher Exporte geht in beiden Szenarien zurück, weil diese Länder voraussichtlich in besonders starkem Maße nationale Produktionskapazitäten aufbauen. Die Bedeutung der übrigen Regionen für deutsche Exporteure nimmt geringfügig zu.

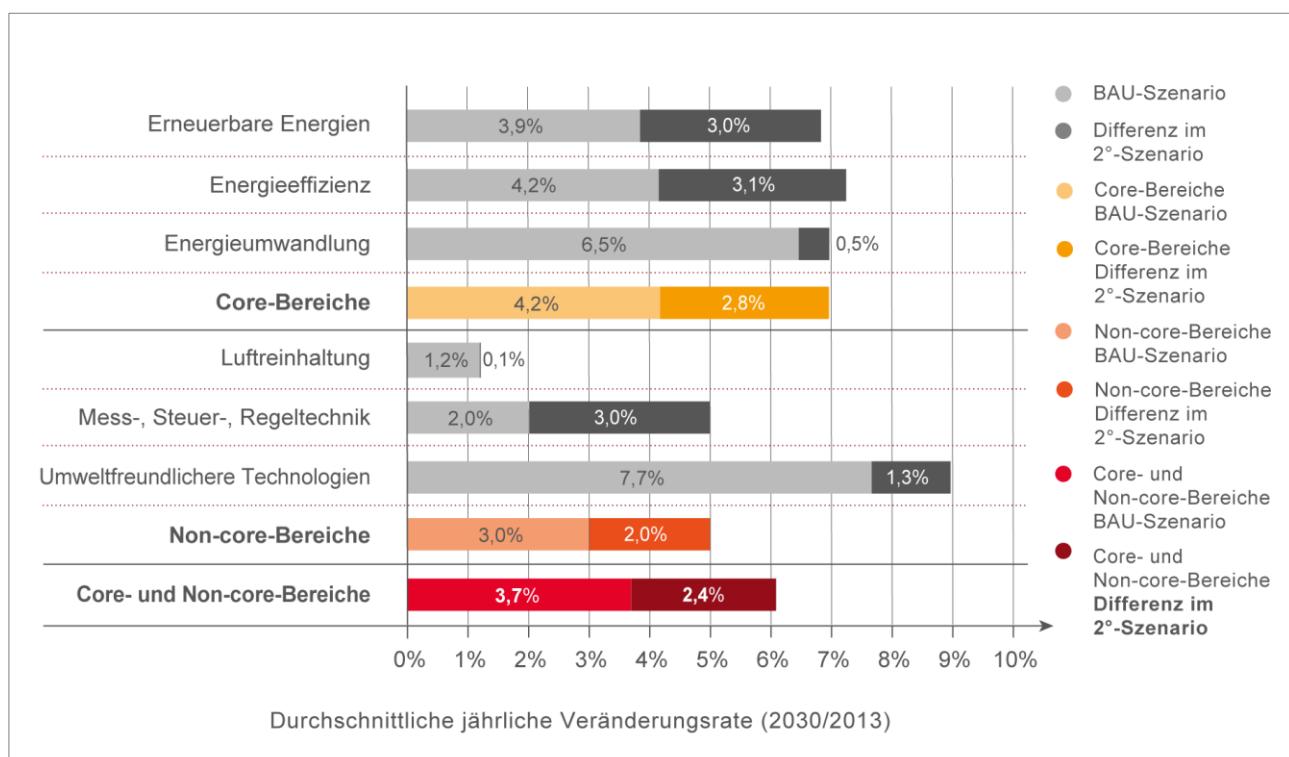
Abbildung 17: Struktur der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Ländergruppen



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Im BAU- wie im 2°-Szenario nehmen die Exporte von Klimaschutztechnologiegütern in den Core-Klimaschutzbereichen deutlich schneller zu als in den Non-core-Bereichen (Abbildung 18). Dabei ist im 2°-Szenario die Zuwachsrate in allen Core-Klimaschutzbereichen ähnlich. Im BAU-Szenario wachsen die Exporte von Gütern zur Energieumwandlung (ohne Nutzung erneuerbarer Energien) deutlich schneller. In den Non-core-Bereichen nehmen die Exporte von „Umweltfreundlicheren Technologien“ überdurchschnittlich schnell zu. Die Wachstumsbeschleunigung im 2°-Szenario gegenüber dem BAU-Szenario betrifft hauptsächlich die „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“; dennoch bleibt die Wachstumsrate der Exporte in diesem Bereich auch im 2°-Szenario unterdurchschnittlich.

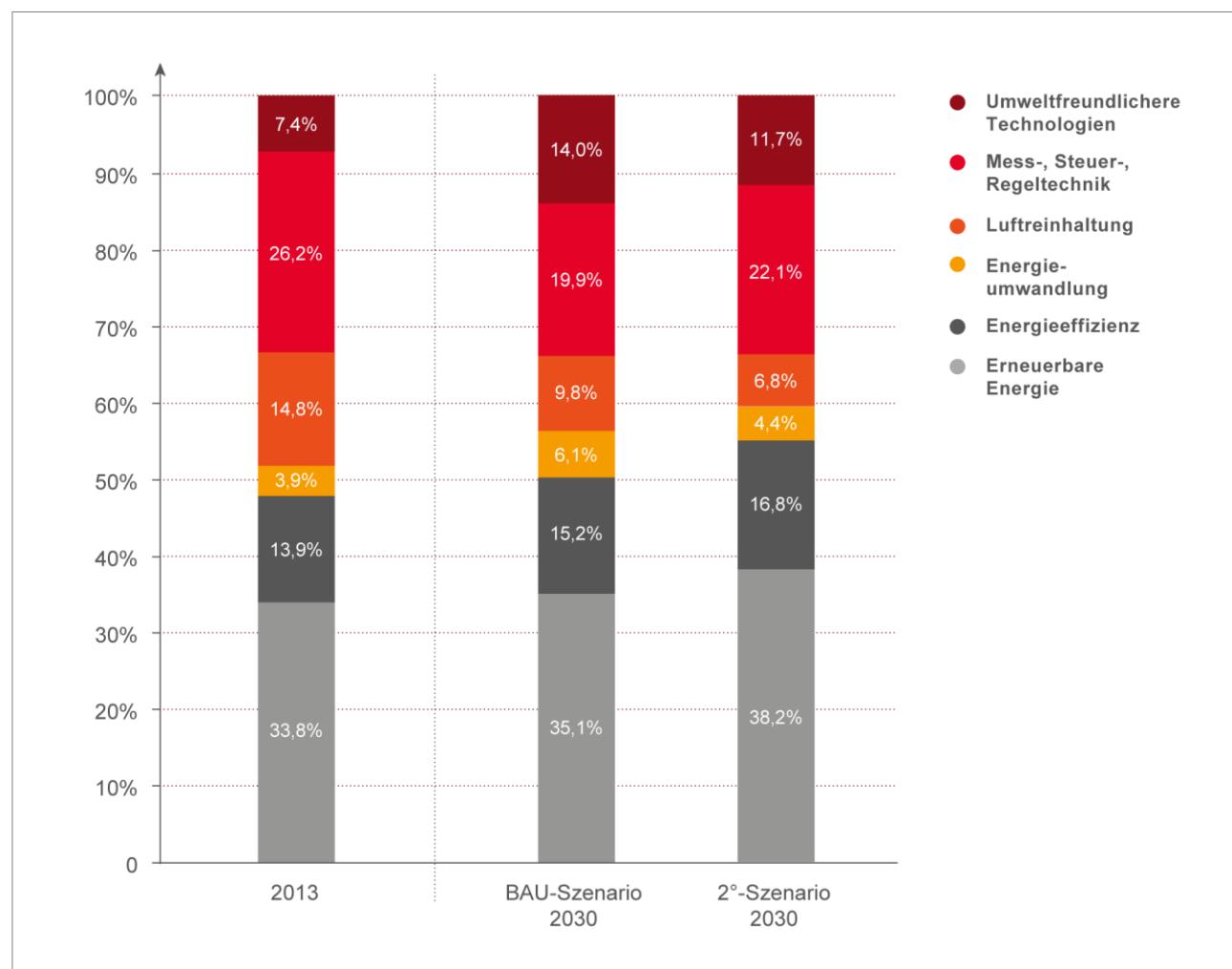
Abbildung 18: Entwicklung der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Damit verändert sich die Struktur der Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen im Jahr 2030 – im Vergleich zu 2013 – deutlich. Zudem unterscheidet sich die Zusammensetzung der Klimaschutzexporte im Jahr 2030 beim BAU- und 2°-Szenario (Abbildung 19). Besonders Güter zur „Luftreinhaltung“, aber auch „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ verlieren demnach an Gewicht. Dagegen erhöht sich – im Vergleich zu 2013 – der Anteil der Güter zur Nutzung erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz, weil im 2°-Szenario in diesen Bereichen weltweit größere Anstrengungen als im BAU-Szenario unternommen werden. Im 2°-Szenario spielen 2030 Exporte in den Bereichen „Erneuerbare Energien“, „Energieeffizienz“ sowie „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ eine größere Rolle als im BAU-Szenario. Dies geschieht zu Lasten des Anteils der Exporte in den übrigen Klimaschutzbereichen.

Abbildung 19: Struktur der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen



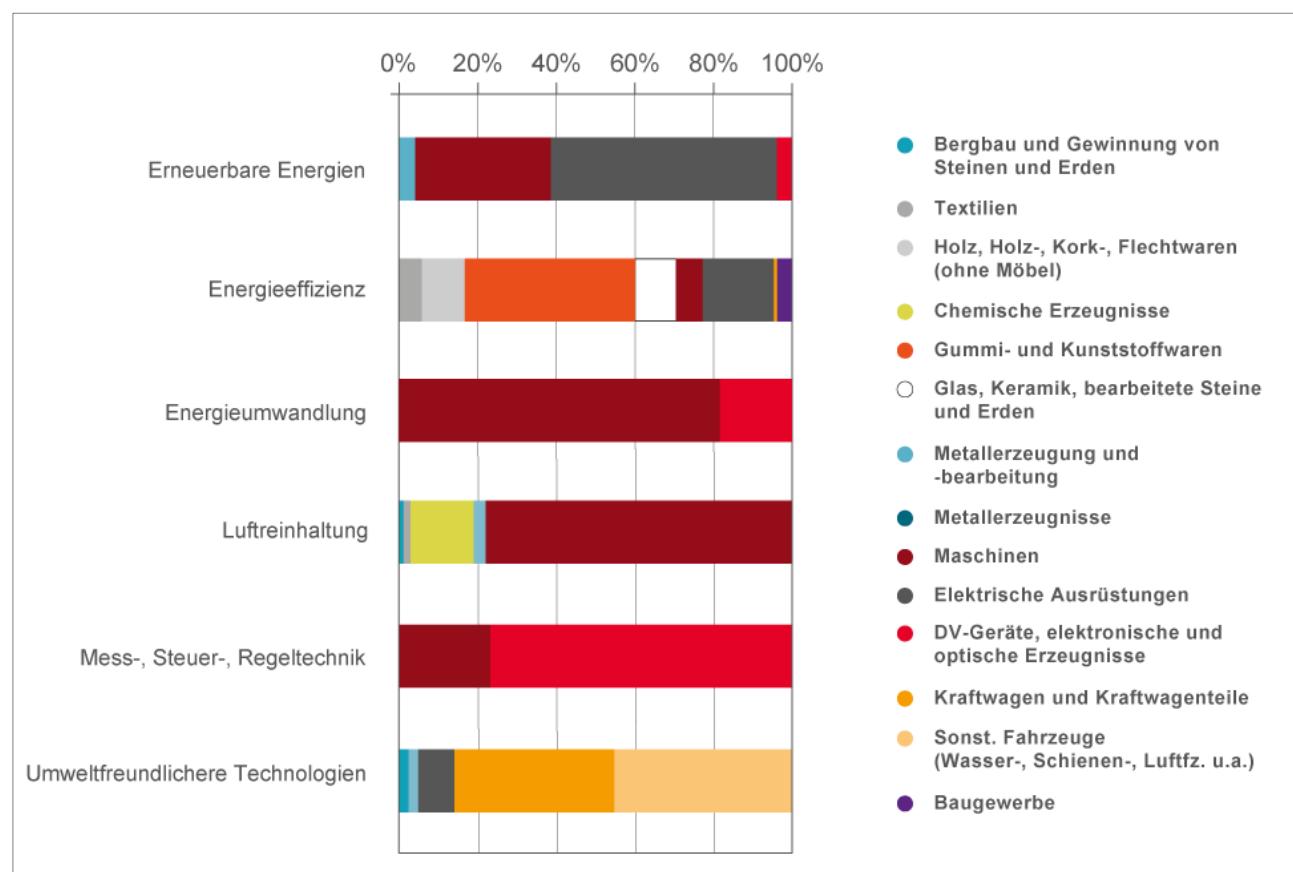
Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Die Exporte von Klimaschutztechnologiegütern werden als Impulse in das ökonometrische Modell PANTA RHEI eingespeist, um die gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Effekte der Exportszenarien zu ermitteln. Dazu ist es notwendig, aus der Güterstruktur der exportierten Klimaschutztechnologiegüter die sektorale Lieferstruktur abzuleiten. Dies geschieht, indem für jeden der drei Klimaschutzbereiche („Erneuerbare Energien“, „Energieeffizienz“ und „Energieumwandlung“) und jeden der drei weiteren klimaschutzrelevanten Bereiche („Luftreinhaltung“, „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ sowie „Umweltfreundlichere Technologien“) die Güterstruktur ausgewertet und – auf der Ebene der 2-Steller der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) – eine Zuordnung zu den in PANTA RHEI abgebildeten 63 Liefersektoren vorgenommen wird.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Implizit wird dabei unterstellt, dass die Güter nach dem Schwerpunktprinzip in dem Sektor hergestellt werden, dem sie als Hauptprodukt zugeordnet werden können. Die Möglichkeit einer branchenfremden Produktion wird also vernachlässigt.

Es zeigt sich (Abbildung 20), dass sich die sektorale Lieferstruktur in den einzelnen Klimaschutzbereichen deutlich unterscheidet. So weist zum Beispiel der Bereich „Energieeffizienz“ ein breites Spektrum von liefernden Sektoren aus, ein Schwerpunkt liegt im Sektor Gummi- und Kunststoffwaren, in dem Güter produziert werden, die als Vorleistungen für die energetische Gebäudesanierung benötigt werden. Die Produkte für den Bereich „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ werden dagegen nur von zwei Sektoren „DV-Geräte, elektronische und optische Erzeugnisse“ sowie „Maschinenbau“ produziert. Auch in den Klimaschutzbereichen „Energieumwandlung“ sowie „Umweltfreundlichere Technologien“ konzentriert sich die Produktion auf wenige Sektoren.

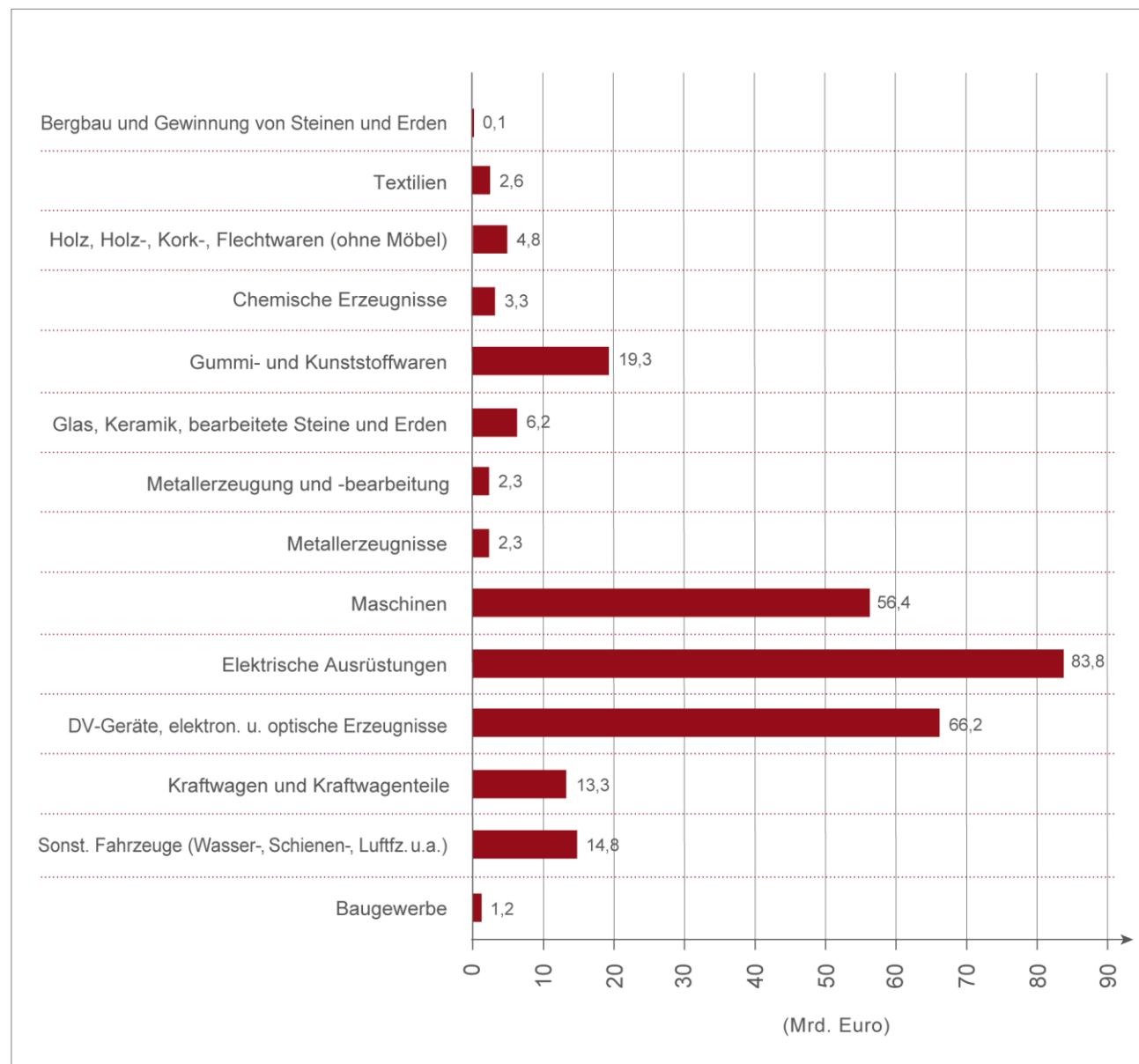
Abbildung 20: Liefersektoren der Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Klimaschutzbereichen – Anteile der Liefersektoren



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Der so abgeleitete Übergangsschlüssel wird jeweils auf die in den Szenarien ermittelten Exportvolumina Deutschlands angewandt. In Abbildung 21 werden beispielhaft die Ergebnisse für das 2°C-Szenario im Jahr 2030 dargestellt. Die meisten Exportgüter für den Klimaschutz sowie für die weiteren klimaschutzrelevanten Bereiche liefert der Sektor „Elektrische Ausrüstungen“. An zweiter Stelle steht der Sektor „DV-Geräte, elektronische und optische Erzeugnisse“, der Produkte der Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie optische Bauelemente für die Photovoltaik herstellt. Auf dem dritten Platz folgt der Maschinenbau. Auch auf andere Sektoren entfallen erhebliche Exportlieferungen von jeweils mehr als 10 Mrd. Euro. Allerdings sind sie weniger bedeutend als die drei genannten Sektoren.

Abbildung 21: Exporte von Klimaschutztechnologiegütern nach Liefersektoren im 2°-Szenario im Jahr 2030



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die zukünftige Entwicklung der Importquoten in Zielländern deutscher Exporte von Klimaschutztechnologiegütern – des Anteils der Nachfrage, der nicht im Inland produziert, sondern aus dem Ausland importiert wird – könnte durch zwei gegenläufige Entwicklungen geprägt sein: Auf der einen Seite nehmen im Zuge der Globalisierung die Importquoten zu. Auf der anderen Seite werden die Importquoten durch den Aufbau nationaler Produktionskapazitäten für Klimaschutztechnologiegüter in anderen Ländern gedämpft; das ist bei forciertem weltweiter Klimaschutzpolitik stärker der Fall.

Die deutschen Lieferanteile von Klimaschutztechnologiegütern – des Anteils der Importnachfrage anderer Länder, den deutsche Exporteure befriedigen – könnten sinken, wenn nationale Produktionskapazitäten in anderen Ländern aufgebaut werden und diese auf Drittmarkten verstärkt als Konkurrenten auftreten. Wenn bei weltweit forciertem Klimaschutzpolitik Deutschland eine Vorreiterrolle einnimmt, könnte es den Verlust an Lieferanteilen durch eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit dämpfen.

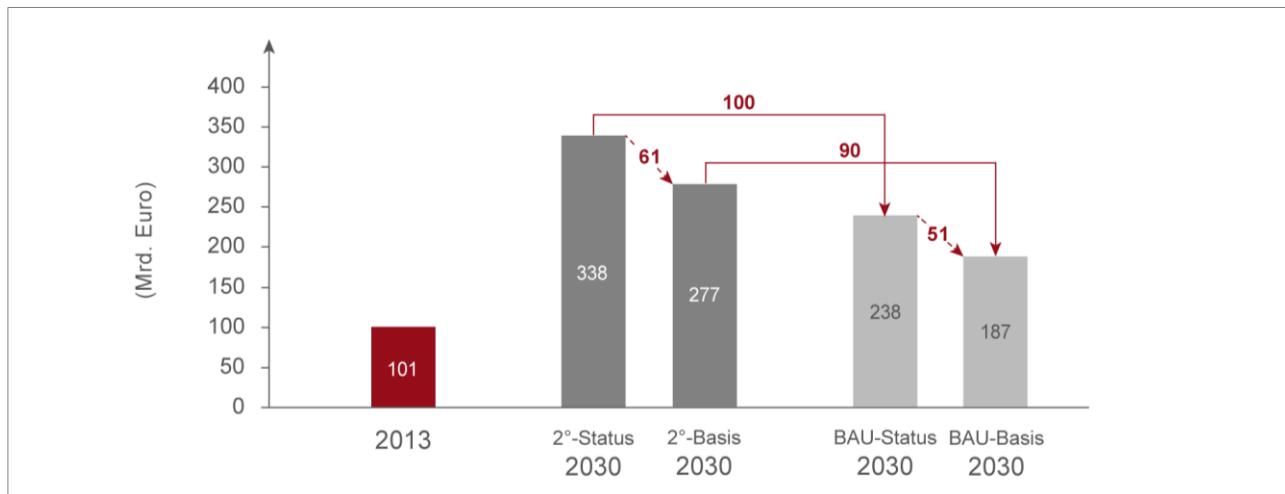
Unter diesen Annahmen führt eine Entwicklung der weltweiten Nachfrage wie in der Vergangenheit (BAU-Szenario) bis zum Jahr 2030 zu Anstieg der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern in realer Rechnung um 3,7% pro Jahr. Bei forciertem Klimaschutzpolitik sind es gut 6%. Dabei nehmen die Exporte in die Nicht-EU-OECD- und die BRICS-Länder unterdurchschnittlich zu. Besonders stark ist das Wachstum bei Core-Klimaschutztechnologien sowie bei Klimaschutztechnologiegütern aus dem Bereich umweltfreundlichere Technologien. Die meisten Exportgüter für den Klimaschutz werden von den Sektoren Elektrische Ausrüstungen, DV-Geräte und elektronische und optische Erzeugnisse sowie dem Maschinenbau geliefert.

### 3.3 Unsicherheiten (Sensitivitätsanalysen)

Die Ergebnisse der Szenarien werden einerseits durch die angenommene Nachfrageentwicklung, andererseits von den Annahmen über die Veränderungen der Importquoten und der deutschen Lieferanteile geprägt. Der Einfluss dieser beiden zuletzt genannten Parameter kann durch Sensitivitätsanalysen überprüft werden, bei denen angenommen wird, dass die Importquoten und die deutschen Lieferanteile bis 2030 im Vergleich zu den Werten, die für das Jahr 2013 ermittelt wurden, unverändert bleiben. Diese Szenarien werden im Folgenden als „Status“-Szenarien bezeichnet. Die im vorhergehenden Abschnitt 3.1 dargestellten Szenarien, in denen angenommen wurde, dass sich die Importquoten und die deutschen Lieferanteile in Zukunft verändern, heißen „Basis“-Szenarien.

Im BAU-Status-Szenario könnten die deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern von 2013 bis 2030 jährlich um 5,2 Prozent zunehmen und somit um 1,5 Prozentpunkte schneller steigen als bei veränderten Importquoten und Lieferanteilen. Im 2°-Status-Szenario würde sich das Wachstum der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern um 1,2 Prozentpunkte auf 7,3 Prozent pro Jahr beschleunigen. Die angenommenen Auswirkungen des Aufbaus nationaler Produktionskapazitäten in anderen Ländern auf die Importquoten (unter Berücksichtigung einer fortschreitenden Globalisierung) sowie auf die Lieferanteile dämpfen die deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern bei der Nachfrageentwicklung des 2°-Szenarios im Jahr 2030 um gut 60 Mrd. Euro, vgl. Abbildung 22). Im BAU-Szenario schlägt dieser Effekt mit gut 50 Mrd. Euro zu Buche. Die Differenz von 100 Mrd. Euro zwischen dem 2°-Status- und dem BAU-Status-Szenario und von 90 Mrd. Euro zwischen dem 2°-Basis- und dem BAU-Basis-Szenario gehen auf die unterschiedliche Nachfrageentwicklung zurück. Daneben spielen jeweils Struktureffekte eine Rolle.

