ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Lehr, Ulrike; Flaute, Markus

Research Report

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, No. 2016/02

Provided in Cooperation with:

GWS - Institute of Economic Structures Research, Osnabrück

Suggested Citation: Lehr, Ulrike; Flaute, Markus (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, No. 2016/02, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS), Osnabrück

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/184698

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

GWS
SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

GWS RESEARCH REPORT 2016 / 02

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

Ulrike Lehr

Markus Flaute

Impressum

AUTOREN

Dr. Ulrike Lehr

Tel: +49 (541) 40933-280, E-Mail: lehr@gws-os.com

Dr. Markus Flaute

Tel: +49 (541) 40933-295, E-Mail: flaute@gws-os.com

TITEL

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.

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, November 2016

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers/der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

FÖRDERHINWEIS

Die Ergebnisse wurden im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekts (Förderkennzeichen 0325609B) erarbeitet.

HERAUSGEBER DER GWS RESEARCH REPORT SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 2196-4262

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis V

Tabellenverzeichnis VIII

1 Einleitung und Hintergrund 1

2 Das Konzept der Wertschöpfung in der Ökonomie 3

2.1 Wirtschaftswissenschaftliche Definition der Wertschöpfung 3

2.2 Zur Bedeutung sektoraler Wertschöpfung 4

2.3 Wertschöpfung in der Input-Output-Rechnung 7

3 Wertschöpfung durch den Ausbau erneuerbarer Energien 9

4 Wertschöpfung und Beschäftigung durch erneuerbare Energien – vom Employment Factor zur Entwicklung eigener IO-Strukturen 13

5 Die weltweite Wertschöpfungskette bei erneuerbaren Energien 17

5.1 Der Globale Ausbau erneuerbarer Energien bis heute 17

5.2 Windenergie: Wertschöpfungskette und Marktstruktur 19

5.3 Photovoltaik: Wertschöpfungskette und Marktstruktur 24

5.3.1 Entwicklung Silizium-Produktion 25

5.3.2 Entwicklung Modulproduktion 30

5.3.3 Entwicklung Wechselrichter 36

5.3.4 Entwicklung Installation und Montage 38

5.3.5 Entwicklung Produktionsanlagenbau 40

5.4 Wasserkraft: Wertschöpfungskette und Marktstruktur 42

6 Wettbewerbsposition deutscher EE-Unternehmen 45

6.1 Deutschlands Position im Weltmarkt 45

6.2 Anteile am Welthandel mit ausgewählten EE-Gütern 47

6.3 Exportspezialisierung, Weltmarktpräsenz und komparative Vorteile 52

6.4 Wettbewerber im Vergleich – RXA vs. RCA 61

6.5 Deutschlands Position bei Vorleistungen für erneuerbare Energien 65

7 Zwischenfazit 71

8 Ableitung deutscher Exporte beim internationalen EE-Ausbau 73

8.1 Vorgehensweise und Datengrundlage 73

8.1.1 Szenarien für den internationalen EE-Ausbau 76

8.1.2 Verteilung der weltweiten EE-Investitionen auf Komponenten und

Vorleistungen 82
8.1.3 Handelsanteile Deutschlands nach Gütern und Regionen 84
8.1.4 Anteil der weltweit gehandelten Mengen an EE-relevanten Gütergruppen 88
8.2 Exporte Deutschlands Beim internationalen EE-Ausbau 89
8.2.1 Exporte Deutschlands in der PV-Industrie 89
8.2.2 Exporte Deutschlands in der Wind-Industrie 92
8.2.3 Exporte Deutschlands bei erneuerbaren Energien 95

9 Gesamtwirtschaftliche Effekte durch zusätzliche EE-Exporte 98
9.1 Modellierung 98
9.2 Gesamtwirtschaftliche Effekte 100
9.2.1 Wirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt 100
9.2.2 Wirkungen auf die Beschäftigung 103

10 Fazit und Ausblick 109

Literaturverzeichnis 111

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zusammensetzung des Bruttoproduktionswerts der Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes 2014 5