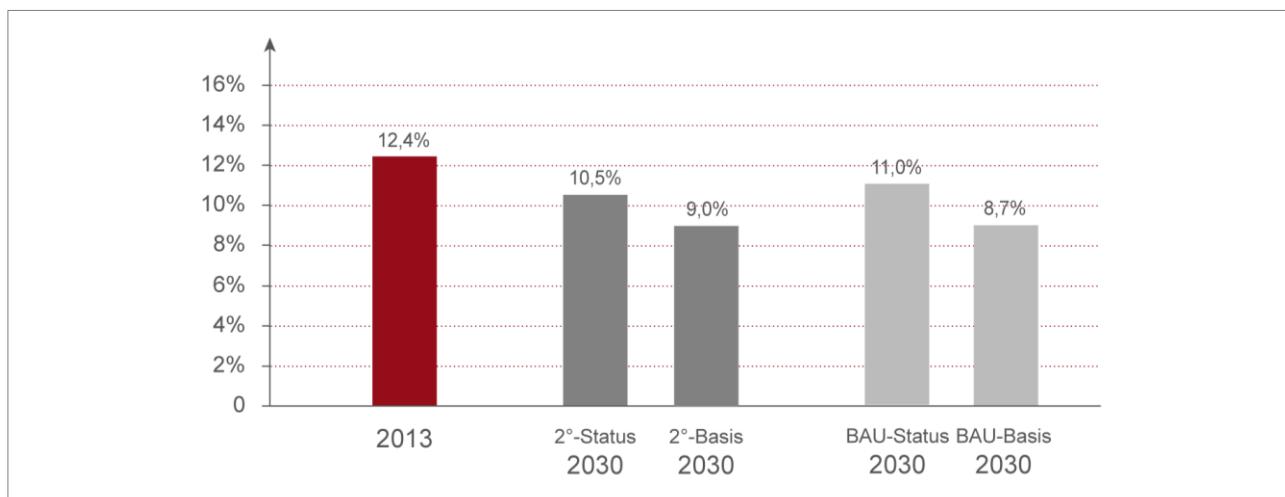
Abbildung 22: Sensitivitätsrechnung „Unveränderte Importquoten und Lieferanteile von 2013 – Exporte von Klimaschutztechnologiegütern“



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Abbildung 23 illustriert die Bedeutung dieser Struktureffekte. Wenn die deutschen Lieferanteile für alle berücksichtigten Einzelländer und Ländergruppen gegenüber dem für 2013 ermittelten Wert unverändert bleiben, sinkt doch der deutsche Welthandelsanteil, der den gewichteten Durchschnitt der deutschen Lieferanteile in die einzelnen Länder darstellt, weil die Nachfrage nach Klimaschutztechnologiegütern in den Ländern, in denen Deutschland heute überdurchschnittlich hohe Lieferanteile hat, langsamer wächst als in Ländern, in denen der deutsche Lieferanteil vergleichsweise niedrig ist. Im BAU-Szenario macht dieser Länderstrukturreffekt im Jahr 2030 rund 1,4 Prozentpunkte (von 12,4% auf 11%) aus. Der zusätzliche Rückgang des deutschen Welthandelsanteils, der durch den Rückgang der deutschen Lieferanteile in den einzelnen Ländern bedingt ist, beläuft sich im BAU-Szenario auf 2,3 Prozentpunkte (von 11% auf 8,7%). Im 2°-Szenario machen die Strukturreffekte einen Rückgang des deutschen Welthandelsanteils um 1,9 Prozentpunkte (von 12,4% auf 10,5%) aus. Die angenommenen Verluste bei den Lieferanteilen wirken sich in diesem Szenario mit 1,5 Prozentpunkten (von 10,5% auf 9%) weniger stark aus als der Strukturreffekt.

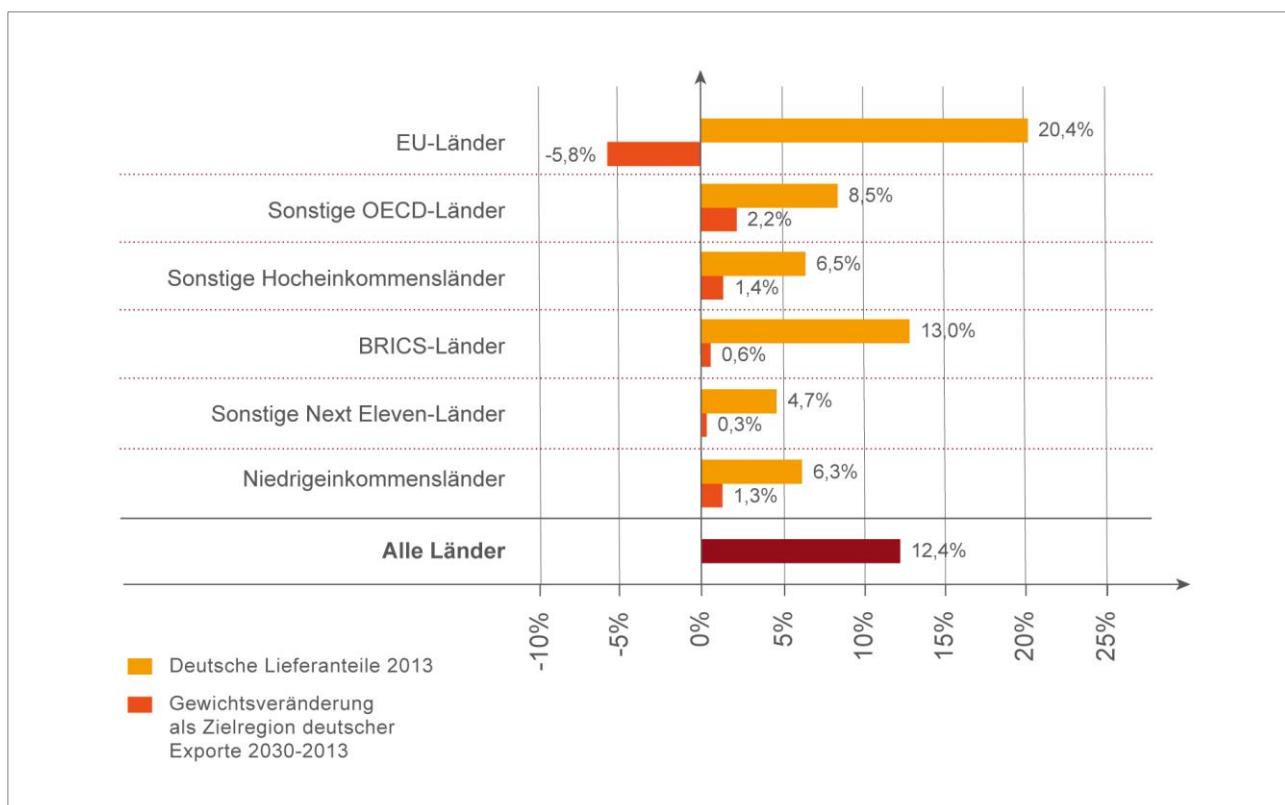
Abbildung 23: Sensitivitätsrechnung „Unveränderte Importquoten und Lieferanteile von 2013 – Deutsche Welthandelsanteile bei Klimaschutztechnologiegütern“



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Abbildung 24 zeigt beispielhaft, wie der beschriebene Struktureffekt zustande kommt: Das Gewicht der Exporte der Länder, in denen Deutschland gegenwärtig überdurchschnittliche Lieferanteile hat, verringert sich (EU-Länder) oder steigt nur wenig (BRICS-Länder). Für die EU-Länder etwa, in denen der deutsche Lieferanteil mit 20,4 Prozent – gegenüber durchschnittlich 12,4 Prozent – überdurchschnittlich hoch ist, verringert sich bis 2030 – im Vergleich zu 2013 – im BAU-Status-Szenario (also bei unveränderten Importquoten und Lieferanteilen von 2013) der deutsche Lieferanteil um 5,8 Prozentpunkte.

Abbildung 24: Deutsche Lieferanteile 2013 und Veränderungen der Gewichtung bei den Zielregionen deutscher Exporte 2030 gegenüber 2013 nach Ländergruppen im BAU-Status-Szenario

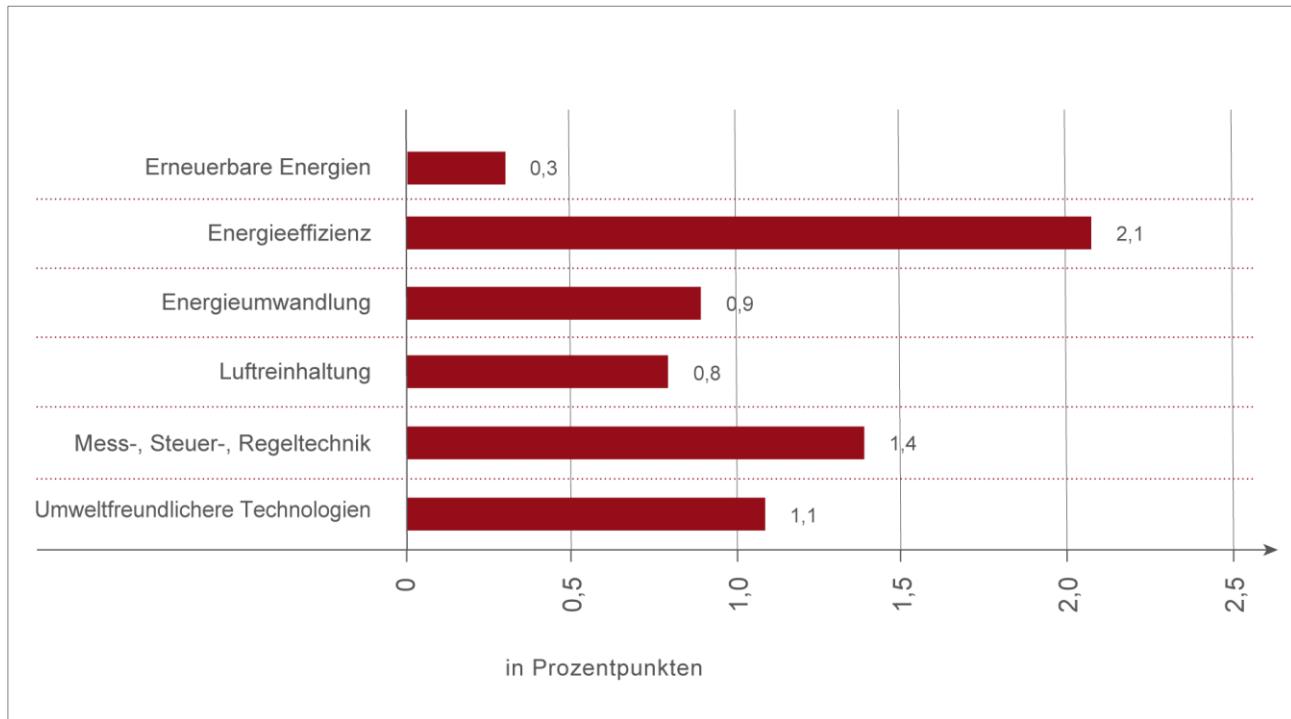


Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Eine Stabilisierung der deutschen Lieferanteile für alle Klimaschutzbereiche und in alle Einzelländer und -regionen auf dem Niveau von 2013 reicht wegen der beschriebenen Struktureffekte somit nicht aus, um den deutschen Welthandelsanteil bis 2030 auf dem Niveau von 2013 konstant zu halten. Dazu müsste Deutschland seine Lieferanteile deutlich steigern. Je nach Klimaschutzbereichen und Zielländern sowie ihrer Bedeutung für die deutschen Exporte sind dazu viele unterschiedliche Möglichkeiten vorstellbar.

Eines dieser Szenarien mit konstantem Welthandelsanteil Deutschlands ist in Abbildung 25 dargestellt; ansonsten gelten die Annahmen des BAU-Szenarios. Der Lieferanteil bei Gütern zur Steigerung der Energieeffizienz etwa müsste in diesem Szenario gegenüber dem Wert von 2013 um 2,1 Prozentpunkte wachsen. Zusätzlich müssten die Lieferanteile in den übrigen Klimaschutzbereichen im angegebenen Umfang zunehmen.

Abbildung 25: Sensitivitätsrechnung „Stabilisierung des deutschen Welthandelsanteils von 2013 – Veränderung der Lieferanteile 2030 gegenüber 2013 nach Klimaschutzbereichen“



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen des DIW Berlin

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Wenn die Importquoten und deutschen Lieferanteile unverändert blieben, würde dennoch der deutsche Weltmarktanteil bei Klimaschutztechnologiegütern insgesamt sinken, und zwar bis 2030 um 1,4 Prozentpunkte im BAU-Szenario und um 1,9 Prozentpunkte bei forciertem weltweiter Klimaschutzpolitik, weil die Nachfrage in Ländern, in denen Deutschland überdurchschnittlich hohe Lieferanteile hat, unterdurchschnittlich zunimmt. Eine Stabilisierung des deutschen Weltmarktanteils würde erhebliche Steigerungen der deutschen Lieferanteile in allen Klimaschutzbereichen erfordern. Das zukünftige Exportpotenzial ausgewählter Klimaschutzmärkte und die Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen deutscher Unternehmen in diesen Märkten werden in Kapitel 5 diskutiert.

## 4 Gesamtwirtschaftliche Ergebnisse

### 4.1 Einleitung

In Abschnitt 2 wurde ausführlich hergeleitet, dass sich die Weltmärkte für bestimmte Güter ändern, wenn sich die globale Nachfrage nach Klimaschutzgütern erhöht. Im Ergebnis findet sich im BAU-Szenario ein Anstieg der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern in realer Rechnung um knapp 6 Prozent pro Jahr. Bei forciertener Klimaschutzpolitik im 2°-Szenario sind es gut 8 Prozent.

Um zu klären, was zusätzliche Exporte für die deutsche Wirtschaft jetzt und in Zukunft bedeuten, wird die Entwicklung der Wirtschaft – jeweils unter Annahme der BAU-Exporte und der Exporte im 2°-Szenario – simuliert. Anschließend werden die Ergebnisse miteinander verglichen.

### 4.2 Wirkungskanäle in der Wirtschaft und das Modell PANTA RHEI

Zusätzliche Exporttätigkeit löst zunächst eine nachvollziehbare Wirkungskette aus, die sich vereinfacht wie folgt darstellen lässt. Um die ausländische Nachfrage zu decken, wird die inländische Produktion angekurbelt. Für die Ausweitung der Produktion werden mehr Beschäftigte gebraucht als in einem Vergleichsszenario mit geringerer ausländischer Nachfrage. Allerdings stehen nicht beliebig viele zusätzliche Beschäftigte dem Arbeitsmarkt zu Verfügung. Die für den Arbeitsmarkt relevante Altersgruppe zwischen 15 und 65 Jahren verzeichnet<sup>8</sup> im Beobachtungszeitraum einen deutlichen Rückgang, was zu Engpässen auf dem Arbeitsmarkt führen kann (Fachkräftemangel). Knappheit auf dem Arbeitsmarkt führt wiederum zu Lohn- und letztlich Preisangepassungen. Bis 2030 sinkt die Erwerbslosigkeit auf ca. 2 Mio. Personen, wovon ein großer Teil aus Krankheits-, Alters- oder weiteren Gründen dem Arbeitsmarkt nicht zur Verfügung steht. Dies entspricht einer Erwerbslosenquote von etwa 5,1 Prozent im Jahr 2030.

Für die Produktion zusätzlicher Exporte werden darüber hinaus mehr Vorleistungsgüter benötigt, sei es aus dem Inland oder dem Ausland, wodurch die Produktion und die Importe größer sind als in der Referenz. Die Produktion von Klimaschutzgütern ist im Maschinenbau, der Elektronikindustrie und oder der Metallverarbeitung angesiedelt, die alle durch wenig arbeitsintensive, teilweise hochautomatisierte Fertigungsprozesse gekennzeichnet sind. Daher werden die Beschäftigungseffekte insgesamt eher klein.

Abbildung 26: Wirkungen von zusätzlichen Exporten von Klimaschutzgütern



Quelle: eigene Darstellung, GWS

<sup>8</sup> Für die demografische Entwicklung wird die Variante 2 der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes angenommen, welche bereits eine höhere Migration enthält.

Um diese wirtschaftlichen Zusammenhänge hinreichend zu berücksichtigen, werden die Exportszenarien einem modellgestützten Vergleich unterzogen. In der vorliegenden Untersuchung wird hierfür das Modell PANTA RHEI (vgl. Kasten 3) eingesetzt.

### Kasten 3: Das Modell PANTA RHEI

Das Modell PANTA RHEI ist ein zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen entwickeltes Simulations- und Prognosemodell für Deutschland. Es erfasst den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen. Neben einem ökonomischen Kern umfasst das Modell zusätzlich die energetisch relevanten Bereiche „Energieverbräuche und Luftschaadstoffe“, „Verkehr“ sowie „Fläche und Wohnen“. Als Bottom-up-Modell sind insgesamt 63 Wirtschaftsbereiche detailliert abgebildet und können entsprechend angesprochen werden. Gesamtwirtschaftliche Effekte ergeben sich durch Aggregation der entsprechenden Wirtschaftsbereiche. Das Modell wird voll interdependent gelöst, d.h. die Wirkungen einer Maßnahme werden für alle Modellvariablen gleichzeitig erfasst, sodass keine Effekte „verloren gehen“. Als Datengrundlage dienen gesamtwirtschaftliche Größen auf Basis der amtlichen Statistik, vor allem Volkswirtschaftliche und Umweltökonomische Gesamtrechnungen inklusive Input-Output-Rechnung.

Deutschlands Wirtschaft ist exportgeprägt<sup>9</sup> und zu den Auswirkungen „grüner“ Exporte liegt eine Reihe von Abschätzungen vor. Ein großer Teil der Literatur betrachtet die Auswirkungen des Exports von Anlagen und Komponenten erneuerbarer Energien. GWS (2016) und Lehr et al. (2015) zählen hierzu. Besonders die Beiträge von Staiß et al. (2006), Lehr et al. (2007) und Lehr et al. (2011) haben erstmals den Außenhandel mit EE-Gütern berücksichtigt. Die genannten Quellen kommen jeweils zu leicht unterschiedlichen quantitativen Ergebnissen für mögliche Exporte Deutschlands für den internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien. Die daraus resultierenden Wirkungen gehen aber in die gleiche Richtung. Die ökonomischen Indikatoren entwickeln sich jeweils positiv. Das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt erfährt durch die gestiegenen Exporte jeweils einen positiven Impuls. Die erhöhten Produktionsaktivitäten führen zu einem positiven Beschäftigungsimpuls. Die Reihe „Green Tech made in Germany“ verfolgt, wenngleich nicht in einem modellgestützten Szenario-Vergleich, denselben Gedanken und schätzt die zusätzlichen positiven Wirkungen auf BIP und Beschäftigung, die auf Klimaschutzexporte zurückzuführen sind.

### 4.3 Impulse und Ergebnisse

Die globalen Klimaschutzleitmärkte weisen bereits heute mit circa 2.000 Mrd. Euro ein hohes Volumen auf, welches sich bis zum Jahr 2030 schon im BAU-Szenario voraussichtlich deutlich mehr als verdoppeln wird. Ein Wachstum stellt sich in allen Klimaschutzleitmärkten (Kreislaufwirtschaft, Nachhaltige Mobilität, Rohstoff- und Materialeffizienz, Energieeffizienz und Energieerzeugung) ein (vgl. Abschnitt 2). Im 2°-Szenario steigt das Marktvolumen der fünf Leitmärkte insgesamt um weitere 37 Prozent im Vergleich zum BAU-Szenario.

Die verschiedenen Wirtschaftszweige profitieren unterschiedlich von den zusätzlichen Exporten im 2°-Szenario. Diese zusätzlichen Exporte aus einzelnen Wirtschaftszweigen sind der maßgebliche Treiber der gesamtwirtschaftlichen Struktureffekte. Insbesondere bei den elektrischen Ausrüstungen (+31 Mrd. Euro im Vergleich zum BAU-Szenario im Jahr 2030), bei den elektronischen Erzeugnissen (+25 Mrd. Euro) sowie im Maschinenbau (+13 Mrd. Euro) kann ein deutlich erhöhter Export im 2°-Szenario festgestellt werden.

<sup>9</sup> Das wird auch kritisch diskutiert. Die Leistungsbilanzüberschüsse führen zu einer hohen Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von der konjunkturellen Entwicklung in den Exportzielländern, welche durch die zunehmenden Exporte im BAU- bzw. 2°-Szenario noch weiter verstärkt wird. Auch könnten sich höhere Überschüsse auf Dauer auf den Wechselkurs des Euro auswirken, was die positiven gesamtwirtschaftlichen Effekte reduzieren würde.

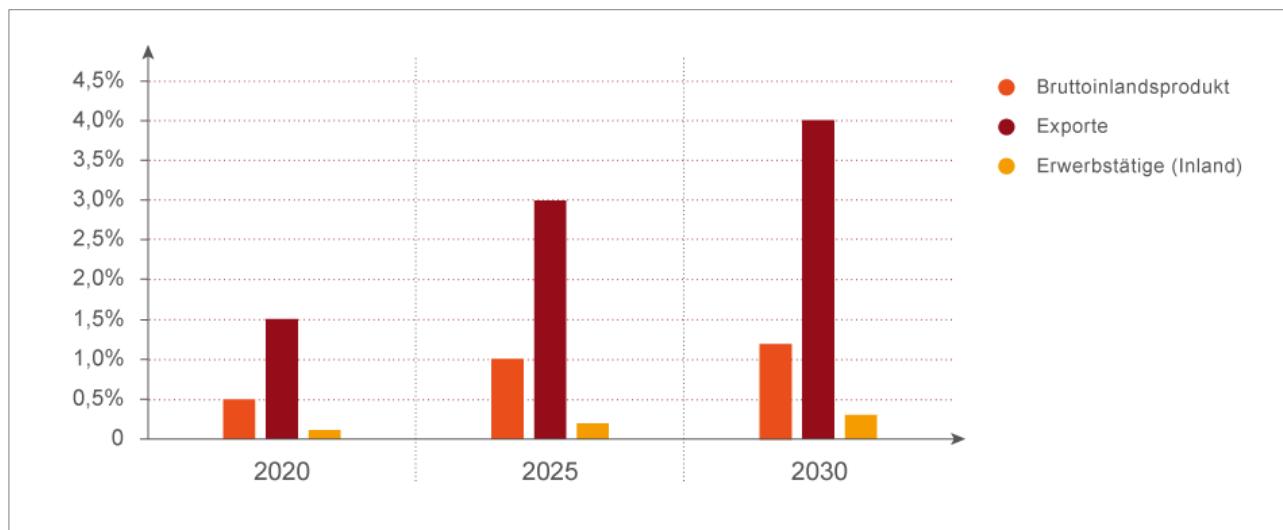
Eben diese Differenz der Exporte zwischen den beiden Szenarien löst die gesamtwirtschaftlichen Effekte aus. In Summe sind die Exporte im 2°-Szenario um 90 Mrd. Euro höher als im BAU-Szenario.

Gesamtwirtschaftliche Größen und ihre Entwicklungen in Deutschland unter den oben beschriebenen Annahmen des weltweiten BAU- und 2°-Szenario lassen sich vergleichen und geben Auskunft auf die Frage nach den gesamtwirtschaftlichen Effekten. Ist beispielsweise das Bruttoinlandsprodukt (BIP), also die Summe aller Waren und Dienstleistungen, die innerhalb eines Jahres hergestellt wurden, nach Abzug aller Vorleistungen, im 2°-Szenario in jedem Jahr größer als im BAU-Szenario, spricht man von einem positiven gesamtwirtschaftlichen Effekt.

Trotz aller Kritik ist das BIP nach wie vor eine der wichtigeren Wachstumskenngrößen. Die Kenngrößen in den nachfolgenden Abbildungen werden immer als diese Differenz zwischen BAU- und 2°-Szenario dargestellt. Die grundsätzlichen sozioökonomischen Vorgaben wie Demografie etc. sind in beiden Szenarien gleich.

Abbildung 27 zeigt: Zusätzliche Exporte von Klimaschutztechnologiegütern wirken sich positiv auf das BIP aus, denn es ist im 2°-Szenario jeweils größer als im BAU-Szenario. Zudem wächst der Abstand bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt zwischen den Szenarien.

Abbildung 27: Abweichungen des Bruttoinlandsprodukts (preisbereinigt), der Beschäftigung und der Exporte im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen der GWS

Das höhere BIP setzt sich aus vielen Komponenten und ihrem Wechselspiel zusammen: Private und staatliche Konsumausgaben sowie Bruttoinvestitionen wirken zunächst positiv; Exporte wirken ebenfalls positiv auf das BIP, Importe hingegen reduzieren die Höhe des Bruttoinlandsproduktes. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Komponenten des BIP.

Tabelle 1: Abweichungen der Komponenten des preisbereinigten BIP im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU Szenario

	2020	2025	2030
in Mrd. Euro			
Bruttoinlandsprodukt	15,5	33,3	42,1
Privater Konsum	7,4	16,0	22,1
Staatskonsum	0,0	0,1	0,3
Ausrüstungen	2,0	4,5	6,3
Bauten	0,6	1,3	1,6
Exporte	25,8	63,9	102,2
Importe	20,4	52,8	90,8

Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen der GWS

Ein Produktionsanstieg in Deutschland sorgt dafür, dass zusätzliche Vorleistungen und Komponenten importiert werden. Mit zunehmenden Exporten steigen dementsprechend auch die Importe an. Im Jahr 2030 liegen die Importe im 2°-Szenario um 4 Prozent höher als im BAU-Szenario. Absolut gesehen sind die Zuwächse bei den Exporten in jedem Jahr höher als bei den Importen. Als Folge daraus stellen sich für Deutschland im 2°-Szenario jeweils höhere Netto-Exporte ein. Insgesamt löst die durch die Exporte angeregte höhere Wirtschaftstätigkeit auch in anderen Bereichen höhere Aktivitäten aus, so dass die Exporte in Summe sogar um 10 Mrd. Euro mehr, also insgesamt gut 100 Mrd. Euro höher liegen, als im BAU Szenario.

Die Auswirkungen auf die Beschäftigung sind mit gut 100.000 Beschäftigten gering. Ein Blick auf die Struktur der Wirtschaftszweige, die von zusätzlichen Exporten profitieren, zeigt, dass hier teilweise hochautomatisierte Fertigungsprozesse eingesetzt werden, die wenige Arbeitnehmer zur Bedienung erfordern. Mehr Produktion führt so nicht in demselben Umfang zu höherer Beschäftigung. Auch in anderen Wirtschaftsbereichen, die Vorleistungen für diese Sektoren produzieren, wird mehr nachgefragt und produziert (indirekte Beschäftigung). Doch hier laufen ebenfalls viele Fertigungsprozesse halb- oder vollautomatisiert ab. Darüber hinaus dämpft die im letzten Kapitel beschriebene Knappheit auf dem Arbeitsmarkt den Beschäftigungsanstieg und führt zu stärker steigenden Löhnen und Produktivität. Dennoch beträgt die relative Abweichung durch all diese Effekte zwischen den beiden Szenarien im Jahr 2030 circa. 0,3 Prozent. Dies entspricht absolut etwa 110.000 zusätzlichen Beschäftigten, bei knapp 2 Millionen Erwerbslosen im Jahr 2030. In absoluten Größen zeigt Abbildung 31 die Abweichungen in den Wirtschaftsbereichen, die durch zusätzliche Exporttätigkeit angeregt werden. Wirtschaftliche Kreislaufeffekte umfassen alle Anpassungen: die Rückgänge in manchen Bereichen aufgrund der Veränderung relativer Löhne und Preise, indirekte Effekte aufgrund zusätzlicher Einkommen und zusätzlichen Konsums etc. Allerdings muss einschränkend angemerkt werden, dass Abweichungen unterhalb von 2000 an die Modellgenauigkeit stoßen.