Abbildung 2: Wirtschaftszweige mit dem höchsten Bruttoproduktionswert im Jahr 2014 6

Abbildung 3: Komponenten der deutschen Bruttowertschöpfung 7

Abbildung 4: Wertschöpfungsstufen im Bereich erneuerbarer Energien 9

Abbildung 5: Zweitrundeneffekte am Bespiel der Windkraftanlage 10

Abbildung 6: Investitionen in erneuerbare Energien nach Technologie in Mrd. US$ 17

Abbildung 7: Investitionen in erneuerbare Energien nach Ländern/Regionen in Mrd. US$ 18

Abbildung 8: Installierte Leistung zur Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2014 18

Abbildung 9: Erst- und Zweitrundeneffekte bei der Produktion einer Windkraftanlage 19

Abbildung 10: Weltweit kumulierte installierte Wind-Leistung in GW 22

Abbildung 11: Weltweit installierte Offshore-Wind-Leistung in GW 23

Abbildung 12: Siliziumproduktion in den bedeutendsten Produktionsländern von 1998 bis 2014 (in 1000 t) 26

Abbildung 13: Raffinadeproduktion Silizium in den bedeutendsten Produktionsländern von 1998 bis 2012 (in 1000 t) 27

Abbildung 14: Anteile einzelner Unternehmen an der weltweiten Raffinadeproduktion im Jahr 2012 (in Prozent) 29

Abbildung 15: Anteil der verschiedenen Zelltechnologien an den jeweils im Jahr produzierten Solarzellen (in %) 31

Abbildung 16: Weltweit kumulierte installierte Photovoltaik-Leistung in GW 32

Abbildung 17: Fertigungskapazitäten für Solarzellen in den bedeutendsten Produktionsländern in den Jahren 2009 bis 2015 (in GW) 33

Abbildung 18: Fertigungskapazitäten für Solarmodule in den bedeutendsten Produktionsländern in den Jahren 2009 bis 2015 (in GW) 34

Abbildung 19: Fertigungskapazitäten für Dünnschichtmodule in den bedeutendsten Produktionsländern in den Jahren 2009 bis 2015 (in GW) 34

Abbildung 20: Differenz aus jährlicher weltweiter Solarzellenproduktion und installierter Photovoltaik-Leistung in den Jahren 2000 bis 2011 in GW 35

Abbildung 21: Umsatz und Auftragseingang deutscher Photovoltaik-

Produktionsmittel (Index: Umsatz 2010 = 100) 41
Abbildung 22: Installierte Leistung und Stromproduktion von Wasserkraft in Deutschland 43
Abbildung 23: Exporte der Top 20 Exportnationen (in Mrd. $ 2014, und in $/ Kopf) 45
Abbildung 24: Exportstruktur der Top 3 Exporteure und Frankreich 46
Abbildung 25: Wertschöpfungsstufen nach OECD Methode, Deutschland, Anzahl der Produktionsschritte 47
Abbildung 26: Welthandelsanteile ausgewählter Länder bei Windkraftgeneratoren 49
Abbildung 27: Welthandelsanteile ausgewählter Länder bei Solarzellen und Halbleitern 50
Abbildung 28: Welthandelsanteile ausgewählter Länder bei Wasserturbinen und -rädern 51
Abbildung 29: Spezialisierung ausgewählter Länder (RXA-Werte) bei Windkraftgeneratoren 53
Abbildung 30: Spezialisierung ausgewählter Länder (RXA-Werte) bei Solarzellen und Halbleitern 54
Abbildung 31: Spezialisierung ausgewählter Länder (RXA-Werte) bei Wasserturbinen und -rädern 55
Abbildung 32: Spezialisierung ausgewählter Länder (RCA-Werte) bei Windkraftgeneratoren 56
Abbildung 33: Spezialisierung ausgewählter Länder (RCA-Werte) bei Solarzellen und Halbleitern 57
Abbildung 34: Spezialisierung ausgewählter Länder (RCA-Werte) bei Wasserturbinen und -rädern 58
Abbildung 35: Welthandelsanteile Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen 58
Abbildung 36: Exporte Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen 59
Abbildung 37: Exportspezialisierung (RXA-Werte) Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen 60
Abbildung 38: Außenhandelsspezialisierung (RCA-Werte) Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen 61
Abbildung 39: Spezialisierung Deutschlands bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien 61
Abbildung 40: Spezialisierung Spaniens bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien 63
Abbildung 41: Spezialisierung Chinas bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien 64
Abbildung 42: Spezialisierung der USA bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien 65