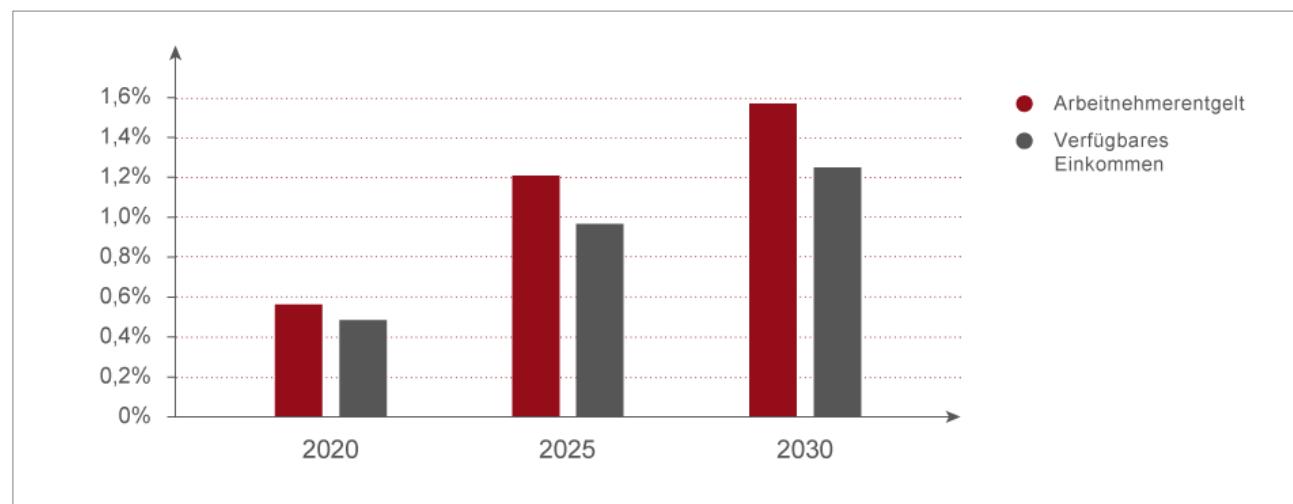
Zusätzliche Beschäftigung führt zu steigenden Einkommen, höherem Konsum und damit zu noch mehr Beschäftigung, was wiederum die Nachfrage nach allen Gütern erhöht (induzierte Beschäftigung). Diese Kreisläufe werden im Modell vollständig simuliert. Ein Blick auf diese Kenngrößen zeigt, dass sich mit steigenden Löhnen das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte und damit der private Konsum erhöhen.

Im 2°-Szenario ist der private Konsum – im Vergleich zum BAU-Szenario – im Jahr 2020 um 0,4 Prozent und im Jahr 2030 um 1,2 Prozent größer. Auch die Investitionen in Ausrüstungen und Bauten erfahren jeweils eine positive Wirkung durch die Exporte von Klimaschutztechnologiegütern. Insbesondere

sondere die Sektoren, die durch die Exporte von Klimaschutztechnologiegütern einen zusätzlichen Nachfrageimpuls erhalten, investieren in neue Anlagen und Bauten. Die Investitionen in Ausrüstungen liegen im Jahr 2020 im 2°-Szenario um 0,6 Prozent und im Jahr 2030 um 1,4 Prozent höher als im BAU-Szenario. Bei den Bauten beträgt die Abweichung im Jahr 2030 circa 0,6 Prozent.

Abbildung 28 zeigt die Effekte auf Löhne und Gehälter sowie das verfügbare Einkommen. Beide Größen spiegeln die Einkommenssituation der Beschäftigten wider: Während das Arbeitnehmerentgelt sämtliche Geld- und Sachleistungen umfasst, die den beschäftigten Arbeitnehmern aus Arbeits- und Dienstverhältnissen zugeflossen sind, entspricht das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte den Einkommen<sup>10</sup>, die die privaten Haushalte für Konsum- und Sparzwecke verwenden. Das Arbeitnehmerentgelt liegt durch die zusätzlichen Exporte im 2°-Szenario im Jahr 2020 um circa 0,6 Prozent höher und im Jahr 2030 um etwa 1,6 Prozent. Die Steigerung des verfügbaren Einkommens fällt ähnlich hoch aus. Im Jahr 2020 liegt das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte im 2°-Szenario um 0,5 Prozent höher und im Jahr 2030 um etwa 1,2 Prozent. In absoluten Werten entspricht der Zuwachs des Arbeitnehmerentgelts dem Zuwachs des verfügbaren Einkommens (jeweils etwa 30 Mrd. Euro im Jahr 2030). In der Vergangenheit lag die Sparquote der privaten Haushalte in Deutschland bei etwa 10 Prozent, sodass der Großteil des verfügbaren Einkommens für Konsumzwecke verwendet wurde. Dementsprechend kommt es durch das erhöhte verfügbare Einkommen im 2°-Szenario zu einer erhöhten Nachfrage nach allen Gütern der Volkswirtschaft, was mit einem entsprechenden Produktionsanstieg und damit einhergehend mit einer höheren induzierten Beschäftigung verbunden ist.

Abbildung 28: Abweichungen des Arbeitnehmerentgelts und des verfügbaren Einkommens im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen der GWS

Die Lage auf dem Arbeitsmarkt in Deutschland wird als zunehmend angespannt angenommen. Der Wettbewerb um Fachkräfte führt gerade in den Sektoren, die dieses Szenario anspricht, dazu, dass der einzelne Arbeitnehmer finanziell besser dasteht, da er von höheren Löhnen profitieren kann. Auch für den Staat wirken sich die zusätzlichen Exporte im 2°-Szenario positiv aus. Die Einnahmen des Staates speisen sich u.a. aus empfangenen Einkommen- und Vermögensteuern, die durch die zusätzliche Beschäftigung einen Anstieg erfahren. Im 2°-Szenario hat der Staat somit im Jahr 2030 zusätzliche Einnahmen durch die Einkommensteuer von etwa 6,5 Mrd. Euro (+1,3 Prozent). Auch die Produktions- und Importabgaben steigen durch die zusätzlichen Exporte leicht und liegen im Jahr 2030 um circa 4,6

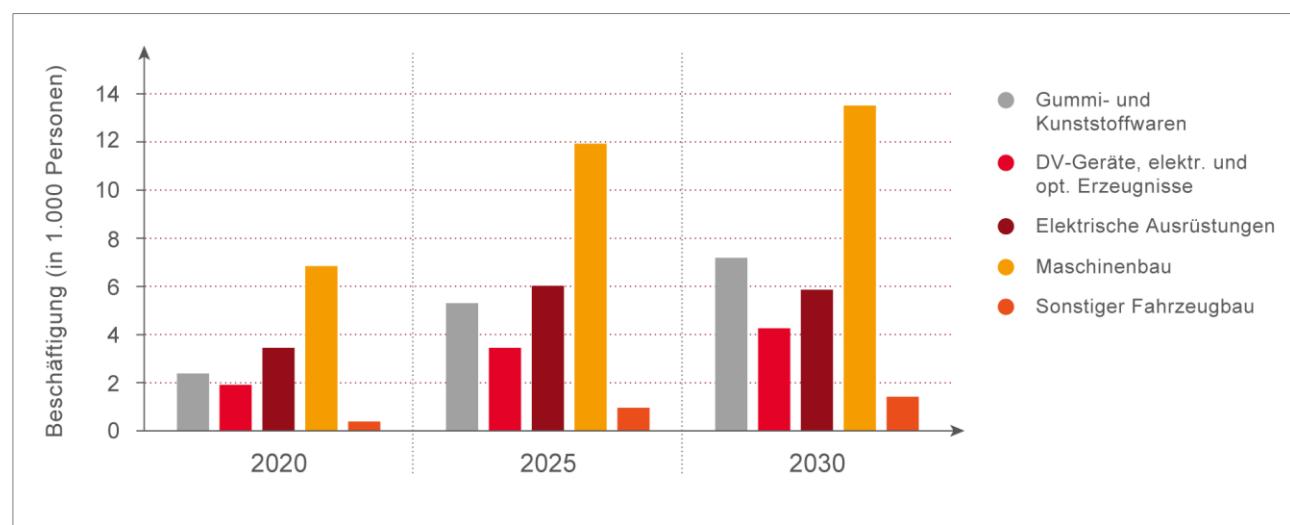
<sup>10</sup> Primäreinkommen sowie empfangene monetäre Sozialleistungen und Transfers, abzüglich Steuern und Sozialbeiträge.

Mrd. Euro höher als im BAU-Szenario (+1,1 Prozent). Insgesamt ist der Finanzierungssaldo des Staates im Jahr 2030 im 2°-Szenario um etwa 13 Mrd. Euro größer als im BAU-Szenario.

Abbildung 20 in Kap. 3 gibt einen Überblick über die jeweils beteiligten Liefersektoren für die unterschiedlichen Klimaschutztechnologiegüter. Während Energieeffizienz einen Querschnitt an Gütern aus vielen Sektoren (u.a. Gummi- und Kunststoffwaren, Glas und Keramik, Maschinenbau, Elektrische Ausrüstungen) benötigt, basieren Güter für die Energieumwandlung sowie Mess-, Steuer- und Regelungstechnik überwiegend auf Vorleistungen aus den Sektoren „Maschinenbau“ sowie „DV-Geräte und elektronische Erzeugnisse“. Entsprechend der Verteilung der Exporte auf die einzelnen Liefersektoren und der Vorleistungsstrukturen fallen die Beschäftigungswirkungen je Sektor aus. Daneben spielen auch sektorspezifische Effekte wie das Lohnniveau, die Knappheit qualifizierter Arbeitskräfte und die Möglichkeiten zur Steigerung der Arbeitsproduktivität, etwa durch Automatisierung, im Zeitablauf zunehmend eine Rolle. Im Verarbeitenden Gewerbe ist deshalb das zusätzliche Beschäftigungspotenzial begrenzt. Dagegen entsteht im Dienstleistungssektor leichter zusätzliche Beschäftigung. Dafür sind Arbeitsplätze im Verarbeitenden Gewerbe deutlich besser bezahlt, wie weiter oben bereits ausgeführt wurde.

Im Maschinenbau sieht man den größten Beschäftigungsunterschied in der Abbildung 29. Im Vergleich zum BAU-Szenario liegt die Zahl der Beschäftigten im Maschinenbau im Jahr 2020 um 6.800 höher; im Jahr 2030 sind es über 13.500 zusätzliche Beschäftigte. Der Maschinenbau ist an der Bereitstellung von einer Reihe von Klimaschutztechnologiegütern beteiligt. Er liefert sowohl Vorleistungsgüter als auch Komponenten und Endprodukte. Der weltweite Ausbau der Windenergie führt beispielsweise zu zusätzlicher Nachfrage nach deutschen Maschinenbaugütern, denn die deutsche Windindustrie macht bereits heute fast 70% ihrer Umsätze mit Exporten (Lehr et al. 2015). Andere Beispiele finden sich in Abschnitt 2. Auch bei den elektrischen Ausrüstungen, den DV-Geräten und den Gummi- und Kunststoffwaren kommt es im 2°-Szenario zu einem nennenswerten Beschäftigungszuwachs: Im Jahr 2030 liegt die Zahl der Beschäftigten im Sektor „elektrische Ausrüstungen“ durch die zusätzlichen Exporte um 5.900 und im Sektor „Gummi- und Kunststoffwaren“ um 7.200 höher als im BAU-Szenario. Einen eher kleineren Beschäftigungszuwachs erfährt der sonstige Fahrzeugbau, wo die Windenergie als ein wesentlicher Treiber z. B. für einen erhöhten Export von Kränen zum Errichten eines Windparks sorgt. Im Jahr 2030 sorgen die zusätzlichen Exporte in diesem Sektor für 1.400 zusätzliche Beschäftigte.

Abbildung 29: Abweichungen der Beschäftigung in ausgewählten Sektoren im 2°-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario

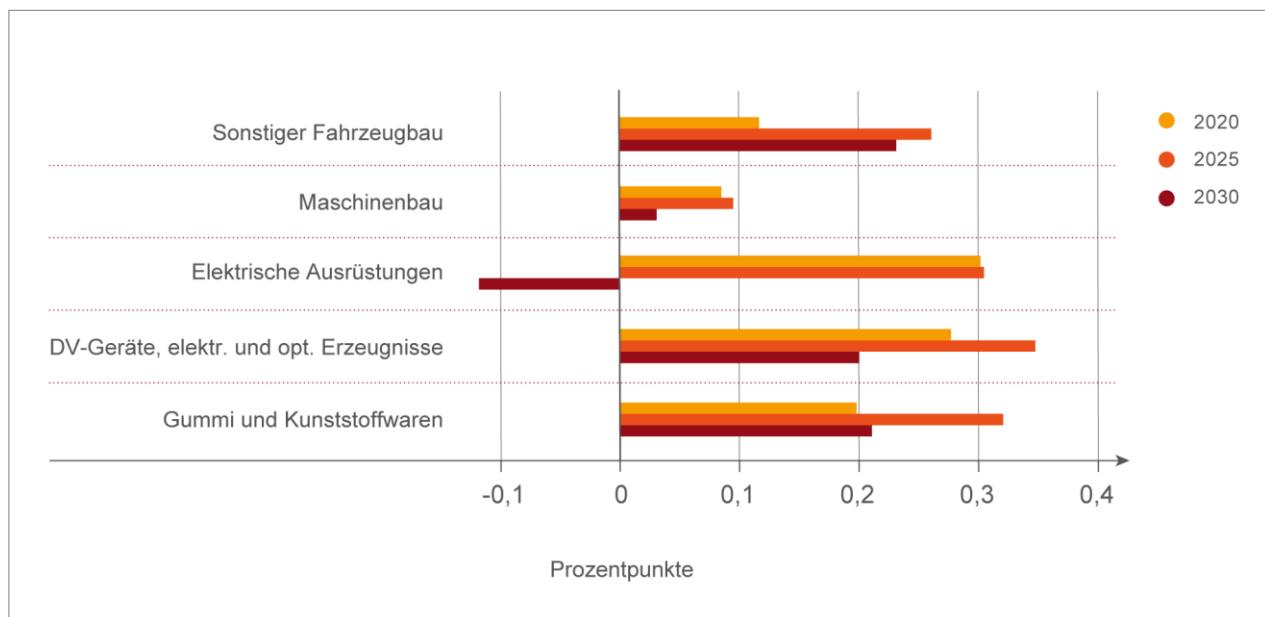


Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen der GWS

Auch ein Blick auf die Differenz der Wachstumsraten des Produktionswertes in den unterschiedlichen Liefersektoren zwischen BAU- und 2°-Szenario verdeutlicht die positive Wirkung der zusätzlichen Exporte. In allen betrachteten Liefersektoren bewirken die Exportimpulse ein höheres Wachstum. Lediglich bei den elektrischen Ausrüstungen im Jahr 2030 liegt die Wachstumsrate im 2°-Szenario unter der im BAU-Szenario.

Die Produktion von elektrischen Ausrüstungen kommt durch das Szenario an ihre Grenzen und findet auf dem zunehmend knappen Arbeitsmarkt nur noch Fachkräfte zu sehr hohen Löhnen. Im Umkehrschluss wachsen die Produktionspreise im 2°-Szenario stärker, was das Wachstum bei den elektrischen Ausrüstungen leicht senkt. Da hier auch Güter produziert werden, die wenig spezialisiert sind und in einem starken Wettbewerb stehen, wird der Sektor langfristig die Arbeitsproduktivität erhöhen.

Abbildung 30: Differenz der Wachstumsraten des Produktionswertes in den unterschiedlichen Liefersektoren zwischen dem 2°- und dem BAU-Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Berechnungen der GWS

Die Zunahme der gesamtwirtschaftlichen Aktivitäten durch den Produktionsanstieg für die Exporte sowie durch den erhöhten Konsum und die Investitionen haben zur Folge, dass sich ein leicht erhöhter Energieverbrauch einstellt. Man kann von einem gesamtwirtschaftlichen Emissionseffekt durch das höhere Produktions- und Konsumniveau sprechen, dem natürlich weitaus größere Emissionsminderungen im Ausland durch den Einsatz der Klimaschutzgüter gegenüberstehen.

Mögliche Effizienzsteigerungen der im Inland eingesetzten Klimaschutzgüter durch „economies of scale“ (höhere Produktion der Klimaschutzgüter) sind in der Modellbetrachtung nicht unterstellt. Im Unterschied zum in Kapitel 2.1 unterstellten globalen Energiemix erreicht Deutschland die 80% THG Minderung bereits im BAU-Szenario mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien. Somit wird der Energiemix in den beiden Szenarien als identisch angenommen (ceteris paribus, s.o.) und die Treibhausgasemissionen liegen in den Export-Szenarien leicht höher.

Im Jahr 2020 sorgen die zusätzlichen Exporte im 2°-Szenario für einen um 0,2 Prozent erhöhten Energieverbrauch im Vergleich zum BAU-Szenario; im Jahr 2030 beträgt der zusätzliche Energieverbrauch etwa 0,6 Prozent. Auch die Abweichung der Treibhausgasemissionen liegt in einer vergleichbaren Größenordnung. In der Bilanz tragen die Exporte deutscher Klimaschutzgüter jedoch global zur Bekämpfung des Klimawandels bei und führen zu klimaverträglicherer Wirtschaftstätigkeit weltweit.

Allen Untersuchungen in der Literatur (vgl. Abschnitt 4.2) ist gemeinsam, dass von den Exporten positive wirtschaftliche Impulse ausgehen. Die Politik kann dieses Geschehen auf zweierlei Weise beeinflussen. Zum einen kann eine starke Rolle bei internationalen Verhandlungen, wie den Klimaschutzverhandlungen der COP, zum Wachstum des internationalen Marktes beitragen. Zum anderen ermöglichen Klimaschutzinvestitionen im Inland die Sichtbarkeit der Produkte heimischer Hersteller und erhöhen die Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit.

Die Unterstützung des Einsatzes klimafreundlicher Technologien eröffnet so den deutschen Unternehmen vermehrt Chancen auf dem Weltmarkt und führt zu mehr Umsatz, Wachstum und auch zu mehr Beschäftigung in den entsprechenden Wirtschaftszweigen. Darüber hinaus wird die Nachfrage entlang der Wertschöpfungsketten dieser Güterproduktionen gestärkt, sodass sich insgesamt positive Multiplikatoreffekte eröffnen.

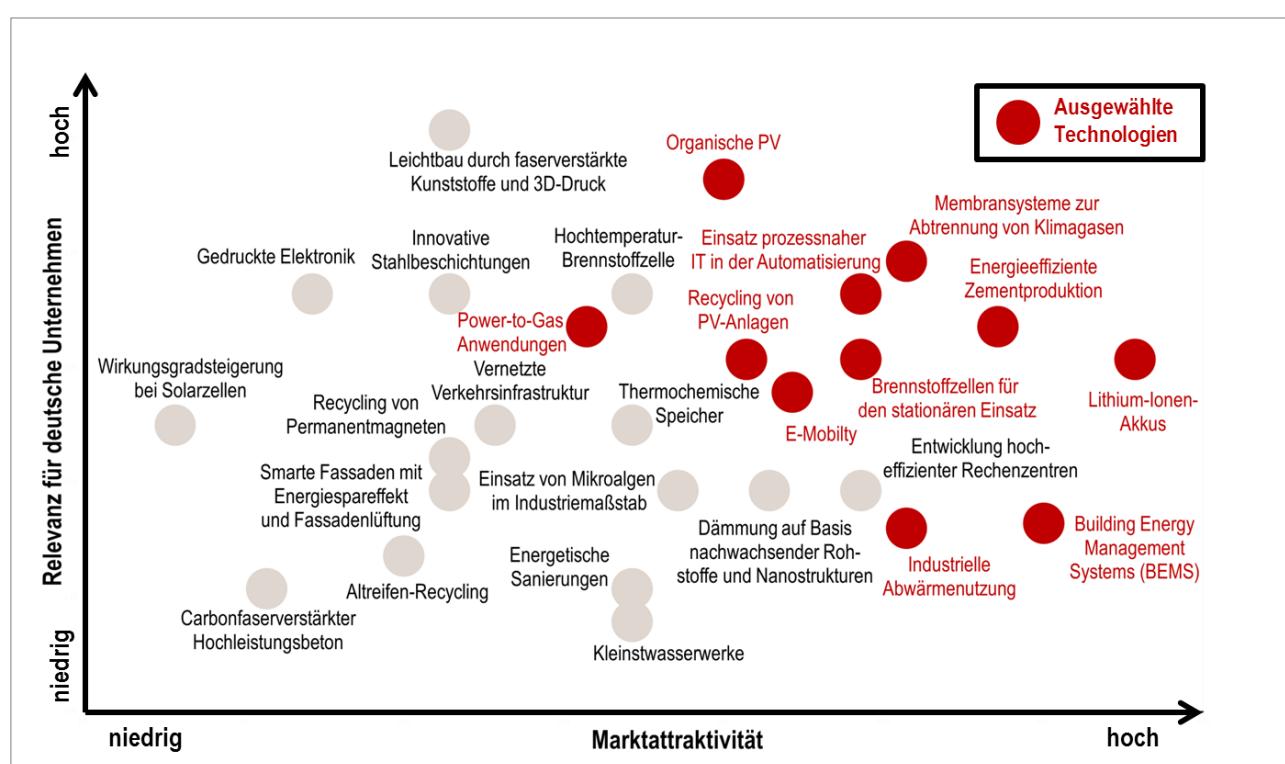
Diese Effekte werden verstärkt, wenn sie mit zunehmender Investitionstätigkeit in den Klimaschutz im Inland einhergehen.

## 5 Analyse ausgewählter Klimaschutzmärkte und erfolgreicher deutscher Unternehmen

### 5.1 Einführung und Methodik

Im Rahmen des Gesamtvorhabens wurden neben der Struktur und der Größe der deutschen und globalen Klimaschutzmärkte auch die Forschungs- und Innovationsschwerpunkte der Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Deutschland dargestellt (vgl. Wirtschaftliche Chancen durch den Klimaschutz (I)): Der Status quo). Dazu erfolgte eine umfassende Analyse (Auswertung von aktuellen Veröffentlichungen, Studien und Interviews mit Experten in Bezug auf Forschung und Innovation) der laufenden Forschungsprojekte, Innovationswettbewerbe und Förderprogramme in Deutschland. Auf dieser Basis wurden 30 Technologien identifiziert, die für die weitere Entwicklung eine besondere Rolle spielen werden. Ein wichtiges Anliegen war dabei, Technologien aus allen fünf Leitmärkten der Klimaschutzwirtschaft (Energieeffizienz, Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie, Rohstoff- und Materialeffizienz, Kreislaufwirtschaft, Nachhaltige Mobilität) zu berücksichtigen. Die einzelnen Technologien wurden mithilfe eines Scoring-Modells bewertet, das sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren berücksichtigt, indem es die Marktattraktivität und die Relevanz für deutsche Unternehmen einschließt.

Abbildung 31: Portfolio-Analyse ausgewählter Technologien in den Klimaschutzmärkten



Quelle: eigene Darstellung

Die Marktattraktivität wurde über die Subkriterien „Globale Marktgröße bis 2030“, „Klimaschutzpotenzial“ und „Wirtschaftlichkeit“ bestimmt. Die Einschätzung der globalen Marktgröße bis 2030 erfolgte im Wesentlichen auf Basis des Roland-Berger-Marktmodells. Das Klimaschutzpotenzial wird als Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen aufgefasst, das durch den Einsatz bzw. die Anwendung der jeweiligen Technologie realisiert wird. Bei der Wirtschaftlichkeit wurde vor allem das Margenpotenzial betrachtet, also die zu erwartende Profitabilität unter Berücksichtigung von Investitionen sowie der Faktoren „Wettbewerbsintensität“ und „Wettbewerbsposition“.

Für die Relevanz der betrachteten Technologien für deutsche Unternehmen sind die derzeitige technische Positionierung, die Rolle als Schlüsseltechnologie für weitere Markterschließung und das Exportpotenzial in die Bewertung eingegangen. Für die Bestimmung der technischen Position wurde unter anderem der Anteil an Patenten herangezogen.

Aus der erstellten Portfolio-Matrix (Abbildung 31) wurden elf besonders attraktive Technologien ausgewählt, die im Folgenden vertieft betrachtet werden. Die vier Technologien „Industrielle Abwärmenutzung“, „Lithium-Ionen-Akkus“, „Recycling von Photovoltaik-Anlagen“ und „E-Mobility“ werden umfassender reflektiert. Dafür wurden neben einer Literaturanalyse im Zeitraum Mai bis September 2016 insgesamt 24 Experteninterviews mit Vertretern der Wirtschaft durchgeführt. Hier werden die Exportmärkte insgesamt dargestellt. Für die Technologien „Building Energy Management Systems“ (BEMS), „Brennstoffzellen für den stationären Einsatz“, „Organische Photovoltaik“, „Einsatz prozessnaher IT in der Automatisierung“, „Energieeffiziente Zementproduktion“, „Power-to-Gas-Anwendungen“ und „Membransysteme zur Abtrennung von Klimagasen“ werden im Rahmen von Unternehmensportraits anschließend Exportansätze geschildert.

## 5.2 Fallbeispiele attraktiver Exportmärkte

### 5.2.1 Recycling von PV-Anlagen

Der Markt für Photovoltaik-Module befindet sich global auf dem Vormarsch. Im Jahr 2000 waren weltweit lediglich 1,5 GW kumulierte Leistung installiert. Bis 2015 wuchs diese Zahl auf 222 GW (IRENA 2016). Bis 2019 wird ein weiteres Wachstum auf bis zu 540 GW installierte Leistung erwartet (Reckinger und Thies 2015). Dadurch gewinnt ein neues Thema zunehmend an Bedeutung: das Recycling ausgedienter und beschädigter PV-Module, da die ersten PV-Anlagen bereits oder demnächst das Ende ihrer Lebensdauer erreichen. Zudem wächst die Zahl der Module, die in den Recyclinghöfen landen.

#### 5.2.1.1 Aktuelle und zukünftige Marktsituation

Der PV-Recyclingmarkt befindet sich noch am Beginn seiner Entwicklung und wird vor allem mittelfristig an Relevanz gewinnen. Der Grund dafür liegt in der Lebensdauer der PV-Module, die 25 bis 30 Jahren beträgt (Latunussa et al. 2016). Berücksichtigt man zusätzlich noch technische Entwicklungen, die dazu führen, dass neue Anlagen höhere Erträge erwirtschaften, sodass viele Nutzer ihre Anlagen bereits vor Ende der Nutzungsphase auswechseln, verringert sich die durchschnittliche Lebensdauer nach aktuellen Schätzungen auf 17 Jahre (SINTEF 2015). Das bedeutet, dass die wirklich großen Mengen an zu recycelnden PV-Modulen in Europa voraussichtlich ab 2025 bis 2032 und später anfallen werden (Hahne und Hirn 2010). Dennoch bestehen bereits seit einigen Jahren Anreize, sich mit dem Recycling von PV-Modulen gezielt zu befassen. Denn neben Modulen, die ihr Lebensende erreicht haben, sorgen fehlerhafte Installationen, Transport- und Wetterschäden, Garantie- und Gewährleistungsfälle, Produktionsfehler und Repowering-Maßnahmen für ein steigendes Aufkommen an PV-Modul-Abfall.

Um der wachsenden Bedeutung dieses Themas Rechnung zu tragen und im Versuch, möglichen Regulierungen vorzukommen, gründete die europäische PV-Industrie im Jahr 2007 das pan-europäische PV-Sammel- und Recycling-Netzwerk „PV Cycle“. PV Cycle organisiert für seine europaweit agierenden Mitglieder die Sammlung und das Recycling nicht mehr funktionsfähiger PV-Module (PV Cycle 2016b). Bis 2015 konnte PV Cycle europaweit circa 15.000 t PV-Modul-Abfall sammeln und Recyclinganlagen zuführen.

Europa ist mit der EG-WEEE-Richtlinie der erste und einzige PV-Markt, in dem das Recycling von PV-Abfall voll integriert und rechtlich geregelt ist. Aber auch andere Märkte, wie die USA und Japan, entwickeln sich im PV-Recycling weiter. So begann PV Cycle dieses Jahr damit, in Japan zusammen mit der japanischen Regierung erste Sammlungs- und Recycling-Testsysteme einzuführen (PV Cycle 2016a). In den USA bieten einige Hersteller bereits eigene Sammel- und Recyclingsysteme an. Andere

Länder, wie China und Indien, sind, auch bedingt durch den späteren Ausbau der Photovoltaik, hingegen aktuell im Bereich PV-Recycling noch kaum entwickelt (Zhang et al. 2013; Meijer und Scherfler 2015; PV Magazine 2015b).

#### Kasten 4: Recycling von PV-Anlagen in Japan

Der PV-Markt Japans hat sich vor allem seit 2012 mit Einführung der Einspeisevergütung bedeutend entwickelt. Das bedeutet, dass der Großteil des PV-Abfallaufkommens Ende der 2030er-Jahre entstehen wird. Das japanische Umweltministerium geht davon aus, dass bis 2020 rund 3.000 Tonnen PV-Module behandelt werden müssen, 2030 schon 30.000 Tonnen und 2040 schließlich etwa 800.000 Tonnen. Umweltschutz spielt eine wichtige Rolle in Japan, sodass Japan angekündigt hat, dieses Jahr Maßnahmen zu ergreifen, um ausgediente PV-Module zu „sammeln und zu behandeln“. Dazu ist man in Japan unter anderem bereits eine Kooperation mit PV Cycle eingegangen. Zusätzlich werden eigene Forschungskapazitäten im Bereich PV-Recycling aufgebaut. Aktuell müssen japanische PV-Firmen nur circa 5 Prozent ihres PV-Abfalls behandeln.

Quellen: PV Tech (2015, 2016); Komoto (2014)

Das PV-Recycling verursacht derzeit noch Kosten für PV-Hersteller und Händler, die über den Erträgen liegen. Nach Schätzungen einer Studie und von Branchenvertretern aus dem Jahr 2012 wird sich dies aber mittel- und langfristig deutlich ändern. Abhängig von der Entwicklung der Preise für Sekundärrohstoffe und Recyclingraten wird erwartet, dass bis 2035 aufgrund der massiven Erhöhung des PV-Abfallaufkommens der Gesamtwert auf 12,9 Mrd. US-Dollar steigt. Im Vergleich dazu werden die Kosten des PV-Recyclings im Jahr 2050 auf 2,6 Mrd. US-Dollar geschätzt (Barber 2012; green jobs Austria et al. 2013).

#### 5.2.1.2 Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale

In Deutschland gibt es aktuell zwei Anbieter, die eine offizielle Lizenz zur Behandlung von PV-Modulen besitzen bzw. voraussichtlich bald besitzen werden: die Exner Trenntechnik GmbH sowie die Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG, die sich am Ende des Genehmigungsverfahrens befindet. Einige PV-Modulanbieter betreiben eigene Recyclinganlagen (GaBi 2014). Der Wettbewerb findet momentan vor allem auf der Ebene der Dienstleister statt, welche die Entsorgung und Abwicklung der regulatorischen Anforderungen des ElektroG im Auftrag der Hersteller und Importeure übernehmen (PV Magazine 2015c). Die größten Kosten entstehen gegenwärtig durch die Sammlungs- und Verteilungslogistik sowie durch den administrativen Aufwand. Zudem beschäftigen sich seit Jahren immer wieder Forschungsprojekte und Pilotanlagen mit dem Recycling von PV-Anlagen in Deutschland (Latunussa et al. 2016). Auch die EU unterstützt verschiedene Forschungsprojekte zum Thema PV-Recycling. Als Beispiele können das Full Recovery End of Life Photovoltaic (FRELP) und das „Circular Economy Projekt CABRISS“ genannt werden.

Hinsichtlich des Zukunftspotenzials werden vor allem das Wachstum der Abfallmengen und die weiteren Entwicklungen der Recyclingtechnologien zukünftig den Markt vorantreiben. Die im Rahmen des Projekts befragten Experten der Branche stimmten darin überein, dass der globale Markt für PV-Recycling auf Grund der geringen Mengen insgesamt noch „sehr jung sei“ bzw. „am Anfang stehe“. Dies liege laut einem der befragten Experten unter anderem daran, „dass PV-Module eine durchschnittliche Lebenszeit von etwa 25 Jahren“ aufweisen. Obwohl sich das Recycling von PV-Modulen noch nicht als eigenständige und spezialisierte Industrie entwickelt hat, sind deutsche und europäische Unternehmen jedoch nach Meinung der Branchenexperten technologischer Vorreiter auf dem Gebiet des PV-Recyclings. Insgesamt ist die Branche in Deutschland noch zu jung und noch zu sehr auf den deutschen Markt fokussiert, um eine robuste Einschätzung des Exportpotenzials von PV-Recycling vorzunehmen. Die meisten Unternehmen im deutschen PV-Recyclingmarkt beobachten zwar internationale Chancen, bisher haben sich im Bereich „Kristalline Module“ aber noch wenige Möglichkeiten ergeben. Zusätzlich bereitet das sortenreine Recycling noch Schwierigkeiten. Immerhin ist Deutschland nach Ansicht eines

der befragten Experten „weltweit der erste Markt, in dem das Recycling wirklich wichtig wird“. In Ländern wie Indien und China wird es demnach hingegen „noch 10 bis 12 Jahre dauern, bis das Recyclingthema richtig losgeht“. Besonders vielversprechend sieht es im Bereich des Recyclings von Dünn-schichtmodulen aus, da die deutsche Industrie hier nach Meinung von Branchenexperten weltweit die technologische Vorreiterrolle einnimmt.<sup>11</sup> Hier ist die Strategie gezielter auf globale Expansion ausgerichtet und erste Gespräche sind bereits im Gange. Die befragten Experten bewerten zunächst vor allem China, Japan und die USA sowie im erweiterten Kreis Indien und Chile als potenziell interessante Kooperationspartner.

### 5.2.1.3 Politische Rahmenbedingungen

Die Europäische Union integrierte das PV-Recycling in die Novellierung der WEEE-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) vom 3. August 2012 und schuf somit rechtlich verbindliche Rahmenbedingungen. Geschahen die Rücknahme und das Recycling von PV-Modulen bis dahin auf freiwilliger Basis, müssen diese nun verpflichtend recycelt werden. Alle EU-Staaten wurden im Rahmen der Novelle aufgefordert, bis Ende Februar 2014 die neuen Regelungen in die nationale Gesetzgebung umzusetzen. Im Oktober 2015 trat in Deutschland das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) in Kraft (Schroeder und Dasenbrock 2015). Es wurde ab dem 1. Februar 2016 für Hersteller und Händler von PV-Modulen verbindlich (Wirth 2016). Sie sind nunmehr verpflichtet, mindestens 85 Prozent der PV-Module unentgeltlich zurückzunehmen und zu recyceln sowie das dazu notwendige System zu finanzieren (Wirth 2016). Zudem sind bestimmte Verwertungsquoten einzuhalten, die aber in der Regel überschritten werden.<sup>12</sup> Die Rücknahme kann entweder über öffentlich-rechtliche Entsorgungsunternehmen oder über ein eigenes Recyclingsystem erfolgen. Zu diesem Zweck muss jedes neue PV-Modul, welches in den europäischen Markt gebracht wird, im jeweiligen Land bei einem nationalen Produzentenregister angemeldet werden.

Die WEEE-Richtlinie hat in Europa dazu geführt, dass der Sammlungs- und Recyclingmarkt für PV-Anlagen wächst; sie könnte auch für andere Staaten ein möglicher Schritt zur Etablierung eines regulatorischen Rahmens für PV-Recycling sein. Davon würde auch Deutschland als Technologievorreiter durch Export von Technologien, Lizzenzen und Beratungsleistungen profitieren.

<sup>11</sup> Im Vergleich dazu sind deutsche Firmen im Recycling von kristallinen Modulen gleichauf mit anderen europäischen Recycling-Anbietern.

<sup>12</sup> In Deutschland muss der Anteil der Verwertung mindestens 70 Prozent des gesammelten Modulgewichts betragen. Mindestens die Hälfte des insgesamt eingesammelten Modulgewichts muss dabei recycelt werden.

### 5.2.1.4 SWOT-Übersicht

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> <li>► Deutsche Unternehmen teilweise weltweit Technologieführer, Vorreiterrolle im Bereich des Recyclings von Dünnschichtmodulen</li> <li>► Dienstleistungspaket deutscher (und europäischer) Anbieter im Bereich Entsorgung und Abwicklung der regulatorischen Anforderungen entwickelt</li> <li>► Kontakt-Netzwerk innerhalb des pan-europäischen Netzwerks der PV-Industrie</li> <li>► Starker Forschungsstandort Deutschland und Forschungsförderung der EU unterstützen Technologieentwicklung der Firmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Wirtschaftlichkeit/hohe Kosten Aufgrund kleiner Recyclingmengen und kleinem Markt bleibt Skaleneffekt aus</li> <li>► Kaum Anbieter im Bereich reines PV-Recycling auf nationalem/internationalem Markt vertreten (nur im Dienstleistungsbereich)</li> <li>► Aufgrund des kleinen Marktes wenig Referenzen</li> <li>► PV-Recycling nur bedingt spezialisiert, keine reine PV-Recycling-Industrie</li> <li>► Wettbewerb unter Anbietern nur auf der Sammelsystem-/Dienstleistungs-Ebene, kein Wettbewerb im reinen PV-Recycling</li> <li>► Kaum internationale Firmenkooperationen</li> </ul>
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>► PV-Abfallvolumen wächst in den nächsten Jahrzehnten global massiv an</li> <li>► Aktive globale Klimapolitik lässt Märkte in anderen Ländern entstehen</li> <li>► Steigender Wert der recycelten Sekundärmaterialien</li> <li>► Förderliche Regulierung/Verpflichtung zum Recyceln (z.B. im Rahmen der WEEE)</li> <li>► Internationale Kooperationen (z.B. im Rahmen von PV Cycle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Konkurrenz durch europäische und teilweise amerikanische Wettbewerber</li> <li>► Andere Nationen bauen eigene Forschungskapazitäten auf</li> </ul>

### 5.2.2 Elektromobilität mit Fokus auf Ladeinfrastruktur und Netzintegration

Der Ausbau der Elektromobilität kann dazu beitragen, die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors deutlich zu senken. Ein wichtiges Nadelöhr beim Ausbau der Elektromobilität ist die Ladeinfrastruktur und die Integration in das Stromnetz. Hierbei geht es nicht nur darum, dass eine ausreichende Anzahl an Ladesäulen zur Verfügung steht, sondern auch um die Identifikation von Nutzer, Fahrzeug und Ladesäule durch Einsatz intelligenter Netze und Zähler, damit die Energielieferung und Netznutzung zugeordnet und abgerechnet werden kann (NPE 2015). Ladetechnologien, die zusätzlich die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die Netzauslastung berücksichtigen (sogenannte „smart grid“-Technologien), befinden sich noch in der Entwicklung und werden in dieser Arbeit auf Grund noch fehlender Marktreife und geringer Verlässlichkeit von Aussagen hinsichtlich ihres Exportpotenzials nicht weiter berücksichtigt (NPE 2016; VDE 2016a). Da Deutschland bereits Vorreiter bei der Energiewende ist, könnte es sich auch im Bereich der Elektromobilität und insbesondere der Ladeinfrastruktur Exportpotenziale sichern. Die Marktchancen für deutsche Anbieter werden im Folgenden genauer betrachtet.

### 5.2.2.1 Aktuelle und zukünftige Marktsituation

In Deutschland befinden sich neben den Ladepunkten im privaten Bereich etwa 15 Prozent der Ladepunkte im öffentlichen Raum. Ende 2015 gab es nach Informationen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) rund 5.800 öffentlich zugängliche Ladepunkte, darunter 150 Schnell-Ladepunkte (Stand: Dezember 2015). Bis 2020 soll die Zahl der öffentlichen Ladepunkte auf 70.000 erhöht werden, darunter 7.100 Schnell-Ladepunkten. Seit 2012 erfolgt allerdings ein verlangsamter Ausbau der öffentlich zugänglichen Normal-Ladeinfrastruktur, der die Zahl der Elektrofahrzeuge pro öffentlich zugänglichem Ladepunkt weiter ansteigen lässt (im Jahr 2015 etwa 6,7) (NPE 2015, 2016).

In vielen Ländern wird der Ausbau der Ladeinfrastruktur politisch vorangetrieben. Das European Alternative Fuels Observatory (eafo) veröffentlichte Anfang 2017 eine EU-weite Statistik der öffentlichen Ladepunkte für 2016 (eafo 2017). Demnach wiesen die Niederlande die größte Zahl an öffentlichen Ladestationen auf (26.700), gefolgt von Deutschland (24.667), Frankreich (15.883) und dem Vereinigten Königreich (12.583). Nationale Ausbauziele weisen auf ein immenses Marktwachstum in vielen Ländern in den kommenden Jahren hin. In Frankreich soll es im Jahr 2020 etwa 40.000 öffentliche Ladepunkte geben (NPE 2013, S. 59). Das Ziel der USA ist die Verzehnfachung der Anzahl der Ladestationen bis 2018, wobei der Fokus hier nicht im privaten Bereich, sondern auf Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen liegt (NPE 2013). Ein besonders starker Ausbau der Ladeinfrastruktur findet auch in China statt. Alleine im Jahr 2016 wurden etwa 100.000 öffentliche Ladepunkte gebaut. Damit lag die Zahl der öffentlichen Ladepunkte Anfang 2017 bei etwa 150.000. Bis 2020 soll die Zahl der öffentlichen Ladepunkte auf 800.000 ansteigen (Automobil Produktion 2017).

#### Kasten 5: Ladeinfrastruktur in Norwegen

Auf Grund starker staatlicher Förderung hat sich Norwegens Elektromobilitätsmarkt in den letzten Jahren von einem Early-Adopter-Status zu einem Massenmarkt entwickelt. Bei einer Einwohnerzahl von 5 Mio. hat Norwegen mit rund 80.000 Elektrofahrzeugen einen der höchsten Marktanteile weltweit. In Norwegen gibt es bereits rund 7.000 öffentliche Ladepunkte, darunter 280 Schnell-Ladepunkte. Da Norwegen im Bereich der Elektromobilität über keine eigene Herstellerindustrie verfügt, ist dieses Land aus deutscher Exportsicht besonders interessant. Hier besteht ein großes Zukunftspotenzial für deutsche Firmen, wie auch schon ein Großauftrag an die deutsche Firma Mennekes über 800 Ladepunkte in Oslo zeigt.

Quellen: Charged Electric Vehicles Magazine (2016); GTAI (2016)

Hinsichtlich der Netzintegration wurde in allen Ländern das Potenzial eines intelligenten Energiemanagements erkannt, welches die zeitlich schwankende Verfügbarkeit von regenerativen Energien und die strukturellen Rahmenbedingungen miteinbezieht. Allerdings ist noch keine flächendeckende Verbreitung der Netzintegration der Elektromobilität zu erkennen. Man befindet sich aktuell in der Forschungs- und Pionierphase, weshalb noch keine verlässlichen Aussagen über das Exportpotenzial deutscher Unternehmen gemacht werden können.

### 5.2.2.2 Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale

In den letzten Jahren ist die Elektromobilbranche in Deutschland stark gewachsen und konnte ihre Position im internationalen Wettbewerb festigen. Dies gilt auch für den Bereich der Ladeinfrastruktur und Netzintegration. Für die Zukunft erwarten die im Rahmen des Projekts befragten Experten ein weiteres Wachstum. Zum Beispiel prognostizierte ein Experte, dass „der Markt [für Ladeinfrastruktur und Netzintegration] zwischen 2018 und 2020 trotz unzureichender Regulierung vor allem in Deutschland weiter anziehen wird, da sich Elektrofahrzeuge stärker durchsetzen werden“. Neben den heimischen Automobilherstellern gibt es eine Reihe von Unternehmen, die sich ganzheitlich auf die Herstellung von Ladeinfrastruktur und Netzintegration spezialisiert haben. Hierzu gehören unter an-

derem IBG, Swarco und insbesondere dessen Tochtergesellschaft Veriox, EBEE Technologies, ABL, Walther Werke, Rohde & Schwarz, Mennekes und Ubitricity.

Ubitricity hat beispielsweise ein Ladekabel mit einem mobilen, intelligenten Stromzähler entwickelt, sodass zum Ladevorgang nur noch eine spezielle Steckdose nötig ist, die nahezu überall installiert werden kann. Eine besonders innovative Variante ist die Installation dieser Steckdosen in Laternen, die somit als Ladesäule fungieren. Darüber hinaus kommt ein intelligentes Kommunikationssystem zum Einsatz, das den Ladevorgang von Strom über Verteilnetze und Regelzonen hinweg beispielsweise von der eigenen Solaranlage ermöglicht. Zudem kann ein Elektroauto, das mit einem Ladekabel von Ubitricity ausgestattet ist, gesteuert geladen werden. Somit kann der Ladevorgang dem aktuellen Erzeugungsmix aus regenerativen Energien angepasst werden und zur Netzstabilität beitragen (Ubitricity 2016).

Im Jahr 2013 hat die Europäische Kommission eine Richtlinie für ein europaweit einheitliches Lade-Vorrichtungsstecksystem für die Elektromobilität erlassen, das den von der deutschen Firma Mennekes entwickelten Stecker Typ 2 für den Einsatz in ganz Europa empfiehlt (Mennekes 2013b). Die durch diesen gemeinsamen Standard entstehende Investitionssicherheit für Hersteller und Betreiber wirkt sich positiv auf die Rolle der deutschen Hersteller, insbesondere auf Mennekes als Entwickler, aus. Sichtbar wurde dies anhand eines Großprojektes in Oslo, im Zuge dessen Mennekes 400 Ladestationen mit insgesamt 800 Ladepunkten errichtet (Mennekes 2013a). Auch Ubitricity setzt bei seinem intelligenten Ladekabel auf den Stecker Typ 2.

Die eHighway Systeme von Siemens mit der Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs, insbesondere mit Oberleitungssystemen für das Laden von LKWs während der Fahrt, bieten eine innovative Variante der Ladeinfrastruktur. Dies wird bereits in Kalifornien und Schweden erprobt (Bundesregierung 2016; Siemens 2015).

Zukunftspotenzial für die deutschen Hersteller bestehen – neben dem weiteren Export des von Mennekes entwickelten Steckers Typ 2 – in der Erforschung innovativer, kostengünstiger und simpler Lösungen für intelligente Stromzähler und Kommunikationssysteme in Anlehnung an Ubitricitys Entwicklungen. Es bestehen beispielsweise Chancen in der Entwicklung intelligenter Bezahlsysteme sowie im Ausbau intelligenter Netze. Die Exportchancen deutscher Unternehmen hängen dabei stark von der geltenden Normierung in der jeweiligen Zielregion ab. In Asien sind die Exportchancen zum Beispiel durch ein anderes Stecksystem deutlich geringer als in Europa und den USA. Die Bedeutung von internationaler Normierung betonte ein befragter Experte mit der Aussage, dass „Normierung im Bereich Ladeinfrastruktur immer dann eher hinderlich für den Export [ist], wenn sie ausschließlich auf nationaler Ebene stattfindet“. Im internationalen Vergleich werden deutsche Anbieter von Ladeinfrastruktur von den befragten Experten als konkurrenzfähig angesehen. Verhaltene Marktanteile von Elektroautos, unterschiedliche Bezahlsysteme und unzureichende Infrastruktur sind aktuell noch die größten Hindernisse für den Export. Besonderes Exportpotenzial wird in Ländern mit einem relativ großen Anteil von Elektroautos, aber ohne nationale Elektroautomobilindustrie gesehen, wozu laut einem befragten Experten zum Beispiel die Länder Niederlande, Norwegen und Dänemark gehören.

### 5.2.2.3 Politische Rahmenbedingungen

Bereits heute werden die Weichen für die Marktentwicklung der Elektromobilität in Deutschland gestellt. Mit dem Regierungsprogramm Elektromobilität vom 18. Mai 2016 wurden verschiedene Maßnahmen angeschoben: eine Kaufprämie für Neufahrzeuge, Kfz-Steuerbefreiung für fünf Jahre, eine Förderung von 300 Mio. Euro für die Verbesserung der Infrastruktur sowie 2,2 Mrd. Euro für die Forschung und Entwicklung. Darüber hinaus wurde im Jahr 2010 die „Nationale Plattform Elektromobilität“ gegründet (BMBF 2016).

Die Mitgliedsländer der EU wurden mit der im Jahr 2014 erlassenen Richtlinie zum Ausbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe verpflichtet, einen Markt für alternative Kraftstoffe zu entwickeln

und die erforderliche Infrastruktur aufzubauen. Zudem werden einheitliche technische Standards für Lade-Steckdosen an Ladesäulen angestrebt (Europäische Union 2014). Hiermit erfolgte ein erster Schritt in Richtung einheitlicher Ladestandards, die eine Bedingung für den grenzüberschreitenden Verkehr darstellen. Eine Herausforderung bleibt jedoch, einheitliche Normen und Standards auf internationaler Ebene einzuführen, da z.B. in Japan und den USA nicht der Ladestecker Typ 2, sondern Typ 3 weitgehend verbreitet ist.

In Japan wurden bereits im Jahr 2010 mit dem „Next Generation Vehicle Plan“ die Grundlagen für die Förderung der Infrastruktur, Systemintegration und Energiespeicher gelegt, u.a. durch intensive Forschung und zahlreiche Initiativen im Bereich „Smart Technology“. Weitere finanzielle Anreize bestehen in Form von Steuererleichterungen und der Übernahme von bis zu 50 Prozent der Mehrkosten durch den Staat (NPE 2013; Focus 2016). Die USA fördert die Bereiche „Antriebsstrang“, „Batterie“, „Netzinfrastruktur“, „Leistungselektronik“ und „Fahrzeuge“ mit 226 Mio. US-Dollar. Kaufprämien für Elektrofahrzeuge bestehen u.a. in den USA, China und Frankreich und seit dem Jahr 2016 auch in Deutschland (NPE 2013).

Im Gegensatz zum Ausbau der Förderungen in den genannten Ländern lassen sich in anderen Staaten, etwa in Norwegen und Schweden, bereits gegensätzliche Entwicklungen beobachten, dort werden finanzielle Anreize reduziert oder abgeschafft (GTAI 2016). In Dänemark muss seit diesem Jahr eine Zulassungssteuer von 20 Prozent auf Elektrofahrzeuge gezahlt werden, die bis zum Jahr 2020 sukzessive auf 100 Prozent gesteigert werden soll (GTAI 2015).

#### 5.2.2.4 SWOT-Übersicht

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> <li>► Anbieter stehen für Qualität „Made in Germany“</li> <li>► „Early-Mover“-Vorteile bei der Umsetzung der europaweit einheitlichen Richtlinien in Deutschland</li> <li>► Innovationskraft deutscher Anbieter (z.B. ubitricity)</li> <li>► Durch den EU-Standard für Ladestecker Typ 2 bestehen speziell für die deutschen Entwickler des Steckers Handels-/Exportvorteile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Kaum internationale Firmenkooperationen</li> <li>► Unterschiedliche Standards bei Stecksystemen (z.B. EU vs. Asien)</li> <li>► Unterschiedliche Abrechnungssysteme (auch innerhalb der EU)</li> </ul>
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>► steigende Nachfrage nach Infrastruktur und E-Fahrzeugen</li> <li>► Ausbau weltweit grundsätzlich gewollt</li> <li>► Umfangreiche Subventionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Subventionen im Ausland für konkurrierende Firmen</li> </ul>

#### 5.2.3 Lithium-Ionen Akkus

Mit einem zunehmenden Anteil der fluktuierenden erneuerbaren Stromquellen PV und Wind im Stromsystem gewinnen Speichermöglichkeiten weltweit an Bedeutung und hier insbesondere statio-näre Batteriespeicher. Die Anwendungsvorteile von Batteriespeichern sind vielfältig: Sie können die Netzstabilität erhöhen, die Redispatch-Kosten senken und zum Netz-Engpassmanagement beitragen. Ferner können Speicher den Bedarf an neuen Fernleitungen reduzieren. In Entwicklungsländern bie-ten PV-Speicher-Lösungen außerdem die Möglichkeit, ländliche Bevölkerungsteile verlässlich mit

Strom zu versorgen (Off-Grid Lösungen). Vor diesem Hintergrund entstehen weltweit signifikante Wachstumsmärkte für Batteriespeicher. Aufgrund der stark sinkenden Kosten gelten speziell Lithium-Ionen Batterien (LIB) als eine vielversprechende Technologie mit großen Marktchancen im Bereich der stationären Batteriespeicher. Auch für deutsche Unternehmen bieten diese Entwicklungen am Speichermarkt nach Meinung der befragten Experten bedeutende Exportchancen.

### 5.2.3.1 Aktuelle und zukünftige Marktsituation

In den kommenden 15 bis 20 Jahren wird erwartet, dass sich die LIB-Technologie zu ihrer völligen Reife entwickeln wird (Thielmann et al. 2015a).

Die globale netzgebundene Speicherkapazität umfasste 2015 etwa 145 GW. Rund 95 bis 98 Prozent kommen von Pumpspeicher-Kraftwerken. Mit etwa 256 MW installierter Leistung und bereitgestellter Energie von 1 bis 2 GWh (Stand 2015) leisten LIB-Systeme derzeit noch einen sehr kleinen Beitrag (Thielmann et al. 2015b). Es zeichnet sich jedoch deutlich ein Investitionstrend zugunsten der LIB in der netzgebundenen stationären Anwendung ab. So basieren 90 Prozent der 2014 weltweit neu in Auftrag gegebenen netzgebundenen Speicherprojekte auf Lithium-Ionen-Technologie (Lux Research 2015).

Da der LIB-Markt in stationären Anwendungen noch ein sehr junges Feld ist, sind derzeit präzise Prognosen zu Wachstumsraten kaum möglich. Marktschätzungen schwanken zwischen einem Wachstum von 10 bis 30 Prozent bis 2020 und einer Marktgröße bis über 3 Mrd. US-Dollar für netzgebundene LIB-Systeme und 6 Mrd. US-Dollar für netzunabhängige Energiespeicher (Thielmann et al. 2015a; Business Wire 2016). Vor dem Hintergrund des steigenden Anteils erneuerbarer Energien, besonders in Nordamerika, Asien (speziell China und Indien) und Europa, stellen diese Regionen auch die größten Absatzmärkte für stationäre Energiespeicher dar (CAIRN 2015).

Bemerkenswert und entscheidend für die steigenden Investitionen in LIB sind die stark fallenden Kosten in den vergangenen Jahren. Zwischen 2012 und 2015 konnte für LIB eine Kostenreduktion um 53 Prozent erreicht werden (IHS 2015). Dies ist die Folge der technologischen Weiterentwicklung und von Lerneffekten. Abhängig von der produzierten Stückzahl lagen Ende 2014 die Kosten<sup>13</sup> für eine Standard-LIB<sup>14</sup> weltweit bei 300 bis 400 Euro/kWh (VDMA Batterieproduktion 2014). Marktführer konnten diesen Wert sogar mit 271 Euro/kWh unterbieten (PV Magazine 2015a). Überwiegend gehen Prognosen bis 2020 davon aus, dass sich dieser Trend der Kostenreduktion fortsetzen wird und sich die Kosten dann auf etwa 250 Euro/kWh belaufen werden (VDMA Batterieproduktion 2014). Für eine großflächige Kommerzialisierung stationärer Speicheranwendungen wird ein Schwellenwert von 135 Euro/kWh als realistisch erachtet (PV Magazine 2015a).

Treiber der Marktentwicklung und der Kostensenkung von LIB sind derzeit nicht vornehmlich der Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Strommarktintegration, sondern der Elektromobilitätssektor. Die zukünftige Marktsituation von LIB im Bereich stationärer Speicher hängt damit auch von den Fortschritten in der Anwendung und der verbesserten Kosteneffizienz bei der Elektromobilität ab.

### 5.2.3.2 Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale

Mit führenden Unternehmen wie Panasonic, Samsung, LG Chem und AESC konzentriert sich die LIB-Zellherstellung vor allem im asiatischen Raum, speziell Japan, Korea und China. Diese „Vorreiterstellung [asiatischer Länder], insbesondere in der Zellherstellung“ wurde von den im Rahmen des Projekts befragten Branchenexperten bestätigt. Aber auch die USA haben sich in den letzten Jahren als

<sup>13</sup> Die Kosten beziehen sich nicht auf den Endkundenpreis.

<sup>14</sup> Standard-LIB bezeichnet hier eine 4 Volt-Lithium-Ionen-Batterie mit einer Energiedichte von 110 Wh/kg (179 WH/l), einer Lebensdauer von mehr als 5.000 Zyklen (entspricht circa 10 bis 15 Jahren Betriebsdauer) und einem Risiko von maximal EUKAR-Level 4 (VDMA Batterieproduktion 2014).

einer der führenden Anbieter hervorgetan. Allen voran machte der Elektroauto-Hersteller Tesla im Jahr 2015 Schlagzeilen mit seinem Markteintritt in den Bereich der kleinen dezentralen Speicher.

Europäische bzw. deutsche Hersteller spielen derzeit noch eine vergleichsweise kleine Rolle in der LIB-Produktion. Lediglich 5 Prozent der weltweiten großformatigen LIB werden in Europa produziert (VDMA Batterieproduktion 2014). Angesichts der Wachstumsraten von LIB lässt sich jedoch eine neue Dynamik auf dem europäischen Markt erkennen. So hat zum Beispiel der deutsche Batteriehersteller BMZ im Mai 2016 den ersten Teilabschnitt der größten Lithium-Ionen-Batterienfertigung<sup>15</sup> Europas in Karlstein am Main in Betrieb genommen (BMZ 2016). Autobauer, wie Daimler und BMW, folgen den Spuren Teslas und haben das Feld der Batterieherstellung für stationäre Speicher für sich entdeckt (PV Magazine 2016). Als führender deutscher Anbieter von kleinen dezentralen Heimspeichern hat sich das Unternehmen sonnen GmbH in Deutschland und Italien als Marktführer an die Spitze setzen können (sonnen GmbH 2016b). Die USA sind für sonnen bereits der zweitwichtigste Absatzmarkt. Weltweit verkauft sonnen im ersten Quartal 2016 rund 2.600 Heimspeicher und liegt damit vor Teslas Batterie „Powerwall“ (sonnen GmbH 2016a). Produziert wird sowohl in Deutschland als auch in den USA. Das Unternehmen Younicos hat sich vor allem im Bereich der intelligenten Netz- und Energiespeicherlösungen international durchsetzen können. Die Kernkompetenz des Unternehmens liegt in der Systemintegration. Neben Deutschland und Europa sind nach Auskunft der befragten Experten die USA der wichtigste Absatzmarkt für Younicos.

Deutsche Anbieter von LIB zeichnen sich im internationalen Markt vornehmlich durch ihre Systemkompetenz aus. Vollintegrierte Komplettsysteme versprechen eine einfache Installation und Handhabung für den Kunden. Weitere zusätzliche Smart-Home-Geräte können bei manchen Herstellern dazu gekauft werden. Im Fall der intelligenten Energiespeicher-Lösungen sind nach Ansicht der befragten Experten die individuell durchdachten Lösungen zur Integration von Speichern, das technische Know-how und die Beratung ein wichtiges Merkmal deutscher Anbieter.

Neben der Herstellung von LIB-Systemen birgt auch der Maschinen- und Anlagenbau ein großes Potenzial für deutsche Anbieter auf dem internationalen Markt (Maiser et al. 2015). Deutsche Unternehmen sind bereits heute in Asien und den USA stark gefragt, um die notwendigen Maschinen und Anlagen zur Fertigung von LIB-Zellen zu liefern. Rund 65 Prozent der in Deutschland gefertigten Maschinen und Anlagen, die zur Batterieproduktion notwendig sind, werden nach Asien und Nordamerika exportiert (elektroniknet 2015). Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau kann heutzutage die gesamte Wertschöpfungskette für die Zellfertigung abbilden. Allerdings bieten derzeit nur rund 50 Prozent der insgesamt über 100 Unternehmen, die die Technologie theoretisch bereitstellen könnten, diese auch auf dem globalen Markt an (VDMA Batterieproduktion 2015). Dies hängt vermutlich u.a. mit der Größe der Hersteller zusammen. Kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs) fehlen in manchen Fällen die personellen und finanziellen Kapazitäten, um ausländische Märkte zu erschließen.

Weitere Chancen, die zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Anbieter diskutiert werden, bestehen in der Entwicklung einer LIB-Zellproduktion in Deutschland. So bezeichne es einer der befragten Experten als für die zukünftigen Exportaussichten sehr förderlich, als Industriestandort „in allen Teilen der Wertschöpfungskette vertreten“ zu sein. Insbesondere der Maschinen- und Anlagenbau befürchtet, dass das eigene Know-how in der Herstellung der Fertigungsanlagen ohne eine Zellfertigung im Land verloren gehen könnte, da die Anbieter kaum an einer Weiterentwicklung der Technologie und dem Herstellungsprozess beteiligt seien. Lerneffekte und Anpassungen an neue Zelltechnologien seien damit äußerst schwierig. Für den erfolgreichen Aufbau einer einheimischen Zellindustrie

<sup>15</sup> Batterien werden nicht allein für den Anwendungsbereich der stationären Speicher gefertigt, sondern auch für Elektromobilität, Baufahrzeuge und Haushaltsgeräte.

wird von einem befragten Experten der mögliche Einstieg eines oder mehrerer „großer Player aus der Automobilindustrie“ als besonders erfolgsversprechend eingestuft.

### 5.2.3.3 Politische Rahmenbedingungen

Mit dem Ausbau der fluktuierenden erneuerbaren Energien ergreifen Regierungen weltweit Maßnahmen, um die Entwicklung der Speichertechnologie, speziell der LIB, voranzutreiben. Unter anderem haben Japan, Teile der USA und China förderliche Rahmenbedingungen für stationäre Energiespeicher geschaffen. Diese umfassen etwa in Japan ein Förderprogramm für Privathaushalte und kleine Unternehmen, die in LIB-Speichersysteme investieren<sup>16</sup>, sowie in Kalifornien staatlich festgelegte Speicherziele (Kasten 6). In China wird eine Strommarkt-Reform angestrebt, die größeren Wettbewerb zulassen soll und die Einführung flexibler Strompreise in Betracht zieht.

#### Kasten 6: Speicherzellen in Kalifornien

Kalifornien nimmt eine Vorreiterrolle bei der Förderung der Speichertechnologie ein und hat mit Speicher-Ausbauzielen bis 2020 neue Maßstäbe gesetzt. Im Jahr 2013 legte die „California Public Utilities Commission“ (CPUC) fest, dass die drei größten Energieunternehmen bis 2020 eine Energiespeicher-Kapazität von insgesamt 1,325 GW bereitstellen müssen. Parallel zu den Speicherzielen hat Kalifornien einen „Renewable Portfolio Standard“ (RPS) festgelegt, der vorsieht, dass der Anteil der erneuerbaren Energien im bundesstaatlichen Strommix bis 2020 auf 33 Prozent und bis 2030 auf 50 Prozent erhöht wird. Im Jahr 2014 lag der Erneuerbaren-Anteil bereits bei rund 25 Prozent. Eine Reihe von Fördermaßnahmen schafft dabei Anreize, in dezentrale erneuerbare Energien- und Speicheranlagen zu investieren. Neben der „Net-Metering-Regelung“, bietet das „Self Generation Incentive Programm“ (SGIP) finanzielle Förderungen für erneuerbare Energien- und Speicheranlagen. Bemerkenswert ist hierbei, dass 77,4 Prozent der 603 geförderten Projekte des SGIP im Jahr 2014 (Gesamtkapazität von 104,7 MW) Energie-Speicherprojekte waren.

Quelle: AHK USA (2015b)

Auch in Deutschland werden Speicher ein wichtiger Bestandteil werden, um die nationalen Klimaschutzziele bis 2050 zu erreichen. Derzeit ist das Recht zur Energiespeicherung sehr fragmentiert und eine klare energiewirtschaftliche Einordnung von Energiespeichern fehlt. Es steht deshalb eine Reihe von Anpassungen des regulatorischen Rahmens zur Diskussion, um Speichern einen verstärkten Einsatz im Energiesystem zu ermöglichen. Das Entfallen der Netzentgelte für die eigene Erzeugung bei neuen Speichern<sup>17</sup> und das Marktanreizprogramm der Bundesregierung zur Förderung von Solarstromspeichern<sup>18</sup> sind dabei nur erste Schritte. Stark diskutiert wird die derzeitige Definition von Stromspeichern als Stromerzeugungsanlage und Letztverbraucher, da damit alle Letztverbraucher-Abgaben (z.B. EEG-Umlage) geleistet werden müssen. Aus dem neuen EEG 2016 geht hervor, dass diese Definition weiterhin beibehalten, jedoch die Doppelbelastung bei der EEG-Umlage für alle Speicher beendet wird (Bundesrat 2016). Die Befreiung ist allerdings an die Bedingung geknüpft, dass für den gesamten Strom, der dem Speicher entnommen wird, die EEG-Umlage gezahlt wird.

In den vergangenen Jahren wurden zudem der Normsetzungsrahmen für Heimspeicher entwickelt und Standards für Sicherheit, Qualität und den Netzanschluss festlegt. Davon profitieren deutsche Unternehmen, die gerade dabei sind, sich auf dem Heimatmarkt zu etablieren. Ein gut funktionierender Heimatmarkt wurde von den befragten Experten wiederum als Grundvoraussetzung für den Export

<sup>16</sup> Das japanische Wirtschaftsministerium hat hierfür ein Budget von über 98 Millionen US-Dollar vorgesehen. Das Programm übernimmt zwei Drittel der Kosten eines LIB-Speichersystems (ESC 2015).

<sup>17</sup> Speicher müssen nach dem 31.12.2008 neu errichtet worden sein. Die Inbetriebnahme muss zwischen dem 4.8.2011 und 3.8.2026 liegen.

<sup>18</sup> Die Bundesregierung hat das Förderprogramm für Solarstromspeicher im März 2016 erneuert und stellt damit weitere 30 Millionen Euro zur Verfügung. Es werden bis zu 25 Prozent der Kosten übernommen (BSW Solar 2016).

von Speichertechnologien angesehen. Außerdem kann die Erschließung von neuen Märkten durch den Export von Normierungspolitik erleichtert werden. Ob eine deutsche Speicherzellenproduktion international wettbewerbsfähig ist, wird sich laut den befragten Experten allerdings erst in Zukunft herausstellen.

#### 5.2.3.4 SWOT-Übersicht

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Systemkompetenz der Anbieter (ganzheitliche, auf den Kunden zugeschnittene Lösungen sowie einfache Handhabung (Plug&amp;Play))</li> <li>▶ Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland bildet gesamte Wertschöpfungskette zur Zellherstellung ab</li> <li>▶ Technische Kompetenz und Infrastruktur für Zellherstellung vorhanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Preise für Batteriesysteme höher als bei asiatischer Konkurrenz</li> <li>▶ Keine Zellfertigung in Deutschland (Anzahl deutscher Anbieter auf dem internationalen Markt gering)</li> <li>▶ Später Einstieg in LIB-Speicher-Entwicklung</li> <li>▶ Später Einstieg in LIB-Speicher- und Zellforschung</li> </ul>
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Global wachsender Markt</li> <li>▶ Fallende Preise machen Investitionen attraktiv</li> <li>▶ Förderung der Elektromobilität als Treiber für LIB in stationärer Anwendung</li> <li>▶ Ausbau der erneuerbaren Energien und Klimaziele schaffen Notwendigkeit und Anreize für Speicherausbau</li> <li>▶ Forschung und Entwicklung hat stark aufgeholt</li> <li>▶ Elektrifizierung von Bevölkerungsteilen in Entwicklungs- und Schwellenländern (speziell Teile Afrikas, Südostasiens, Inselstaaten)</li> <li>▶ Transfer von Normen und Standards in andere Länder vereinfacht Marktzugang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Unsicherheit zur Preisentwicklung und Fortschritt von LIB</li> <li>▶ Konkurrenztechnologien könnten technisch und preislich aufholen</li> <li>▶ Mangelnde regulatorische/finanzielle Anreize und unsichere politische Rahmenbedingungen als Hindernis für Investoren</li> <li>▶ Unklar, ob eine deutsche Zellproduktion international wettbewerbsfähig sein kann</li> <li>▶ Gefahr einer internationalen Blase aufgrund von Überkapazitäten</li> </ul>

#### 5.2.4 Industrielle Abwärme

In vielen industriellen Prozessen entsteht während der Energieumwandlung Abwärme. Das Potenzial zur Nutzung der Abwärme als Energieträger ist weltweit hoch, es wird jedoch nur in wenigen Fällen ausgeschöpft. Der Anteil der Abwärme, der für andere Zwecke nutzbar gemacht werden kann, ist von der Industriebranche und der eingesetzten Abwärm 技术 abhängig.<sup>19</sup> Je nach Quelle kann die Abwärme zur Strom-, Wärme- oder Kältebereitstellung genutzt werden (Grote et al. 2015). Die folgende genauere Betrachtung betrachtet vor allem die Marktchancen der ORC-Technologie. ORC-Prozesse bauen auf dem Betrieb einer Dampfturbine auf. Jedoch wird bei ORC-Prozessen eine organische Flüssigkeit verwendet, die einen anderen Siedepunkt hat als Wasser, welches sonst bei einer klassischen

<sup>19</sup> Siehe für eine Übersicht bestehender Studien zu den unterschiedlichen Potenzialen z.B. Grote et al. (2015).

Dampfturbine verwendet wird. Dadurch kann Abwärme auch in einem niedrigeren oder sehr hohen Temperaturbereich zur Stromerzeugung genutzt werden. Der Wirkungsgrad liegt bei 10 bis 20 Prozent. (Hirzel et al. 2013). Neben der Abwärmenutzung werden ORC-Systeme vor allem in der Geothermie und in der Stromerzeugung aus Biomasse eingesetzt.

#### 5.2.4.1 Aktuelle und zukünftige Marktsituation

Die im Rahmen des Projekts befragten Experten stufen das wirtschaftliche Potenzial des nationalen und globalen Marktes für Technologien zur Nutzung industrieller Abwärme insgesamt als hoch ein. Insbesondere energieintensive Industrien, wie zum Beispiel die Zement-, Stahl-, Aluminium- oder Glasherstellung, weisen ein großes Potenzial auf. Auch kleinere Betriebe können mit ORC-Anlagen Abwärme erfolgreich nutzen. Besonders in der Zementherstellung in Ost- und Südostasien, Lateinamerika, der Türkei und Ägypten bestehen für die Strombereitstellung durch Abwärme erhebliche Marktchancen (IFC 2014). Gleichermaßen sind die USA ein attraktiver Markt für Investitionen in Abwärm 技术. In Europa weisen neben Deutschland besonders Großbritannien, Italien, Polen, Frankreich und Spanien große Abwärmepotenziale auf. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage ist jedoch das Abwärmepotenzial (national und international) häufig nur anhand des Energieverbrauchs verschiedener Industrien theoretisch abzuschätzen. Hier besteht nach Meinung der befragten Experten ein großer Bedarf, Zielmärkte besser zu erkennen.

Der ORC-Prozess an sich ist keine neue Erfindung.<sup>20</sup> Jedoch ist dessen Anwendung auf die Strombereitstellung durch kleine, niedrigtemperierte Abwärmequellen noch vergleichsweise jung. Momentan werden zur Verstromung der Prozesswärme weltweit vornehmlich nicht ORC-Systeme eingesetzt, sondern – besonders in der energieintensiven Industrie – klassische Dampfturbinen (SRC). Dies trifft insbesondere auf die chinesische Zementindustrie zu, in der 2012 über 700 Anlagen installiert waren (Harder 2013). Auf dem europäischen und amerikanischen Markt wird seit Mitte der 2000er-Jahre in der Abwärmenutzung zunehmend auf die ORC-Technologie gesetzt (Quoilin et al. 2013). Zu den weltweiten Marktführern in der Abwärmenutzung durch ORC-Systeme zählen ORMAT (USA) und Turboden (Italien). Deutsche Anbieter sind u.a. Bosch KWK Systeme, DeVeTec, Getec und Orcan Energy.

#### 5.2.4.2 Aktuelle Rolle der deutschen Anbieter und Zukunftspotenziale

Der Einsatz von ORC-Systemen in der industriellen Abwärmenutzung ist in den vergangenen Jahren weltweit angestiegen. Deutsche Anbieter konzentrieren sich dabei nach Aussage der befragten Experten vornehmlich auf den Heimatmarkt und haben sich auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Industriezweige spezialisiert. Für niedrigere Temperaturbereiche und kleinformatige ORC-Systeme, die besonders im Bereich der Abwärmenutzung von Biogasanlagen eingesetzt werden, ist Orcan Energy in Deutschland Marktführer (Markt und Mittelstand 2016). Das Unternehmen bietet kleinformatige, modulare ORC-Systeme mit einfacher Installation (Plug & Play) und geringe Wartungskosten. DeVeTec ist hingegen bei hohen Temperaturen unter den führenden deutschen Anbietern und auch auf dem chinesischen Markt aktiv.

<sup>20</sup> Verglichen mit der Verstromung industrieller Abwärme mittels ORC-Technologie, wird im Bereich der Geothermie und der Biomasse-Heizkraftwerke ORC schon länger eingesetzt.

### Kasten 7: Der ORC-Anbieter DeVeTec in China

Das mittelständische Unternehmen DeVeTec wurde im Jahr 2000 gegründet und hat sich 2007 auf die Nutzung industrieller Abwärme durch ORC-Systeme spezialisiert. Im Rahmen des Pilotprojekts „Sino-German Metal Eco City“ (MEC) in Jieyang hat DeVeTec im Jahr 2015 die Möglichkeit genutzt, China als potenziellen neuen Absatzmarkt zu erschließen. In einem Joint-Venture mit der in Jieyang ansässigen Firma Degao wurde das gemeinsame Unternehmen Guangdong DeWeiGao High Technology Energy Co. Ltd. zur Produktion und Vermarktung der Abwärmeanlagen gegründet. Angesichts der Klima- und Effizienzziele der chinesischen Regierung bietet besonders die energieintensive Industrie in China große Marktchancen. Die MEC ist ein Großprojekt, das von der chinesischen und deutschen Regierung politisch begleitet wird. Förderprogramme, individuelle Subventionen seitens der chinesischen Regierung und ein Team deutscher und chinesischer Berater aus der Industrie sollen deutschen Mittelständlern im Bereich umweltschonender Technologie den Markteintritt in China erleichtern.

Quelle: MEC (o.J., o.J. b)

Die Stärken deutscher Anbieter liegen nach Auskunft der befragten Experten vornehmlich im technischen Know-how und in der Systemkompetenz. Kunden erhalten in der Regel nicht nur die Technologie zur Nutzung der Abwärme, sondern auch ein Servicepaket, das u.a. die Beratung und Finanzierung, die Planung und Konzeption der Anlage sowie deren Installation, Inbetriebnahme und Wartung umfassen kann.

Die Gründe für den starken Fokus deutscher Anbieter auf den Heimatmarkt sind vielfältig. Zum einen ist der Abwärmemarkt weltweit noch relativ klein. Zum anderen hängt dies mit begrenzten finanziellen und personellen Kapazitäten der Unternehmen zusammen, da vornehmlich KMU im Feld der industriellen Abwärme tätig sind. Im Kontext der Finanzierung einer Anlage ist auch die lange Amortisationszeit eine Schwierigkeit, da sich reine Effizienzmaßnahmen häufig erst nach 5 bis 10 Jahren amortisieren, die Erwartungen in der Industrie jedoch bei 1 bis 2 Jahren liegen (Grote et al. 2015). Weitere Hindernisse stellen etwa unterschiedliche Standards und Normen im Zielland dar (z.B. im Bereich der Grid Codes oder Einspeiserichtlinien) sowie zu niedrige Energiepreise im In- und Ausland. Es ist außerdem hervorzuheben, dass ORC-Anlagen nicht in großen Serien produziert werden und so Skaleneffekte ausbleiben.

#### 5.2.4.3 Politische Rahmenbedingungen

Angesichts des Effizienzpotenzials industrieller Abwärme wurden weltweit bereits erste förderliche regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen. In den USA haben neun Bundesstaaten mit bindenden Zielen für erneuerbare Energien und sechs Bundesstaaten mit nicht-bindenden Zielen Abwärme als regenerative Energie anerkannt. Dies wird als wichtiger Treiber für neue Investitionen in die Abwärmenutzung erachtet (Elson et al. 2015). Weitere finanzielle Anreize in Form von Steuererleichterungen und einer Eigenverbrauchsförderung wurden ebenfalls in einzelnen Staaten eingeführt. In China waren politische Rahmenbedingungen zur Nutzung von Abwärme in der Zementindustrie zentral. Neben Zielmarken zum Ausbau der Abwärm 技术 im 12. Fünf-Jahresplan und dem Energiespargesetz mit entsprechenden Effizienzvorgaben hat das Ministerium für Industrie und Informationstechnologie 2010 eine Verordnung erlassen, die neue Zementanlagen verpflichtet, Abwärme zur Stromerzeugung zu nutzen und entsprechende Anlagen zu installieren (IFC 2014). In Australien, Japan und Kanada bestehen Förderprogramme in Form von Investitionshilfen (Eisenhauer und Pasquiou 2012).

In Europa bestehen derzeit unterschiedliche Fördermaßnahmen, so hat Italien im Jahr 2005 erstmals ein System für den Nachweis von Energieeffizienzmaßnahmen (sog. Energieeinsparzertifikate oder weiße Zertifikate) eingeführt. Zu den anerkannten Maßnahmen, um weiße Zertifikate zu erhalten, zählt die Nutzung industrieller Abwärme (AHK 2015a). Laut EG-Effizienzrichtlinie müssen Energieer-

zeuger künftig Kosten-Nutzen-Analysen durchführen, um zu prüfen, ob sich – im Rahmen des Produktionsprozesses – industrielle Abwärme für neue Fernwärmennetze nutzen lässt.

In Deutschland wird die Nutzung industrieller Abwärme mit Einschränkungen durch das Gesetz zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gefördert. Zum Beispiel können ORC-Systeme zur Abwärmenutzung laut KWK-Gesetz gefördert werden, jedoch nur wenn der gewonnene Strom wieder zur Wärmeerzeugung genutzt wird. Seit Mai 2016 fördert das BMWi mit dem KfW-Programm 294<sup>21</sup> die Nutzung von Abwärme.

#### 5.2.4.4 SWOT-Übersicht

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> <li>► Technisches Know-how und Systemkompetenz der Anbieter</li> <li>► Ganzheitliche Konzepte, einfache Handhabung der Anlagen</li> <li>► Servicepaket (Beratung, Finanzierung, Planung, Montage, Inbetriebnahme, Wartung)</li> <li>► Innovationsstärke von KMUs (z.B. Orcan Energy, DeVeTec)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Deutsche Anbieter haben bisher wenig Referenzen auf dem internationalen Markt</li> <li>► Derzeit zu geringe Stückzahlen bei der Produktion von ORC-Anlagen, d.h. oft Einzelanfertigung und damit hohe Kosten</li> <li>► Bei KMU teils begrenzte finanzielle und personelle Kapazitäten erschweren Erschließung neuer Märkte</li> <li>► In Deutschland und Europa wurde vergleichsweise spät begonnen, Technologien zur Abwärmenutzung weiterzuentwickeln</li> </ul>
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>► Global wachsender Markt, speziell Europa, USA, Teile Asiens</li> <li>► Potenzial für industrielle Abwärmenutzung weltweit vorhanden</li> <li>► Erste regulatorische Anreize, speziell in den USA, China, Teilen Europas</li> <li>► Steigende Strom- und Ressourcenpreise</li> <li>► Internationale Klimaziele</li> <li>► Flexible Finanzierungsmodelle</li> <li>► hohes Potenzial für Skaleneffekte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Unsicherheit bei Marktentwicklung (junger Markt)</li> <li>► Ökonomische Rahmenbedingungen der Industrikunden: ROI zu niedrig, um zu investieren, wenn keine regulatorischen Anreize bestehen</li> <li>► Zu niedrige Energiepreise gefährden Profitabilität</li> <li>► Internationale Konkurrenz bei ORC (z.B. Italien, USA)</li> <li>► Unzureichende regulatorische Rahmenbedingungen</li> <li>► Unwissen bei Kunden zum eigenen Abwärmeleistungspotenzial und den Chancen</li> <li>► Unzureichende Datenlage, d.h. Abwärmeleistungspotenzial beruht oft auf Schätzungen</li> </ul>

<sup>21</sup> Für die innerbetriebliche Vermeidung und Nutzung von Abwärme wird ein Tilgungszuschuss in Höhe von bis zu 30 Prozent gewährt. Bei der außerbetrieblichen Nutzung von Abwärme beträgt der Zuschuss bis zu 40 Prozent. Zusätzlich wird ein Bonus für kleine und mittlere Unternehmen von 10 Prozent gewährt. Der maximale Kreditbetrag beträgt in der Regel 25 Millionen Euro, die Kreditlaufzeit maximal 20 Jahre (KfW 2016).

## 5.3 Fallbeispiele erfolgreicher deutscher Unternehmen als Anbieter für Klimaschutztechnologien

### 5.3.1 Building Energy Management Systems

Der Gebäudesektor spielt bei der Minderung klimaschädlicher Emissionen weltweit eine entscheidende Rolle: Auf ihn entfallen etwa 40 Prozent des Energieverbrauchs und mehr als ein Drittel der Treibhausgasemissionen. Je nach Art und Nutzungszweck eines Gebäudes lassen sich durch den Einsatz von „Building Energy Management System“ (BEMS) Energieeinsparungen zwischen 25 und 40 Prozent erzielen. Damit hat diese Technologie ein großes Klimaschutspotenzial. Das Volumen des globalen Markts für BEMS wird auf 2,16 Mrd. Euro geschätzt (Stand 2015). Das durchschnittliche jährliche Wachstum wird bis 2024 auf circa 16 Prozent veranschlagt (Martin 2015). Als Wachstumstreiber gelten vor allem das zunehmende Umweltbewusstsein der Bevölkerung sowie die Klimapolitik, deren Zielsetzungen sich in den regulatorischen Rahmenbedingungen widerspiegeln. Im internationalen Vergleich sind die deutschen BEMS-Anbieter gut positioniert. Ein Grund dafür sind die Herkunftsbranchen, aus denen sich die meisten BEMS-Unternehmen entwickelt haben. Im Gebäudemanagement und in der Industrieautomatisierung haben deutsche Anbieter traditionell eine starke Stellung.

#### Best-Practice Beispiel: Bosch Energy and Building Solutions GmbH

„Credo von Bosch ist es, auf ökologische Fragen technologische Antworten zu geben“, so beschreibt der Technologiekonzern mit weltweit 375.000 Mitarbeitern seine Haltung zum nachhaltigen Handeln. Mit ihren Produkten und Dienstleistungen will die Bosch-Gruppe ihre Kunden bei der Verbesserung der Energieeffizienz unterstützen. Einen Beitrag dazu leistet die „Bosch Energy and Building Solutions GmbH“.

Das Unternehmen ist in den Geschäftsfeldern „Energy Services“, „Climate Technology“ und „Energy Platform“ tätig. Der Bereich „Energy Services“ bietet Unternehmenskunden Energiesolutions – von der ersten Analyse der Energiesituation bis zur Energielieferung. Dabei nutzt „Bosch Energy and Building Solutions“ die Erfahrungen der Bosch-Gruppe als produzierendes Unternehmen. Das Know-how in Sachen Energieeffizienz in der Produktion wird an externe Kunden weitergegeben und erzeugt dort ökologischen und ökonomischen Mehrwert. Zusätzlich zur energetischen Verbesserung von Maschinen und Anlagen werden auch Energiesparpotenziale, die in Nebenprozessen wie Kälte, Druckluft oder Wärme stecken, betrachtet.

Für die Transparenz über alle Energieflüsse wurde ein Monitoring- und Analysetool entwickelt. Es soll dazu beitragen, die Energieeffizienz in kommerziellen Gebäuden zu erhöhen. Über eine webbasierte Oberfläche ermöglicht es den Zugriff auf die Energiedaten. So verschafft „Energy Platform“ Unternehmen einen Überblick über den Energieverbrauch einzelner Produktionsprozesse und die damit verbundenen Kosten.

Im Bereich Lüftungstechnik (Climate Technology) übernimmt smarte Mess- und Regelungstechnik die Steuerung der Klimatisierung und Lüftung im Gebäude. Ein Regelalgorithmus sorgt für die Verteilung von Frischluft und die gleichmäßige Temperierung im gesamten Raum. So lassen sich in Bestands- und Neubauten Energieeinsparungen von 30 bis 70 Prozent erzielen.

Bei der Bearbeitung von Auslandsmärkten kann die „Bosch Energy and Building Solutions“ von der internationalen Verflechtung der Bosch-Gruppe profitieren. Derzeit ist das Unternehmen vor allem in der Europäischen Union aktiv, aber auch in Australien und Indien. Grundsätzlich zeigt sich, dass die regulatorischen Rahmenbedingungen die Geschäftsaussichten beeinflussen. Zu den relevanten Vorschriften in der Europäischen Union gehören die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen sowie die Energieeffizienz-Richtlinie (engl. abgekürzt EED).

Durch Referenzprojekte in der deutschen Industrie, die zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Kosten sowie der Treibhausgasemissionen führten, ist „Bosch Energy and Building Solutions“ gut positioniert, diese Expertise als Rückenwind für die internationale Expansion zu nutzen.

### 5.3.2 Organische Photovoltaik

Während in konventionellen Solarzellen Silizium als Rohstoff für Halbleiter verwendet wird, kommen in der organischen Photovoltaik (OPV) Kohlenwasserstoffverbindungen zum Einsatz. Sie weisen aufgrund ihrer speziellen Elektronenstruktur die Eigenschaften amorpher Halbleiter auf. Biegsam, sehr dünn, semitransparent und bruchfest können organische Solarzellen auch dort Strom erzeugen, wo die Installation von Paneelen nicht möglich ist. Der Wirkungsgrad organischer Solarzellen ist zwar geringer, aber das Produktionsverfahren ist weniger aufwendig. Das Marktvolumen der organischen Photovoltaik wird in den nächsten Jahren voraussichtlich stark zulegen: Beispielsweise wird für das Segment der gedruckten organischen Photovoltaik ein Anstieg des Marktvolumens von 25 Mio. US-Dollar (2015) auf über 0,5 Mrd. US-Dollar in 2022 prognostiziert (n-tech Research 2015).

Unternehmen aus Deutschland sind technologisch in der OPV gut positioniert. Das Fundament dafür legte die enge Verzahnung mit der Forschung. Häufig sind Anbieter organischer Solarzellen als Ausgründungen von Universitäten entstanden. Auch die im internationalen Vergleich starke öffentliche Förderung der Forschungsaktivitäten hat Know-how und Expertise im Bereich OPV vorangebracht. Die OPV ist vielseitig in der mobilen Anwendung und in der Sensorik sowie flexibel einsetzbar, etwa auf Fassaden oder integriert in Fenster. Diese Optionen der dezentralen Stromerzeugung werden auch in den rapide wachsenden Megacities Asiens gefragt sein.

#### Best-Practice Beispiel: Heliatek GmbH

Die Heliatek GmbH entstand 2006 als gemeinsame Ausgründung der TU Dresden (Institut für angewandte Photophysik) und der Universität Ulm. Ziel war es, neue Anwendungsmöglichkeiten für die organische Photovoltaik auf Basis kleiner Moleküle (Oligomere) zu erschließen und diese Technologie aus dem Labor in die Serienfertigung zu bringen. Heliatek hält grundlegende Patente für die Herstellung organischer Solarzellen mit dotierten Transportschichten. Derzeit beschäftigt das Unternehmen am Stammsitz in Dresden und Ulm fast 90 Mitarbeiter, wobei die Produktentwicklung vor allem in Baden-Württemberg stattfindet und die Produktion in Sachsen.

Auf dem Markt tritt Heliatek als Hersteller organischer Solarfolien für Gebäudeoberflächen auf. Diese Folien, Markennamen HeliaFilm®, sind weniger als ein Millimeter dünn, ultraleicht und flexibel. Sie lassen sich beispielsweise zwischen zwei Flachglasscheiben integrieren.

Für die Serienproduktion der hauchdünnen Solarfolien hat Heliatek in Kooperation mit Anlagenbauern, Technologielieferanten und Software-Spezialisten ein Fertigungsverfahren entwickelt, das „Rolle-zu-Rolle-Verfahren“. Die Produktion erfolgt energie- und materialeffizient im Vakuum bzw. unter inerter Atmosphäre. Die ultradünnen Schichten organischer Moleküle werden bei sehr niedrigen Temperaturen auf eine kostengünstige, flexible PET-Folie abgeschieden. Durch ihren hohen Plastikanteil sind die Solarfolien – ihre Lebensdauer liegt bei 25 Jahren – zu 90 Prozent recycelbar.

Für Heliatek beschränkt sich als Unternehmen nicht auf den deutschen Markt. Wie Aron Guttowski, Manager Business Development, erklärt, hat Heliatek in Deutschland, Italien, Belgien, China, den USA und Nordafrika Pilotprojekte gestartet. Damit habe das Unternehmen auf die starke Nachfrage aus diesen Ländern reagiert.

Heliatek agiert als reiner Business-to-Business-Anbieter, der mit einem Systemintegrator bei der Gebäudeinstallation kooperiert. Zu den strategischen Partnern von Heliatek zählt die AGC Glass Europe, die europäische Tochter von AGC, dem weltweit größten Hersteller von Flachglas.

Mit diesem kooperativen Geschäftsmodell will Heliatek die internationale Expansion vorantreiben. Allerdings räumt Guttowski ein, dass der weltweite Markt für organische Photovoltaik noch klein sei. „Wir hoffen aber, dass unser Produkt als Enabler wirkt und für einen Nachfrageschub sorgt. Als Absatzmärkte sieht Heliatek insbesondere solche Länder und Regionen, in denen Hochhäuser die Stadtlandschaften prägen, etwa die USA, die Golfstaaten und Asien.“

Als Erfolgsfaktoren im Auslandsgeschäft sieht der Business Development Manager von Heliatek die hohe Qualität des Produkts und dessen Eigenschaften („innovativ und flexibel einsetzbar“). Zugute kommt dem Unternehmen auch die Technologieführerschaft. Aktuell hält Heliatek mit einer Zelleffizienz von

### Best-Practice Beispiel: Heliatek GmbH

13,2 Prozent den Weltrekord für nicht transparente (opake) organische Solarzellen. „Der Entwicklungsvorsprung überzeugt Kunden. Und wir profitieren vom Ruf der deutschen Ingenieurskunst in der Welt“, so Guttowski. Eine weitere Eigenschaft hält der Business Development Manager für unabdingbar, um sich international zu positionieren, nämlich Flexibilität: „Sie müssen zügig auf globale Trends reagieren und ihre Exportaktivitäten schnell ausdehnen können.“

### 5.3.3 Brennstoffzellen

Durch ihren hohen Wirkungsgrad bergen Brennstoffzellen ein erhebliches Klimaschutspotenzial. Energieeinsparungen bis zu 40 Prozent bezogen auf konventionelle Heiztechnik sind möglich. Ein weiterer Vorzug von Brennstoffzellen ist ihre Fähigkeit, in Kombination mit Speichern fluktuierend einspeisende regenerative Energieträger (Wind, Sonne) in das Gesamtenergiesystem zu integrieren und so einen Beitrag zur Netzstabilität zu leisten. Hinzu kommt, dass durch die dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme die Verluste beim Transport von Energie minimiert werden. Durch ihre flexiblen Einsatzmöglichkeiten trägt die Brennstoffzellen-Technologie zur Dekarbonisierung nicht nur der Strom- und Wärmeerzeugung, sondern auch des Verkehrssektors bei. Damit ist sie eine Schlüsseltechnologie bei der Verringerung der Treibhausgasemissionen. Weltweit beziffert sich das Marktvolumen für Brennstoffzellen auf 1,98 Mrd. Euro (2014). Bis 2020 wird mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum um 20 Prozent gerechnet (Energy 2015), das vor allem zwei Faktoren antreiben: Effizientere Produktionsverfahren drücken die Herstellungskosten. Zugleich fördern ambitionierte Klimaschutzziele die Dekarbonisierung des Energiesektors.

### Best-Practice Beispiel: sunfire GmbH

Die sunfire GmbH hat ihren Sitz in Dresden und erwirtschaftete 2015 einen Umsatz von 6 Mio. Euro. Das Unternehmen hat die sogenannte reversible Elektrolyse entwickelt: Vereinfacht ausgedrückt, kann dieses Verfahren zwischen Elektrolyse-Modus und Brennstoffzellen-Modus hin- und herschalten: Im Elektrolyse-Modus wird aus Wasser mithilfe erneuerbaren Stroms Wasserstoff erzeugt, der als Stromspeicher dienen kann. Dieser Wasserstoff kann im Brennstoffzellen-Modus Elektrizität abgeben, zum Beispiel bei Stromknappheit im Netz.

Als Herzstück verschiedener sunfire-Anwendungen spielt die SOFC-Hochtemperatur-Brennstoffzelle (Solid Oxid Fuel Cells) auch bei der dezentralen Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Heizgeräten eine Schlüsselrolle. Mit dieser Anwendung will das Unternehmen in Kooperation mit dem Heiztechnik-Anbieter Vaillant seine Exportaktivitäten in Europa vorantreiben. Oxidkeramische Brennstoffzellen mit keramischem Festelektrolyt wandeln chemische Energie aus gasförmigen Brennstoffen in Elektrizität und Wärme um. Die SOFCs von sunfire können mit verschiedenen Kohlenwasserstoffen betrieben werden, beispielsweise Erdgas, Biogas, Flüssiggas, Methanol, Ethanol oder Diesel.

In Kooperation mit dem ebenfalls in Dresden ansässigen „Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme“ und der Vaillant Group hat sunfire das „Integrierte Stackmodul“ (ISM) entwickelt. Darin werden – bildlich gesprochen – SOFCs übereinander gestapelt; dieses Stackmodul bildet den Kern des Brennstoffzellen-Heizgeräts.

Für die Gründer von sunfire gehörte die Entwicklung des internationalen Geschäfts zum Business-Plan. Aktuell liegt der im Ausland erwirtschaftete Umsatzanteil zwischen 30 und 50 Prozent. Die ersten Stationen auf ausländischen Märkten waren Korea, Japan, die USA und Russland. Auch China betrachtet das sunfire-Management perspektivisch als interessanten Wachstumsmarkt.

Für Rückenwind bei der Expansion ins Ausland sorgten die Allianzen mit starken Partnern aus der Industrie: An den Finanzierungsrunden des Startups beteiligten sich u.a. „Bilfinger Venture Capital“ sowie die Energiekonzerne Total und EDF.

Ein Erfolgsfaktor für die Internationalisierung ist das Geschäftsmodell von sunfire: Das Unternehmen setzt nicht auf das Geschäft mit den Endkunden, sondern auf die Zusammenarbeit mit einem Systemintegrator als Business-to-Business-Partner. „So vermeiden Sie eine Wettbewerbssituation und brauchen

### Best-Practice Beispiel: sunfire GmbH

kein eigenes Service-Netzwerk aufbauen“, unterstreicht Björn Erik Mai, Leiter des Produktmanagements Energieerzeugung, die Vorteile dieses Ansatzes. Die Kooperation mit etablierten Großunternehmen wie Vaillant oder Boeing ist zusätzlich eine gute Referenz, die das Standing im Markt fördert.

In Branchenkreisen wird dem Integrierten Stackmodul von sunfire eine Rolle für den Durchbruch der Brennstoffzellen-Heizsysteme auf dem Markt der Ein- und Zweifamilienhäuser zugesprochen: „Der Schritt von einem System, bestehend aus zahlreichen Einzelkomponenten, hin zu einer hochgradig integrierten Brennstoffzellen-Energiezentrale mit einer auf die Bedürfnisse kleiner Immobilien angepassten Leistung ist wichtig, um das System auch außerhalb von Feldtests platzieren zu können.“

### 5.3.4 Power-to-Gas

Die Speicherung von Energie aus erneuerbaren, fluktuierend einspeisenden Energieträgern würde erheblich zur CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen – und darüber hinaus zur Netzstabilität durch den Ausgleich zwischen Stromerzeugung und Stromnachfrage bei Lastspitzen oder in Schwachlastzeiten. Vor diesem Hintergrund ist es trotz der unter den Rahmenbedingungen des deutschen Strom- und Gasmarktes aktuell nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit von P2G-Anwendungen sinnvoll, weiterhin Forschung und Entwicklung dieser Technologie voranzutreiben. Deutsche Anbieter sind hier gut positioniert. Die Herausforderung besteht mittel- und langfristig darin, die Forschungs- und Demonstrationsprojekte in eine wirtschaftlich nutzbare Technologie zu überführen. Das Exportpotenzial von P2G-Anlagen ist grundsätzlich in Ländern bzw. Regionen gegeben, die einen relativ hohen Anteil von Strom aus regenerativen Quellen aufweisen bzw. diesen Anteil künftig ausbauen wollen. Unter diesem Aspekt ist vor allem der europäische Markt interessant. Aber auch China kommt perspektivisch als Zielmarkt in Frage, denn das Land steht vor der Herausforderung, seinen CO<sub>2</sub>-Ausstoß trotz zunehmenden Energieverbrauchs zu verringern. Auch für Schwellen- und Entwicklungsländer mit derzeit noch unzureichender Energieinfrastruktur sind P2G-Anwendungen eine Option: Diese Technologie kann nämlich sowohl die Stromversorgung als auch die Wärmebereitstellung abdecken. Allerdings stehen deutsche Anbieter auf dem Weltmarkt in einem scharfen Wettbewerb zu Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Japan, Südkorea und den USA (BMWi 2017). Gerade in diesem Wettbewerb wird es immer wichtiger Systemlösungen anzubieten. Aktuell bewegt sich das globale Marktvolumen für Power-to-Gas-Anwendungen (P2G; PtG) noch auf niedrigem Niveau. Grundsätzlich hat diese Technologie jedoch aufgrund des erheblichen Klimaschutzzpotenzials eine hohe Relevanz für die Dekarbonisierung des Energiesystems.

### Best-Practice Beispiel: ETOGAS GmbH

Die ETOGAS GmbH entwickelt, baut und verkauft schlüsselfertige Power-to-Gas-Anlagen für die Umwandlung von Strom aus erneuerbaren Quellen in Wasserstoff und Methan (Synthetic Natural Gas, abgekürzt SNG). Das Stuttgarter Unternehmen mit derzeit rund 20 Beschäftigten zählt sich zu den Pionieren dieser Technologie und sieht sich als führend in der Entwicklung im industriellen Maßstab: „Wir waren die Ersten, die Power-to-Gas-Anlagen industrialisiert und kommerzialisiert haben“, erklärt Vertriebsleiter Stephan Rieke.

Die Power-to-SNG-Komplettanlagen und die Elektrolyseure (Power-to-Hydrogen) spielen eine Schlüsselrolle für die Integration volatiler erneuerbarer Energien in das Gesamtenergiesystem. Durch die zeitlich flexible elektrische Lastaufnahme dient Power-to-Gas-Technologie als Speicher und trägt zur Netzstabilität bei. Hinzu kommt, dass Power-to-Gas die Nutzung regenerativer Energien – und damit die Dekarbonisierung – in den Sektoren Mobilität und Wärmeerzeugung vorantreibt. Vor diesem Hintergrund kann

### Best-Practice Beispiel: ETOGAS GmbH

die Anwendung von ETOGAS-Power-to-Gas-Anlagen in der Stromerzeugung, für Erdgas-/Wasserstofffahrzeuge, bei der Wärmeerzeugung sowie in der Green Chemistry<sup>22</sup> erfolgen. Außerhalb Deutschlands ist ETOGAS derzeit in Österreich und in der Schweiz aktiv. Künftig will sich das Unternehmen jedoch nicht auf die DACH-Region beschränken. Stephan Rieke ist überzeugt, dass Power-to-Gas weltweit ein hohes Marktwachstum hat: „Diese Technologie wird vor allem in Verbindung mit einem Speicher gefragt sein.“ Für die nächsten Schritte der ETOGAS GmbH auf internationales Parkett sieht der Vertriebsleiter die Länder Belgien, Niederlande, Dänemark und Schweden. „Grundsätzlich sehen wir überall dort einen Markt, wo unser Business Case funktioniert. Voraussetzung dafür ist, dass sowohl Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar als auch eine Bereitschaft da ist, einen Mehrpreis für Gas aus erneuerbaren Energien zu bezahlen.“ Deshalb sieht Stephan Rieke Asien derzeit nicht als Absatzmarkt für ETOGAS-Anlagen: „Das ist kein Thema für uns. Dort wird wenig Strom aus Erneuerbaren produziert, sodass unser Geschäftsmodell nicht funktioniert.“

Als zentralen Erfolgsfaktor im nationalen und internationalen Geschäft betrachtet Stephan Rieke die Beratung, die auch die Entwicklung eines individualisierten Geschäftsmodells und das Thema Finanzierung beinhalten kann: Anhand einer Wirtschaftlichkeitsrechnung zeigt ETOGAS den Kunden verschiedene Wachstumsfade auf. Die Differenzierungsstrategie betrachtet der Vertriebsleiter als Plus im Wettbewerb: „Es ist wichtig, dass Sie die technische Lösung auf die jeweilige Situation zuschneiden.“ Neben der Garantie von Qualität fördern Serviceangebote, etwa die Anlagenwartung, die Akquisition und Bindung von Kunden.

### 5.3.5 Membransysteme

Membransysteme können effizienter als andere Filterverfahren die klimaschädlichen Emissionen von Kraftwerken und Industrieanlagen erheblich reduzieren und damit einen großen Beitrag zur Minderung von Treibhausgasemissionen leisten. Membransysteme gelten zudem als wichtige Schlüsseltechnologie für weitere Markterschließungen, beispielsweise als Basis für neuwertige Brennstoffzellen und Batterien, in der Anwendung als Elektrolyt und zur Produktion synthetischer Kraftstoffe für chemische Industrien. Als End-of-Pipe-Technologie lassen sich Membransysteme in bestehende Prozesse integrieren. Dies eröffnet Exportchancen in Staaten wie China, die einen großen Anteil an energieintensiver Industrie aufweisen und aufgrund des Klimaschutzes ihre regulatorischen Rahmenbedingungen verschärfen. Durch die Komplexität und die schwierige Imitierbarkeit der Technologie ergibt sich eine starke Stellung deutscher Anbieter im internationalen Wettbewerb; daraus resultiert erhebliches Exportpotenzial. Das globale Marktvolumen für Membransysteme zur Gasfilterung beläuft sich auf rund 1,12 Mrd. US-Dollar (2014). Mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 11 Prozent wird es sich im Zeitraum 2015 bis 2020 dynamischer entwickeln als die anderen Segmente des Marktes für Membran-systeme (bccResearch, 2016).

### Best-Practice Beispiel: Borsig Membrane Technology GmbH

Die Firmengeschichte zeigt die enge Verknüpfung zwischen Produktentwicklung, regulatorischen Rahmenbedingungen und Markterfolg: Die Novellierung der Emissionsschutz-Gesetzgebung in Deutschland schraubte die Anforderungen an Emissionsschutz-Anlagen für flüchtige organische Verbindungen in den 1980er-Jahren auf ein Niveau, das mit herkömmlichen Verfahren unerreichbar war. Daraufhin intensivierte „Borsig Membrane Technology“ die Forschung und Entwicklung, insbesondere bei der Anwendung des neuen Membranverfahrens „Gaspermeation“ für die Rückgewinnung von Benzindämpfen in Tanklagern und Raffinerien. Auf dieser Basis wurden, begleitet von einer Verschärfung der einschlägigen Gesetzesvorschriften im Ausland, neue Membranen und Prozesse für den Emissionsschutz entwickelt,

<sup>22</sup> Die Bezeichnung "Grüne Chemie" beschreibt eine im Zeichen von Umweltschutz und Energieeffizienz stehende chemische Produktion, welche auch Gefahren für die Umwelt bspw. durch spezifische Umweltgifte ausschließt.

### Best-Practice Beispiel: Borsig Membrane Technology GmbH

die sich international als Stand der Technik etabliert haben.

Vor dem Einstieg in die Internationalisierung lag der Schwerpunkt des Unternehmens für knapp ein Jahrzehnt in Deutschland. Dann folgten die ersten Exporte ins europäische Ausland, zuerst nach Frankreich, Spanien und Italien. Im Zuge der Osterweiterung der Europäischen Union (EU) kamen die mittel- und osteuropäischen Staaten als Absatzmärkte hinzu. Schließlich wurde BMT auch in Asien aktiv, vor allem in China und den Golfstaaten. Derzeit erwirtschaftet das Unternehmen etwa 90 Prozent seines Umsatzes im Ausland; die Hälfte der Exporterlöse wird außerhalb der EU verdient.

Den bisherigen geografischen Schwerpunkten will BMT treu bleiben: Asien und die Golfstaaten betrachtet Dr. Björn Hoting weiterhin als Wachstumsmärkte für die Membrantechnologie. Auch für Europa rechnet er sich nach wie vor gute Absatzchancen aus: „Europa ist wieder ein Markt für uns, weil die hier installierten Anlagen mittlerweile über 25 Jahre alt sind und erneuert werden müssen.“ Als Rückenwind für die globale Expansion sieht Hoting die mit der Klimapolitik einhergehende Umweltgesetzgebung: „Wir folgen immer der Legislative und können dort neue Anlagen verkaufen, wo schärfere Emissions-schutz-Vorgaben von staatlicher Seite eingeführt werden.“

Allerdings profitieren von den regulatorischen Rahmenbedingungen auch die Wettbewerber. Um sich hier international durchzusetzen, setzt BMT auf Innovationen und Qualität: „Andere Technologien wie Aktivkohle-Anlagen sind preiswerter, aber nicht so effektiv wie unsere Membrananlagen. In Ländern mit starken Emissionskontrollen sind wir dann im Vorteil“, unterstreicht Hoting. Bei Ausschreibungen erweisen sich die Referenzen als hilfreich: „Es ist natürlich ein Vorteil, dass wir schon über 300 Anlagen in Europa gebaut haben.“ Und das positive Image der deutschen Ingenieurskunst sei ebenfalls von Bedeutung. Neben der State-of-the-Art-Technologie spielen auch die Geschäftsmodelle für den Erfolg im internationalen Geschäft eine Rolle, wie Hoting betont. BMT macht gute Erfahrungen mit Business-to-Business-Partnern und kooperiert mit Anbietern spezieller Produktionsverfahren, etwa Polypropylen-Herstellern, die die Membrananlagen bei der Lizenzvergabe gleich mitverkaufen.

## 5.4 Handlungsempfehlungen

Um erfolgreich zu exportieren und ausländische Märkte zu erschließen, sind Unternehmen im Bereich neuer Klimaschutzgüter auf förderliche Rahmenbedingungen angewiesen. Die Politik kann dabei eine aktive Rolle einnehmen und bestehende Barrieren im In- und Ausland abbauen. Davon können nicht nur die betroffenen Unternehmen, sondern auch Wachstum und Beschäftigung in Deutschland profitieren (Kapitel 4.3). Im Folgenden werden politische Handlungsempfehlungen formuliert. Grundlage der Handlungsempfehlungen sind die im Rahmen der Studie durchgeführten Experteninterviews zu den Exportmärkten. Dabei knüpfen die Handlungsempfehlungen an die Ergebnisse der SWOT-Analyse an.

### Förderung von Grundlagenforschung

Innovative Klimaschutztechnologien können aus der Grundlagenforschung hervorgehen und profitieren auch in späteren Entwicklungsstadien von neuen Ideen und kreativen Köpfen aus der Wissenschaft. Durch die staatliche Förderung von Grundlagenforschung können Innovationen unterstützt werden. Ein Beleg für die Wirksamkeit von Forschungsförderung ist die Vorreiterstellung deutscher Unternehmen im Recycling von PV-Modulen. Nach Auskunft der befragten Experten profitieren die deutschen Unternehmen hier entscheidend vom starken Forschungsstandort Deutschland. Ein weiteres Erfolgsbeispiel ist die Herstellung von organischen PV-Zellen in Deutschland, die nach Auskunft der befragten Experten stark von der öffentlich geförderten Forschung in Deutschland profitiert.

### Förderung von Kooperationen zwischen Wissenschaft und Industrie

Ein enger Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie kann maßgeblich zur technologischen Weiterentwicklung und zur Marktentwicklung einer Technologie beitragen. Besonders großes Potenzial besteht zum Beispiel bei LIB-Technologien. So erachteten die befragten Experten aus der LIB-Industrie

eine engere Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie insbesondere mit Blick auf eine potenzielle Zellproduktion in Deutschland als sehr hilfreich. Eine Möglichkeit, den Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie zu unterstützen, ist die Förderung von gemeinsamen Forschungsclustern und Forschungsprojekten. Ein Erfolgsbeispiel ist die Herstellung von Brennstoffzellen durch ein befragtes Unternehmen in Deutschland, das eng mit einem Fraunhofer Institut kooperiert. Außerdem können wissenschaftliche Innovationen durch Ausgründungen aus universitären Forschung den Weg in die Wirtschaft finden. Ein Beispiel ist die Herstellung von organischen PV-Zellen in Deutschland, die nach Auskunft der befragten Experten entscheidend durch Start-ups vorangetrieben wurde. Gründungen können zum Beispiel mit staatlich subventionierten Krediten, wie dem KfW-Gründerkredit, gefördert werden. Auch im Rahmen von durch die Nationale Klimaschutzinitiative geförderten Projekten kann eine Anschubförderung gewährt werden.

### **Förderung der Markteinführung und der Verbreitung von technologischen Innovationen**

Daran anknüpfend kann staatliche Förderung die Markteinführung und frühzeitige Verbreitung von neuen Technologien unterstützen, beispielsweise über Demonstrationsvorhaben. Ein in dieser Studie untersuchtes Paradebeispiel sind Referenzprojekte mit Building Energy Management Systemen in Deutschland, von denen die beteiligten Unternehmen nach Auskunft der befragten Experten im internationalen Wettbewerb um Kunden profitieren.

Darüber hinaus kann mit steigendem Umsatz, z.B. durch Aufträge im Rahmen der öffentlichen Beschaffung, durch die Ausnutzung von Skaleneffekten und weiteren Kostensenkungspotenzialen die Wirtschaftlichkeit einzelner Technologien verbessert werden. Auf diese Weise können Unternehmen bzw. gesamte Branchen sich mit staatlicher Unterstützung als „first-mover“ Marktpositionen sichern und ausbauen, die langfristig Wettbewerbsvorteile bedeuten können.

Mit Blick auf die Realisierung von Skaleneffekten und first-mover Vorteilen bieten nach Meinung der befragten Experten die in der Praxis noch in relativ geringem Umfang eingesetzten Technologien PV-Recycling und die Nutzung industrieller Abwärme besonderes Potenzial. Besonders vielversprechende Perspektiven bietet das Recycling von Dünnschichtmodulen, bei dem deutsche Unternehmen laut den befragten Experten weltweit zu den technologischen Spitzenreitern zählen.

### **Gezielte Förderung von Technologien für den Export**

Staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung in Unternehmen, zum Beispiel im Rahmen von Referenzprojekten und Demonstrationsvorhaben, sollte nach Meinung der befragten Experten gezielt auf die Technologien ausgerichtet sein, die einer verstärkten Unterstützung bei der Erschließung internationaler Märkte bedürfen. Besondere Unterstützung benötigen beispielsweise diejenigen Technologien, deren Entwicklung im Ausland intensiv staatlich gefördert wird. Dazu gehört zum Beispiel die Ladeinfrastruktur für Elektro-Pkw. Eine gezieltere Förderung geht nach Ansicht der Experten dabei einher mit einer verbesserten Zielgruppenerfassung der Exportförderung in Deutschland entlang der Wertschöpfungskette (z.B. durch Experteninterviews mit Branchenverbänden), um auf Veränderungen im Markt reagieren zu können.

### **Unterstützung internationaler Unternehmenskooperationen**

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), deren Exportaktivitäten durch knappe Ressourcen erschwert werden, können durch Kooperationen neue Exportmärkte erschließen. Bereits die Zusammenarbeit mit einem Partner vor Ort, der die Kundenbetreuung übernimmt, wurde von den befragten Unternehmen als sehr förderlich für die eigenen Exportaktivitäten bewertet. Darüber hinaus können Kooperationen zum Beispiel die Form von gemeinsamen Investitionsvorhaben annehmen. Auch die Partnerschaft mit einem strategischen Investor im Ausland kann die Erschließung eines Exportmarkts erleichtern. Darüber hinaus können Unternehmenskooperationen neue Geschäftsmodelle ermöglichen. In dieser Studie untersuchte Erfolgsbeispiele sind die enge Zusammenarbeit eines Her-

stellers von Brennstoffzellen mit einem Unternehmen, das auf Systemintegration spezialisiert ist sowie eine Business-to-Business Partnerschaft zwischen einem Hersteller von organischen Solarzellen und einem Systemintegrator. Solche Kooperationen ermöglichen es spezialisierten Unternehmen nicht nur, sich auf das eigene Kerngeschäft zu fokussieren, sondern bieten zugleich auch die Perspektive, je nach Zielmarkt mit verschiedenen entsprechend spezialisierten Partnern zusammenzuarbeiten.

Besonders im PV-Recycling wurde von den befragten Experten mehrfach eine noch fehlende internationale Zusammenarbeit angesprochen. Besonderes Potenzial für Kooperationen ergibt sich hier unter anderem aus gesetzlichen Regelungen, wonach der jeweilige Hersteller zur Rücknahme von nicht mehr verwendeten PV-Modulen verpflichtet ist. Deutsche Unternehmen, die im PV-Recycling tätig sind, könnten auf der Basis solcher Regelungen stark von der Zusammenarbeit mit Herstellern von PV-Modulen im Ausland profitieren.

### **Verbesserung des regulatorischen Rahmens im Ausland**

Ein förderlicher und stabiler regulatorischer Rahmen ist ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Positionierung eines Unternehmens auf einem neuen Markt. Davon ist zum Beispiel die LIB-Industrie betroffen, wie ein Experte anmerkte: „Die regulatorischen Rahmenbedingungen sind zentral. Derzeit fehlt es jedoch in vielen Ländern daran. In vielen Teilen Asiens hindert etwa der regulatorische Rahmen im Zusammenspiel mit niedrigen Energiepreisen Unternehmen daran, die Märkte zu erschließen.“ Auch ein Vertreter der PV-Recyclingbranche betonte die besondere Bedeutung von internationalem Politiktransfer für die eigene Branche: „Die regulatorischen Rahmenbedingungen, zum Beispiel das WEEE, bestimmen derzeit die Wirtschaftlichkeit des PV-Recyclings. Dieses System gilt anderen Ländern, beispielsweise Japan, als Vorbild.“

Geltende EU-Richtlinien für die Energieeffizienz von Gebäuden sind ein Beispiel für die Wirksamkeit einer einheitlichen Regulierung. So profitieren deutsche Unternehmen, die Building Energy Management Systeme anbieten, nach Auskunft der befragten Experten unter anderem von der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Energieeffizienz-Richtlinie, die es ihnen ermöglichen, mit in Deutschland erprobten Technologien die Nachfrage in anderen Ländern der EU zu bedienen. Ein weiteres in dieser Studie untersuchtes Erfolgsbeispiel sind strenge Umweltauflagen für Zementwerke in den USA, die deutschen Unternehmen einen neuen Absatzmarkt eröffnet haben.

Klimaschutzregulierung kann durch unilateral intensivierte Klimaschutzanstrengungen vorangetrieben werden. Ein Politiktransfer von in Deutschland und in der EU bestehender Regulierung ins Ausland kann zudem über bilaterale Kooperationen erfolgen. Ein Beispiel hierfür sind die internationalen Energiepartnerschaften Deutschlands. Auch der Austausch auf internationalen Plattformen (z.B. „EU-China Environment Policy Dialogue“, „EU-India Initiative on Clean Development and Climate Change“) kann dazu beitragen, Politiktransfers anzustoßen. Durch Transfer von Regulierung wird nicht nur die Nachfrage nach Klimaschutztechnologien im Ausland gestärkt, sondern zugleich sichergestellt, dass auf dem einheimischen Markt erprobte Lösungen eine steigende Nachfrage im Ausland bedienen können.

Die Einbindung deutscher Unternehmen und Branchenverbände in die internationale Zusammenarbeit kann den direkten Austausch von wirtschaftlichen und politischen Entscheidungsträgern fördern und so dazu beitragen, die regulatorischen Rahmenbedingungen im Ausland zu verbessern. So gab ein Unternehmensvertreter aus der LIB-Industrie zu bedenken: „Nationale Förderprogramme können bei der Markterschließung nur bedingt helfen, wenn Marktzugangsbarrieren im Ausland, wie spezielle Genehmigungsverfahren und Auflagen, den Export erschweren“. Werden Unternehmen in die internationale Zusammenarbeit mit eingebunden, zum Beispiel im Rahmen der Exportinitiative Umwelttechnologie oder der internationalen Energiepartnerschaften, können diese Barrieren in einem offenen Dialog benannt und gemeinsam Lösungen entwickelt werden.

### Kasten 8: Vorschläge für Unternehmen

- **Wirtschaftlichkeit stets im Blick behalten**

Der Preis neuer Produkte und Verfahren ist für den Erfolg bzw. das Scheitern einer Diffusion ein wesentlicher Faktor: Die Nachfrage wird maßgeblich vom Preis beeinflusst. Innovationen, die im Vergleich zu ihren Vorläufer-Technologien zwar ein höheres Klimaschutzpotenzial aufweisen, aber wesentlich teurer sind, werden sich nur schwer auf den nationalen und internationalen Märkten durchsetzen. Eine schleppende Diffusion – oder gar ein Scheitern am Markt – hat für die Anbieter die Konsequenz, dass sich die Investitionen für Forschung und Entwicklung nur langsam oder – im worst case – überhaupt nicht amortisieren. Ein Misslingen der Diffusion bedeutet außerdem, dass Anbieter keine Skaleneffekte durch ein Hochfahren der Stückzahl erzielen. Vor diesem Hintergrund muss bereits in einer frühen Phase des Innovationsprozesses das Gebot der Wirtschaftlichkeit beachtet werden.

- **Innovationen ganzheitlich managen**

Die technisch-ökonomischen Eigenheiten sind eine wichtige Bestimmungsgröße für die Diffusion einer Innovation. Besonders bei Klimaschutztechnologien, die einen hohen Neuigkeitsgrad aufweisen, zeigen sich potenzielle Abnehmer bisweilen zurückhaltend, da Skepsis bezüglich Betriebssicherheit und Störanfälligkeit besteht. Dies gilt beispielsweise für die Brennstoffzellen-Technologie, die eine breite dezentrale Anwendung und Diffusion auf Ebene der Privathaushalte erreichen soll. Vor allem die noch relativ schnelle Abnutzung der Stacks, der Kernstücke von Brennstoffzellen-Heizgeräten, sowie die Lebensdauer, die Effizienz und die Robustheit haben noch Verbesserungspotenzial.

- **Wertschöpfungsketten neu knüpfen**

Die meisten Unternehmen agieren in einem Umfeld, das von einer zunehmenden Wettbewerbsintensität geprägt wird, was sich vor allem in einem steigendem Zeit- und Kostendruck aber auch im hohen Innovationsdruck manifestiert. Unter diesen Rahmenbedingungen ist es erforderlich, den Einsatz der eigenen finanziellen und personellen Ressourcen permanent einer kritischen Überprüfung zu unterziehen. Es zeigt sich, dass es häufig für Unternehmen weder möglich noch sinnvoll ist, die gesamte Wertschöpfungskette – von der Entwicklung bis zum Endkunden – mit eigenen Ressourcen abzubilden. Dies gilt in hohem Maße auch für neue und innovative Klimaschutztechnologien mit einem signifikanten Exportpotenzial. Wertschöpfungspartnerschaften und -kooperationen, insbesondere in der Produktion und im Vertrieb, können dazu beitragen, unternehmerische Risiken zu begrenzen und Faktorkosten zu optimieren. Dies gilt vor allem bei der Expansion auf internationalen Märkten, da der Aufbau eines Vertriebs- und Servicenetzes mit erheblichen Kosten und Risiken verbunden ist.

- **Markterschließung fokussiert vorantreiben**

Die Erschließung von internationalen Märkten stellt Unternehmen vor die Herausforderung, ihre Ressourcen effizient und effektiv einzusetzen. Eine Marktbearbeitung nach dem Gießkannenprinzip ist nicht zielführend und wird fast zwangsläufig zu Fehlinvestitionen führen. Insbesondere kleine und mittlere Betriebe sind aufgrund ihrer eher dünnen Personal- und Kapitaldecke dazu gezwungen, ihre Ressourcen im Exportgeschäft zu konzentrieren. Vor diesem Hintergrund ist eine fundierte Auswahl möglicher Zielmärkte für Unternehmen von existentieller Bedeutung. Dies bedarf einer systematischen Marktanalyse, die eine Voraussetzung für einen erfolgreichen Marktzugang darstellt.

- **Akzeptanz neuer Technologien fördern**

Je komplexer eine Innovation, desto größer ist das Risiko, dass die Diffusion scheitert. Dieser Zusammenhang wird als die „doppelte Ambivalenz des Innovierens“ bezeichnet (Fichter und Clausen 2013, S. 35). Die Unsicherheit über die Vorteile eines neuen Produkts oder Verfahrens bzw. über dessen Kosten-Nutzen-Relation aufseiten potenzieller Anwender wird umso stärker ausfallen, je höher der Innovationsgrad ist. Dies stellt den Anbieter vor besondere Herausforderungen, am Markt die Akzeptanz für seine Innovation herzustellen bzw. zu fördern. Hier bietet vor allem der passende Mix von Kommunikationsmaßnahmen einen Ansatzpunkt, um durch zielgruppenspezifisch aufbereitete Informationen die Nachfrage nach innovativen Klimaschutztechnologien zu erhöhen. Infrage kommen Roadshows. Bewährt haben sich auch Pilotanlagen, in denen Interessenten und (potenzielle) Kunden die Funktionsweise eines neuen Produkts oder Verfahrens unter authentischen Bedingungen kennenlernen.

## 6 Fazit

Das Übereinkommen von Paris im Jahr 2015 hat die internationalen Klimaschutzziele konkretisiert. Demnach soll die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst auf 1,5°C begrenzt werden. Um die Emissionen von Treibhausgasen entsprechend zu reduzieren, sind weltweit umfangreiche Klimaschutzmaßnahmen erforderlich (IPCC 2013). Diese Maßnahmen und das damit einhergehende globale Marktwachstum für Klimaschutztechnologien eröffnen den in diesem Bereich tätigen deutschen exportierenden Unternehmen sowie der hiesigen Volkswirtschaft zahlreiche Chancen. Die vorliegende Studie hat diese Chancen umfassend beschrieben und anhand von Fallbeispielen einzelner Branchen und erfolgreicher Unternehmen vertieft untersucht.

Um das Wachstum der globalen Märkte für den Klimaschutz zu bestimmen, wurden zwei Szenarien zur Entwicklung des globalen Marktvolumens in den fünf Klimaschutzleitmärkten „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“, „Energieeffizienz“, „Rohstoff- und Materialeffizienz“, „Nachhaltige Mobilität“ und „Kreislaufwirtschaft“ erstellt. Das konservative BAU-Szenario basiert auf nationalen und internationalen Beschlüssen, die bereits tatsächlich oder die höchstwahrscheinlich demnächst umgesetzt werden. Dem steht ein Szenario gegenüber, in dem das 2°-Ziel erreicht wird. Die wesentlichen Treiber, um das 2°-Ziel einzuhalten, sind hierbei ein sinkender Energiebedarf sowie ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien. Das Gesamtvolumen der fünf Klimaschutzleitmärkte wächst bereits im BAU-Szenario im Jahrsdurchschnitt um 6,3 Prozent auf knapp 5,5 Billionen Euro. Absolut gesehen das höchste Wachstum verzeichnet dabei der Bereich Energieeffizienz mit mehr als einer Billion Euro. Unter der Annahme, dass das 2°-Ziel erreicht wird, liegt das globale Marktvolumen der Klimaschutzmärkte im Jahr 2030 insgesamt um 37 Prozent höher (bei 7,5 Billionen Euro) als im BAU-Szenario.

Ein Teil der wachsenden weltweiten Nachfrage wird in den jeweiligen Ländern und Regionen durch importierte Güter gedeckt werden und damit Ländern wie Deutschland zusätzliche Exportmöglichkeiten eröffnen. Mithilfe des DIW-Welthandelsmodells wurden mögliche Exporte Deutschlands von Klimaschutztechnologiegütern unter zwei Annahmen genauer bestimmt: (1) Die Importquoten nehmen im Zuge der Globalisierung weltweit zu, wodurch sich die deutschen Exportchancen verbessern. (2) Die deutschen Lieferanteile an den Importen einiger anderer Länder sinken, wenn diese Länder mit steigender Nachfrage nach Klimaschutzgütern eigene nationale Produktionskapazitäten aufbauen und verstärkt auch auf Drittmarkten als Konkurrenten auftreten. Wenn Deutschland bei einer weltweit forcierten Klimaschutzpolitik im 2°-Szenario eine internationale Vorreiterrolle einnimmt, kann durch die verbesserte Wettbewerbsfähigkeit der Verlust an Lieferanteilen gedämpft werden. Unter Einbeziehung solcher Entwicklungen führt die Steigerung der weltweiten Nachfrage im BAU-Szenario dazu, dass bis 2030 die deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern in realer Rechnung jährlich um 3,7 Prozent steigen. Bei einer ambitionierteren Klimaschutzpolitik (2°-Szenario) sind es hingegen 6,1 Prozent.

Die Güterstruktur der deutschen Exporte verschiebt sich zu Technologien, die der Nutzung erneuerbarer Energien sowie der Steigerung der Energieeffizienz dienen. Bei einer ambitionierteren Klimaschutzpolitik (Erreichung des 2°-Ziels) gilt dies noch stärker als unter BAU-Bedingungen. Die Exporte wachsen anteilig vor allem in die Niedriginkommensländer. Bei den EU- und BRICS-Staaten ist der Anstieg dagegen unterdurchschnittlich. Das erhebliche Wachstum der deutschen Exporte von Klimaschutztechnologiegütern darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die deutschen Lieferanteile durch die zunehmende Zahl und Stärke internationaler Wettbewerber höchstwahrscheinlich sinken werden. Im 2°-Szenario kann dieser Effekt durch eine verbesserte technologische Wettbewerbsfähigkeit gedämpft werden. Zu einem Rückgang des deutschen Welthandelsanteils bei Klimaschutzzüge tritt zusätzlich bei, dass die Nachfrage in Ländern, in denen Deutschland überdurchschnittlich hohe Lieferanteile hat, nur unterdurchschnittlich zunimmt. Eine Stabilisierung des deutschen Welthandelsanteils würde erfordern, dass die deutschen Lieferanteile in allen Klimaschutzbereichen erheblich steigen.

Die zusätzlichen Exporte von Klimaschutzgütern im 2°-Szenario wirken sich positiv auf das BIP aus: Dieses liegt im 2°-Szenario im Jahr 2020 um 0,5 Prozent höher als im BAU-Szenario; im Jahr 2030 beträgt der Unterschied schon mehr als ein Prozent. Im 2°-Szenario ist außerdem der private Konsum – im Vergleich zum BAU-Szenario – im Jahr 2020 um 0,4 Prozent und im Jahr 2030 um 1,2 Prozent größer, da sich aus der zusätzlichen Produktion von Gütern für den Export zusätzliche Einkommen ergeben, die wiederum in den Konsum fließen. Um die Produktionsmöglichkeiten für die zusätzliche Produktion zu erhalten beziehungsweise zu schaffen, wird in Ausrüstungen und Bauten investiert.

Etwas geringere Zuwächse ergeben sich bei den Erwerbstätigen: Ein Blick auf die Struktur der Klimaschutzgüter exportierenden Wirtschaftszweige zeigt, dass hier wenig arbeitsintensive, teilweise hoch-automatisierte Fertigungsprozesse stattfinden. Die relative Abweichung zwischen den beiden Szenarien im Jahr 2030 beträgt daher etwa 0,3 Prozent. Dies entspricht absolut etwa 110.000 Arbeitsplätzen, die die zusätzlichen Exporte bei ambitioniertem Klimaschutz auslösen und die zusätzlich zu den ohnehin der Klimaschutzwirtschaft zuzurechnenden Arbeitsplätzen (2013 rund eine Mio. Beschäftigte) gebraucht werden.

Für den Staat wirken sich die zusätzlichen Exporte im 2°-Szenario ebenfalls positiv aus. Die Einnahmen des Staates speisen sich u.a. aus Einkommens- und Vermögenssteuern. Durch die zusätzliche Beschäftigung steigen diese Einnahmen: im 2°-Szenario im Jahr 2030 um etwa 6,5 Mrd. Euro (+1,3 Prozent). Weiterhin sind auch die Produktions- und Importabgaben (z. B. Mehrwertsteuer, Verbrauchssteuer) durch die zusätzlichen Exporte leicht höher: Mit zusätzlicher Produktion steigt die Nachfrage des Produzierenden Gewerbes nach importierten Gütern ebenfalls. Insgesamt liegen daher die Einnahmen aus Mehrwertsteuer, Umsatzsteuer und weiteren Abgaben im Jahr 2030 um ca. 4,6 Mrd. Euro höher als im BAU-Szenario (+1,1 Prozent).

Die Studie analysierte zudem beispielhaft vier Exportmärkte, die für deutsche Unternehmen besonders attraktiv sind: Recycling von PV-Anlagen, die Ladeinfrastruktur von Elektro-PKW, Lithium-Ionen-Akkus und die Nutzung industrieller Abwärme. Basierend auf Experteninterviews wurden diese Exportmärkte hinsichtlich der spezifischen Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen der deutschen Industrie ausgewertet. Anhand von sieben Fallbeispielen wurden außerdem erfolgreiche Unternehmen vorgestellt, die Klimaschutztechnologien anbieten und diese teilweise bereits exportieren.

Basierend auf den durchgeführten Experteninterviews wurden Handlungsempfehlungen für die Politik formuliert. Zu den Handlungsempfehlungen gehören die Förderung von Grundlagenforschung, die Förderung des Austauschs zwischen Wissenschaft und Industrie sowie die Förderung der Markteinführung und Verbreitung von neuen Klimaschutztechnologien.

Die Studie hat zum Beispiel gezeigt, dass gerade im Leitmarkt Energieeffizienz große Exportchancen bestehen. Dafür wird es allerdings notwendig sein, die technologische Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Klimaschutztechnologien durch Innovationen und Kosteneinsparungen weiter zu stärken. Obwohl das Thema Energieeffizienz mittlerweile von der Politik erfasst wurde, bleiben Effizienzsteigerungen jedoch auch national noch hinter den Erwartungen zurück. Dem könnte durch eine aktive und ambitionierte Klimaschutzpolitik hierzulande begegnet werden. Einen entscheidenden Beitrag hierfür leisten inländische Investitionen in die Energieeffizienz. Weitere politische Handlungsempfehlungen der vorliegenden Studie sind eine intensivierte Unterstützung internationaler Unternehmenskooperationen sowie die Verbesserung des regulatorischen Rahmens im Ausland.

Insgesamt zeigt die Studie, dass trotz sinkender Lieferanteile ein weltweit ambitionierter Klimaschutz deutschen Unternehmen zusätzliche Exportchancen eröffnet. Die deutsche Volkswirtschaft kann davon in Form von höheren Exporten, zusätzlichem Wachstum und höherer Beschäftigung profitieren. Um diese positiven Effekte zu erzielen, bedarf es jedoch weiterhin großer Anstrengungen. Hierzu gehört zuvorderst, dass das globale 2°-Ziel von allen Ländern verfolgt und konkrete Maßnahmen zu dessen Erreichung ergriffen werden. Außerdem bedürfen deutsche Unternehmen eines freien Zugangs zu internationalen Märkten. Diese Voraussetzungen sind jedoch vor dem Hintergrund aktueller politischer Entwicklungen wie zum Beispiel in den USA in Gefahr. Die vorliegende Studie zeigt, dass Deutschland schon aus eigenem wirtschaftlichen Interesse international verstärkt auf eine ambitionierte Klimaschutzpolitik hinwirken sollte.

## 7 Literaturverzeichnis

- AHK (Hg.) 2015a: Factsheet Italien. Deutsch-Italienische Handelskammer. Online verfügbar unter [http://www.eclareon.com/sites/default/files/factsheet\\_italien\\_eef\\_italien\\_industrie\\_2015.pdf](http://www.eclareon.com/sites/default/files/factsheet_italien_eef_italien_industrie_2015.pdf), zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- AHK USA 2015b: Energiespeicherung USA. Zielmarktanalyse für Kalifornien und Südstaaten mit Schwerpunkt Texas 2015. Online verfügbar unter [http://www.gaccsouth.com/fileadmin/ahk\\_atlanta/Bilder/Consulting/Federal\\_Projects/ZMAs/zma\\_usa\\_westen\\_suedstaaten\\_2015-energiespeicher.pdf](http://www.gaccsouth.com/fileadmin/ahk_atlanta/Bilder/Consulting/Federal_Projects/ZMAs/zma_usa_westen_suedstaaten_2015-energiespeicher.pdf), zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- Aruvian's R'search (Hg.) o.J.: Global Biofuels Industry 2016. Aruvian's R'search.
- Automobilproduktion 2017: China will 800.000 Ladepunkte für Elektroautos. Online verfügbar unter: <https://www.automobilproduktion.de/maerkte/china-will-800-000-ladepunkte-fuer-elektroautos-247.html>, zuletzt geprüft am 16.02.2017.
- Ball, J. and J. Meckling 2013: Avoiding Sunstroke. Assessing National Competitiveness in the Global Solar Race. Results from a Scenario-Planning Workshop at Stanford University. November 4, 2013.
- Bals, C.; S. Kreft und L. Weischer 2016: Wendepunkt auf dem Weg in eine neue Epoche der globalen Klima- und Energiepolitik. Die Ergebnisse des Pariser Klimagipfels COP 21. Berlin: Germanwatch.
- Barber, D. A. 2012: The Emerging PV Module Recycling Market. EnergyTrend. Online verfügbar unter [http://pv.energystrend.com/research/EnergyTrend\\_PV\\_20120315.html](http://pv.energystrend.com/research/EnergyTrend_PV_20120315.html), zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- bcc Research (Hg.) 2016: Membrane Technology for Liquid and Gas Separations. Online verfügbar unter <http://www.bccresearch.com/market-research/membrane-and-separation-technology/membrane-technology-liquid-gas-separations-report-mst041h.html>, zuletzt geprüft am 25.01.2017.
- BCG (Hg.) 2013: Solar PV Plus Battery Storage. Poised for Takeoff. Online verfügbar unter [https://www.bcgperspectives.com/content/articles/energy\\_environment\\_solar\\_pv\\_plus\\_battery\\_storage\\_poised\\_for\\_takeoff/](https://www.bcgperspectives.com/content/articles/energy_environment_solar_pv_plus_battery_storage_poised_for_takeoff/), zuletzt geprüft am 17.08.2016.
- BMBF 2016: Regierungsprogramm Elektromobilität. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/files/programm\\_elektromobilitaet.pdf](https://www.bmbf.de/files/programm_elektromobilitaet.pdf), zuletzt geprüft am 08.06.2015.
- BMUB (Hg.) 2014: GreenTech made in Germany 4.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pools/Broschueren/greentech\\_atlas\\_4\\_0\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/greentech_atlas_4_0_bf.pdf), zuletzt geprüft am 17.08.2016.
- BMWi (Hg.) 2017: Bundesbericht Energieforschung 2017. Forschungsförderung für die Energiewende. Online verfügbar unter [https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Publikation/2017/bundesbericht-energieforschung-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Publikation/2017/bundesbericht-energieforschung-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt geprüft am 06.07.2017.
- BMZ 2016: Europas Gigafactory: BMZ nimmt ersten Teilabschnitt der größten Lithium-Ionen-Batterienfertigung Europas in Betrieb. Online verfügbar unter <http://www.bmz-gmbh.de/presse/presse-mitteilungen/0,1,4545,1653.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.
- BSW Solar 2016a: Infos zur neuen Förderung von Solarstrom-Speichern. Online verfügbar unter [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Speicherprogramm\\_Hintergrundpapier.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Speicherprogramm_Hintergrundpapier.pdf), zuletzt geprüft am 29.06.2016.
- BSW Solar 2016b: Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik). Online verfügbar unter [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2016\\_3\\_BSW\\_Solar\\_Faktenblatt\\_Photovoltaik.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2016_3_BSW_Solar_Faktenblatt_Photovoltaik.pdf), zuletzt geprüft am 07.03.2017.
- Bundesrat 2016: Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom auserneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien. Gesetzesbeschluss. EEG 2016, vom Drucksache 355/16. Online verfügbar unter [http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/355-16.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/355-16.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 21.07.2016.
- Bundesregierung 2016: Elektromobilität. Beilage zur Fach- und Ideenkonferenz der Bundesregierung am 6. und 7. Juni 2016 in Berlin. Berlin: Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland.

Business Wire 2016: Technavio Expects the Global Off-Grid Energy Storage Market to Exceed USD 13 Billion by 2019. Online verfügbar unter <http://www.businesswire.com/news/home/20160329005132/en/Technavio-Expects-Global-Off-Grid-Energy-Storage-Market>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

CAIRN 2015: Global Market Sizing and Forecast. Forecast and Supply Chain Analysis. Presentation at the Benchmark Mineral Intelligence World Tour in Toronto. Online verfügbar unter <http://benchmarkminerals.com/toronto/sam-jaffe.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Cao, J. and F. Groba 2013: Chinese Renewable Energy Technology Exports: The Role of Policy, Innovation and Markets. DIW Discussion Papers 1263. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.

Charged Electric Vehicles Magazine 2016: 6 EV infrastructure lessons we can learn from Norway. Online verfügbar unter <https://chargedevs.com/features/6-ev-infrastructure-lessons-we-can-learn-from-norway/>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

Château, J.; L. Fontagné, J. Fouré, Å. Johansson und E. Olaberría 2014: Trade Patterns in the 2060 World Economy, OECD Economics Department Working Papers, No. 1142, Paris.

Ecofys (Hg.) 2016: Pathways from Paris. Assessing the INDC Opportunity. Online verfügbar unter <http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/20160426%20INDC%20analysis%20vF.pdf>, zuletzt geprüft am 07.03.2017.

EEA (Hg.) 2015: Renewable energy in Europe. Approximated recent growth and knock-on effects. Online verfügbar unter [http://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-approximated/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-approximated/at_download/file), zuletzt geprüft am 07.03.2017.

Eisenhauer, S. und P. Valentin 2012: Waste Heat Recovery for Power Generation. Panorama of Public Policies. Hg. v. ADEME. Online verfügbar unter <http://www.hreii.eu/public/Annex%204.a.IV%20ADEME.pdf>, zuletzt geprüft am 13.06.2016.

elektroniknet 2015: Wettlauf um die beste Produktionstechnologie. Online verfügbar unter <http://www.elektroniknet.de/power/energiespeicher/artikel/124904/>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Elson, A.; R. Tidball und A. Hampson 2015: Waste Heat to Power Market Assessment. Hg. v. ICF. Online verfügbar unter <http://web.ornl.gov/sci/buildings/docs/ORNL%20TM-2014-620%20Waste%20Heat%20to%20Power.pdf>, zuletzt geprüft am 13.06.2016.

ESC (Hg.) 2015: Global Energy Storage Market Overview & Regional Summary Report. Online verfügbar unter [http://neca.asn.au/sites/default/files/media/state\\_nsw/News%20&%20Views/ESC%20Global%20Energy%20Storage%20Report\\_2015.pdf](http://neca.asn.au/sites/default/files/media/state_nsw/News%20&%20Views/ESC%20Global%20Energy%20Storage%20Report_2015.pdf), zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Europäische Union 2014: Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlament und des Rates am 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

European Alternative Fuels Observatory (eafo) 2017: Electric vehicle charging infrastructure. Online verfügbar unter: <http://www.eafo.eu/electric-vehicle-charging-infrastructure>, zuletzt geprüft am 16.02.2017.

Fichter, K. und J. Clausen 2013: Erfolg und Scheitern "grüner" Innovationen : Warum einige Nachhaltigkeitsinnovationen am Markt erfolgreich sind und andere nicht. Marburg: Metropolis-Verlag.

Fiedler, F. 2015: Sind gebrauchte Solarmodule Abfall? Top50-Solar. Online verfügbar unter <http://www.top50-solar.de/experten-forum-energiewende/6576/sind-gebrauchte-solarmodule-abfall>, zuletzt geprüft am 29.05.2016.

Focus 2016: Förderung. Verbissener Wettlauf. Online verfügbar unter [http://www.focus.de/magazin/verlagssonderveroeffentlichungen/fahren\\_mit\\_strom/foerderung/foerderung-verbissener-wettlauf\\_aid\\_490709.html](http://www.focus.de/magazin/verlagssonderveroeffentlichungen/fahren_mit_strom/foerderung/foerderung-verbissener-wettlauf_aid_490709.html), zuletzt geprüft am 08.06.2015.

Fraunhofer-Institut ISI (Hg.) 2014: Wirkung von Förderinstrumenten auf den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen in Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fraunhofer-ISI-Kurzstudie-Politikmassnahmen-fuer-Elektrofahrzeuge.pdf>, zuletzt geprüft am 07.03.2017.

GaBi 2014: Process data set: Electricity from photovoltaic; AC, technology mix of CIS, CdTE, mono crystalline and multi crystalline; production mix, at producer; 1kV - 60kV (en). Online verfügbar unter <http://gabi-6-lci-documentation.gabi-software.com/xml-data/processes/1bf126b9-8ea9-450f-9679-8d857b9b8cea.xml>, zuletzt geprüft am 30.05.2016.

- Gehrke, B. und U. Schasse 2013: Umweltschutzwerte – wie abgrenzen? Methodik und Liste der Umweltschutzwerte 2013. Studie im Auftrag des Umweltbundesamts. Hannover: Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
- Gehrke, B. und U. Schasse 2015: Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Produktion, Umsatz und Außenhandel. Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung des Umweltbundesamtes 04/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- green jobs Austria; PV Austria; Lebensministerium 2013: Recycling von PV-Modulen. Hintergrundpapier zum Round Table. Online verfügbar unter [http://www.ecotechnology.at/sites/default/files/131022\\_PVRecycling\\_Hintergrundpapier.pdf](http://www.ecotechnology.at/sites/default/files/131022_PVRecycling_Hintergrundpapier.pdf), zuletzt geprüft am 07.03.2017.
- Greenpeace (Hg.) 2015: energy [r]evolution. Online verfügbar unter <http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/climate-change/energyrevolution/>, zuletzt geprüft am 17.08.2016.
- Grote, L.; P. Hoffmann und G. Tänzer 2015: Abwärmenutzung – Potenziale, Hemmnisse und Umsetzungsvorschläge. Hg. v. IZES. Saarbrücken. Online verfügbar unter [http://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/20150901\\_BMUB\\_Studie\\_Abwaerme\\_V.1.1.pdf](http://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/20150901_BMUB_Studie_Abwaerme_V.1.1.pdf), zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- GTAI 2015: Dänemark beschneidet Förderung von Elektroautos. Online verfügbar unter <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=daenemark-beschneidet-foerderung-von-elektroautos,did=1337290.html>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.
- GTAI 2016: Norwegen will ab 2025 keine Autos mit Verbrennungsmotor mehr zulassen. Online verfügbar unter <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=norwegen-will-ab-2025-keine-autos-mit-verbrennungsmotor-mehr-zulassen,did=1444190.html>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.
- GWS (Hg.) 2016: Gesamtwirtschaftliche Wirkungen der Exporttätigkeit der deutschen PV- und Windindustrie. Der Aufbau internationaler Wertschöpfungsketten und Deutschlands Rolle auf dem Weltmarkt für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien. GWS Research Report. Osnabrück: GWS.
- Hahne, A. und G. Hirn 2010: Recycling von Photovoltaik-Modulen. BINE Informationsdienst Projekt Info 02/10. Online verfügbar unter <http://www.bine.info/publikationen/publikation/recycling-von-photovoltaik-modulen/>, zuletzt geprüft am 07.03.2017.
- Harder, J. 2013: Neueste Trends bei der Abwärmenutzung in Zementanlagen. In: ZKG International 2013, 2013 (6), S. 26–39.
- Hirzel, S.; B. Sontag und C. Rohde 2013: Industrielle Abwärmenutzung. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- IEA (Hg.) 2014: World Energy Investment Outlook. Special Report. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO2014.pdf>, zuletzt geprüft am 17.08.2016.
- IEA 2015a: Global EV Outlook 2015. Online verfügbar unter <http://www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/EVIGlobalEVOutlook2015-v14-landscape.pdf>, zuletzt geprüft am 07.03.2017.
- IEA (Hg.) 2015b: Key World Energy Statistics. Online verfügbar unter [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld\\_Statistics\\_2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf), zuletzt geprüft am 18.08.2016.
- IEA (Hg.) 2015c: World Energy Outlook 2015. Wien: International Energy Agency.
- IFC (Hg.) 2014: Waste Heat Recovery for the Cement Sector. Market and Supplier Analysis. Online verfügbar unter <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a87be50044581e9889678dc66d9c728b/IFC+Waste+Heat+Recovery+Report.pdf?MOD=AJPE> RES, zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- IHS 2015: Price Declines Expected to Broaden the Energy Storage Market, IHS Says. Online verfügbar unter <http://press.ihs.com/press-release/technology/price-declines-expected-broaden-energy-storage-market-ihs-says>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.
- IMF 2017: World Economic Outlook Database. Online verfügbar unter <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/01/weodata/index.aspx>, zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- IPCC (Hg.) 2013: Fifth Assessment Report on Climate Change. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>, zuletzt geprüft am 07.03.2017.

- IRENA (Hg.) 2016: Renewable Energy Capacity Statistics 2016. Online verfügbar unter [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE\\_stats\\_highlights\\_2016.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_stats_highlights_2016.pdf), zuletzt geprüft am 07.03.207.
- Johansson, Å. und E. Olaberria 2014: Long-term Patterns of Trade and Specialization, OECD Economics Department Working Papers, No. 1136. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- Kempkens, W. 2013: Münchner Startup macht aus Fabriken riesige Stromquelle. Wirtschaftswoche. Online verfügbar unter <http://www.wiwo.de/technologie/green/tech/abwaerme-muenchner-startup-macht-aus-fabriken-riesige-stromquelle/13546198.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.
- KfW 2016: KfW startet neues Förderprogramm für Unternehmen zur Vermeidung oder Nutzung von Abwärme. Online verfügbar unter [https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen/Pressemitteilungen-Details\\_355008.html](https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen/Pressemitteilungen-Details_355008.html), zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- Komoto, K. 2014: Workshop on PV Life Cycle Management & Recycling at IEA. Developments on PV Recycling in Japan. Online verfügbar unter [http://iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/workshop/12\\_Keiichi\\_KOMOTO.pdf](http://iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/workshop/12_Keiichi_KOMOTO.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2016.
- Latunussa, C.; F. Ardente, G. A. Blengini und L. Mancini 2016: Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. In: Solar Energy Materials and Solar Cells. DOI: 10.1016/j.solmat.2016.03.020.
- Lehr, U.; D. Edler, M. O'Sullivan, F. Peter und P. Bickel 2015: Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland. Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Osnabrück, Berlin, Stuttgart.
- Lehr, U.; C. Lutz, D. Edler, M. O'Sullivan, K. Nienhaus, und J. Nitsch et al. 2011: Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Osnabrück, Stuttgart, Berlin.
- Lehr, U.; J. Nitsch, M. Kratzat, C. Lutz, Christian, und D. Edler 2007: Exportmärkte und Beschäftigung im Bereich erneuerbarer Energien. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (07/2007), S. 8–12.
- Lux Research 2015: Li-ion Dominates the Booming Grid Storage Market with 90% of 2014 Proposals. Online verfügbar unter <http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/read/li-ion-dominates-booming-grid-storage-market-90-2014-proposals>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.
- Maiser, E.; S. Michaelis, D. Müller, A. Kampker, H. Heimes, C. Deutskens, M. Ordung, J.-P. Ganser, N. Sarovic; S. Wessel und C. Hast 2015: Batteriezellproduktion in Deutschland - Chancen für den Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt am Main und Aachen: VDMA Batterieproduktion und PEM der RWTH Aachen.
- Marketline (Hg.) 2015: Biotechnology: Global Industry Guide.
- Markets and markets (Hg.) 2016: Process Automation & Instrumentation Market by Instrument (Pressure, Temperature, Level and Humidity Transmitter), Solutions (PLC, DCS, SCADA, HMI, APC, MES and Safety Automation), Application, and Geography - Global Trend and Forecast to 2020. Online verfügbar unter <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/process-automation-market-1172.html>, zuletzt geprüft am 25.01.2017.
- Markt und Mittelstand (Hg.) 2016: Abwärmenutzung: So profitieren Mittelständler. Online verfügbar unter <http://www.marktundmittelstand.de/themen/energie/abwaermenutzung-so-profitieren-mittelstaendler-1231771/>, zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- Martin, R. 2015: Revenue from Building Energy Management Systems is Expected to Reach Nearly \$10.8 Billion by 2024. Online verfügbar unter <https://www.navigantresearch.com/newsroom/revenue-from-building-energy-management-systems-is-expected-to-reach-nearly-10-8-billion-by-2024>, zuletzt geprüft am 12.01.2017.
- MEC (o.J.): Die Vorteile auf einen Blick. Online verfügbar unter <http://metal-eco-city.com/index.php?id=8>, zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- MEC (o.J. b): Strom aus heißer Luft – innovative Technologie. Online verfügbar unter <http://metal-eco-city.com/index.php?id=164>, zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- Meijer, M; Scherfler, M. 2015: New solar PV business opportunities between the Netherlands and India. Amsterdam: Auroville Consulting; Energy Indeed.

Mennekes 2013a: Elektromobilität auf dem Vormarsch. Mennekes lieferte 800 Ladepunkte für Großprojekt in Oslo. Presseinformationen Aktuell. Online verfügbar unter

[http://www.mennekes.de/index.php?id=aktuell\\_details&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=1036&cHash=2127c8b6b2032e6731478588f421000a](http://www.mennekes.de/index.php?id=aktuell_details&tx_ttnews%5Btt_news%5D=1036&cHash=2127c8b6b2032e6731478588f421000a), zuletzt geprüft am 08.06.2015.

Mennekes 2013b: Typ 2 Ladestecker zur gemeinsamen Norm für Europa vorgeschlagen. Presseinformationen Aktuell. Online verfügbar unter

[http://www.mennekes.de/aktuell\\_details.html?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=922&cHash=90c28bcd144f87c0d54cc5cb3b6a527e](http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=922&cHash=90c28bcd144f87c0d54cc5cb3b6a527e), zuletzt geprüft am 08.06.2015.

Navigant Research (Hg.) 2014a: Smart Waste.

Navigant Research (Hg.) (2014b): The Lithium Ion Battery Market. Supply and Demand.

NPE 2013: Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Dritter Bericht. Online verfügbar unter [http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/bericht\\_emob\\_3\\_bf.pdf](http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/bericht_emob_3_bf.pdf), zuletzt geprüft am 08.06.2015.

NPE 2015: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015. Online verfügbar unter [http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/NPE\\_AG3\\_Statusbericht\\_LIS\\_2015\\_barr\\_bf.pdf](http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG3_Statusbericht_LIS_2015_barr_bf.pdf), zuletzt geprüft am 08.06.2016.

NPE 2016: Ladeinfrastruktur. Online verfügbar unter <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/ladeinfrastruktur/#tabs>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

n-tech Research (Hg.) 2015: Organic Photovoltaic Markets -2015 - 2022. Online verfügbar unter <http://ntechresearch.com/reports/organic-photovoltaics-markets-2015-2022>, zuletzt geprüft am 25.01.2017.

Oanda (Hg.) (o.J.): Datenbank Oanda. Online verfügbar unter <https://www.oanda.com/lang/de/>, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

OECD (Hg.) 2012: OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.

OECD (Hg.) 2014: The Stringency of Environmental Regulations and Trade in Environmental Goods. OECD Trade and Environment Working Paper, 2014/03. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.

OECD (Hg.) 2016: OECD Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables. Online verfügbar unter <http://www.oecd.org/sti/ind/input-outputtables.htm>, zuletzt geprüft am 13.06.16.

OICA (Hg.) o.J.: World Motor Vehicle Sales Statistics by country. Online verfügbar unter <http://www.oica.net/category/sales-statistics/>, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Oxford Economics (Hg.) o.J.: Data Bank Oxford Economics.

PV Cycle 2016a: First PV CYCLE box delivered to Japan. Online verfügbar unter <http://www.pvcycle.org/press/first-pv-cycle-box-delivered-to-japan/>, zuletzt geprüft am 30.05.2016.

PV Cycle 2016b: The World of PV CYCLE. Online verfügbar unter <http://www.pvcycle.org/about/>, zuletzt geprüft am 30.05.2016.

PV Magazine 2015a: Batteriepreise purzeln weiter. Online verfügbar unter [http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/batteriepreise-purzeln-weiter\\_100020916/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/batteriepreise-purzeln-weiter_100020916/), zuletzt geprüft am 29.06.2016.

PV Magazine 2015b: Deutschland will Photovoltaik-Ausbau in Indien mit 1 Milliarde Euro unterstützen. Online verfügbar unter [http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/polysiliziumpreis-fllt-auf-rekordtief\\_100021126/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/polysiliziumpreis-fllt-auf-rekordtief_100021126/), zuletzt geprüft am 30.05.2016.

PV Magazine 2015c: Wer für Recycling zahlen muss und wer nicht. Online verfügbar unter [http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/wer-fr-recycling-zahlen-muss-und-wer-nicht\\_100019048/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/wer-fr-recycling-zahlen-muss-und-wer-nicht_100019048/), zuletzt geprüft am 30.05.2016.

PV Magazine 2016: Nach Tesla und Daimler drängt BMW ins Photovoltaik-Speichergeschäft. Online verfügbar unter: [http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/nach-tesla-und-daimler-drngt-bmw-ins-photovoltaik-speichergeschft\\_100021806/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/nach-tesla-und-daimler-drngt-bmw-ins-photovoltaik-speichergeschft_100021806/), zuletzt geprüft am 12.01.2017.

PV Tech 2015: Japan to implement solar module recycling and recovery measures. Online verfügbar unter [http://www.pv-tech.org/news/japan\\_to\\_implement\\_solar\\_module\\_recycling\\_and\\_recovery\\_measures](http://www.pv-tech.org/news/japan_to_implement_solar_module_recycling_and_recovery_measures), zuletzt geprüft am 29.05.2016.

PV Tech 2016: PV Cycle expands solar waste management service to Japan. Online verfügbar unter <http://www.pv-tech.org/news/pv-cycle-expands-solar-waste-management-service-to-japan>, zuletzt geprüft am 29.05.2016.

Quoilin, Sylvain; van den Broek, Martijn; Declaye, Sébastien; Dewallef, Pierre; Lemort, Vincent 2013: Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews (22), S. 168–186.  
doi:10.1016/j.rser.2013.01.028.

Rekinger, M. und F. Thies 2015: Global market outlook for solar power. Brüssel: Solar Power Europe.

Research and markets (Hg.) 2016: Global Cement Industry Outlook 2016-2020, Online verfügbar unter <http://www.researchandmarkets.com/reports/3608919/global-cement-industry-outlook-2016-2020#pos-0>, zuletzt geprüft am 25.01.2017.

Roland Berger (Hg.) 2014: INDUSTRY 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed. Online verfügbar unter [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_tab\\_industry\\_4\\_0\\_20140403.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf), zuletzt geprüft am 25.01.2017.

Sawhney, Y.A. and Kahn, M.H. 2012, Understanding cross-national trends in high-tech renewable power equipment exports to the United States, Energy Policy 46/ 2012, S. 308-318.

Schlesinger, M.; D. Lindenberger, D. und C. Lutz 2014: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht. Projekt Nr. 57/12. Studie im Auftrag des BMWi. Basel: Prognos AG; Köln: EWI; Osnabrück: GWS

Schroeder, H.; C. Dasenbrock 2015: Ziele und Inhalte des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG). Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Referat WR II 3.

Siemens 2015: Building the world's first eHighway in California. Online verfügbar unter <http://news.usa.siemens.biz/blog/mobility/building-worlds-first-ehighway-california>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

SINTEF 2015: CABRISS - Implementation of a circular economy based on recycled, reused and recovered indium, silicon and silver materials for photovoltaic and other applications. Online verfügbar unter <https://www.sintef.no/en/projects/cabriss-implementation-of-a-circular-economy-based/>, zuletzt geprüft am 29.05.2016.

SolarServer 2016: IHS: China, USA und Japan führen weltweit installierte Photovoltaik-Leistung 2016 an. Zubau in Europa gedämpft. Online verfügbar unter <http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/aktuelles/2016/kw09/ihc-china-usa-und-japan-fuehren-weltweit-installierte-photovoltaik-leistung-2016-an-zubau-in-europa-gedaempft.html>, zuletzt geprüft am 29.05.2016.

sonnen GmbH 2016a: sonnen GmbH verzeichnet Rekordnachfrage nach Batteriespeichern und startet Serienproduktion der neuen sonnenBatterie eco. Online verfügbar unter <https://www.sonnenbatterie.de/de/sonnen-gmbh-verzeichnet-rekordnachfrage-nach-batteriespeichern-und-startet-serienproduktion-der>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

sonnen GmbH 2016b: sonnen führt sonnen Community in Italien ein und eröffnet neuen Standort. Online verfügbar unter: <https://www.sonnen-batterie.com/de/sonnen-fuehrt-sonnencommunity-italien-ein-und-eroeffnet-neuen-standort>, zuletzt geprüft am 12.01.2017.

Staiß, F.; M. Kratzat, J. Nitsch, U. Lehr, D. Edler und C. Lutz 2006: Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin.

Statista (Hg.) o.J.: Digital Market Outlook. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/outlook>, zuletzt geprüft am 17.08.2016.

Statistisches Bundesamt (Hg.) 2008: Klassifikation der Wirtschaftszweige. Ausgabe 2008. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008\\_erl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008_erl.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Statistisches Bundesamt 2016: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Lange Reihen ab 1970. Ausgabe 2015. Fachserie 18, Reihe 1.5. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Swiss Biotech Association (Hg.): Biotech Sector in Brazil.

Tech Navio (Hg.) 2014: Global Smart Material Market.

Technische Universität München o.J.: Made by TUM. Abwärme nutzen - Strom gewinnen. Online verfügbar unter <http://www.tum.de/die-tum/magazine/tumcampus/artikel/article/30408/>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Teslamotors 2016: The World's Fastest Charging Station. Online verfügbar unter <https://www.teslamotors.com/supercharger>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

The Guardian 2016: Japan now has more electric car charge points than petrol stations. Online verfügbar unter <http://www.theguardian.com/world/2016/may/10/japan-electric-car-charge-points-petrol-stations>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

Thielmann, A.; A. Sauer und M. Wietschel 2015a: Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Thielmann, A.; A. Sauer, M. Wietschel 2015b: Gesamt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Ubitricity 2016: Ubitricity bringt mit zukunftsfähigen Lösungen die Elektromobilität auf die Straße. Online verfügbar unter <https://www.ubitricity.com/de/unternehmen/%C3%BCber-uns>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

UNEP (Hg.) 2013: Global Trends in Renewable Energy Investment 2013. Online verfügbar unter <http://www.unep.org/pdf/GTR-UNEP-FS-BNEF2.pdf>, zuletzt geprüft am 17.08.2016.

UNFCCC (Hg.) 2015: Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions. Online verfügbar unter <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/07.pdf>, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

UNO (Hg.) 2015: UN-Bevölkerungsprojektionen 2015. Online verfügbar unter: <https://esa.un.org/unpd/wpp/>, zuletzt geprüft am 15.03.2017.

U.S. Department of Energy (Hg.) 2015: Fuel Cell Technologies Market Report 2014 . Online verfügbar unter [https://energy.gov/sites/prod/files/2015/10/f27/fcto\\_2014\\_market\\_report.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2015/10/f27/fcto_2014_market_report.pdf), zuletzt geprüft am 03.01.2017

VDE 2016a: E-Mobility. Ladeinfrastruktur (Smart Grid). Online verfügbar unter <https://www.vde.com/DE/E-MOBILITY/LADEINFRASTRUKTUR/Seiten/default.aspx>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

VDE 2016b: E-Mobility. Ladekonzepte. Online verfügbar unter <https://www.vde.com/de/E-Mobility/Ladeinfrastruktur/Ladekonzepte/Seiten/default.aspx>, zuletzt geprüft am 08.06.2015.

VDMA Batterieproduktion (Hg.) 2014: Roadmap: Batterie-Produktionsmittel 2030. Online verfügbar unter <http://www.forum-elektromobilitaet.de/assets/mime/-UTQ3ZSydci,2lhxsCWJplRWnyTpw0eicET+TsD2iIPmlljtC/Roadmap-Batterie-Produktionsmittel-2030.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

VDMA Batterieproduktion (Hg.) 2015: Batteriezellproduktion in Deutschland – Chancen für den Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt am Main und Aachen: VDMA Batterieproduktion und PEM der RWTH Aachen.

Wirth, H. 2016: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE - Photovoltaische Module, Systeme und Zuverlässigkeit. Freiburg: Fraunhofer ISE.

World Bank 2017: World development Indicators. Online verfügbar unter <http://data.worldbank.org/indicator/NE.IMP.GNFS.ZS>, zuletzt geprüft am 18.01.2017.

World Bank (Hg.) o.J.: World Data Bank. Online verfügbar unter <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

World Bank (Hg.) 2011: WITS World Integrated Trade Solution. User's Manual. Version 2.01. Online verfügbar unter [http://wits.worldbank.org/data/public/WITS\\_User\\_Manual.pdf](http://wits.worldbank.org/data/public/WITS_User_Manual.pdf), zuletzt geprüft am 10.09.2015.

Zhang, J.; F. Lv, L. Y. Ma und L. J. Yang 2013: The Status and Trends of Crystalline Silicon PV Module Recycling Treatment Methods in Europe and China. In: Advanced Materials Research (724–725), S. 200–204.