Abbildung 43: Welthandelsanteile Deutschlands bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft 68

Abbildung 44: Exporte Deutschlands bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft 68

Abbildung 45: Exportspezialisierung (RXA-Werte) für Deutschland bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft 69

Abbildung 46: Außenhandelsspezialisierung (RCA-Werte) für Deutschland bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft 70

Abbildung 47: Ableitung der Exporte Deutschlands entlang der Wertschöpfungskette beim internationalen EE-Ausbau 75

Abbildung 48: Prozentuale Abweichung der Ausbaupfade von Windkraft zwischen dem Energy-Revolution-Szenario von 2012 und 2015 78

Abbildung 49: Prozentuale Abweichung der Ausbaupfade von Photovoltaik zwischen dem Energy-Revolution-Szenario von 2012 und 2015 79

Abbildung 50: Zusammenschau der Ausbauszenarien für Wind Onshore und Photovoltaik 79

Abbildung 51: Kosten der Installation von Wind Onshore und Photovoltaik in Euro pro kW 80

Abbildung 52: Jährliche Investitionen für die Technologien Wind Onshore und Photovoltaik im Energy-Revolution-Szenario, Current-Policy-Szenario und 450ppm Szenario 81

Abbildung 53: Exporte deutscher Unternehmen in der Photovoltaik-Branche nach Gütergruppen in Mrd. Euro 90

Abbildung 54: Aufteilung der Exporte in der Photovoltaik-Branche auf Komponenten und Vorleistungen in Mrd. Euro 91

Abbildung 55: Exporte deutscher Unternehmen in der Photovoltaik-Branche nach Regionen in Mrd. Euro 92

Abbildung 56: Exporte deutscher Unternehmen in der Wind-Branche nach Gütergruppen in Mrd. Euro 93

Abbildung 57: Aufteilung der Exporte in der Wind-Branche auf Komponenten und Vorleistungen in Mrd. Euro 94

Abbildung 58: Exporte deutscher Unternehmen in der Wind-Branche nach Regionen in Mrd. Euro 95

Abbildung 59: Summe deutscher Exporte (PV und Wind Onshore) nach Regionen in Mrd. Euro (reale Größen) 96

Abbildung 60: Mögliche Bandbreiten der Exportvolumen Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien 97

Abbildung 61: Schematische Darstellung des Modells PANTA RHEI 98

Abbildung 62: Gesamtwirtschaftliche Wirkungen durch zusätzliche Exporte Deutschlands für den internationalen Ausbau der erneuerbaren

Energien 99

Abbildung 63: Vergleich der Wirkungen der möglichen Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt Deutschlands (reale Größen) 100

Abbildung 64: Mögliche Bandbreiten der Effekte der Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien (reale Größen) 101

Abbildung 65: Auswirkungen eines reduzierten PV-Handels auf das Bruttoinlandsprodukt 102

Abbildung 66: Vergleich der Wirkungen der möglichen Exporte auf die Beschäftigung 104

Abbildung 67: Zusätzliche Beschäftigung durch die Exporte von Windkraft und Photovoltaik im Energy-Revolution-Szenario 105

Abbildung 68: Bandbreite Beschäftigungswirkungen im verarbeitenden Gewerbe für die unterschiedlichen Szenarien in Deutschland 107

Abbildung 69: Auswirkungen eines reduzierten PV-Handels auf die Beschäftigung 107

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Produktionskonto eines Sektors 4

Tabelle 2: Siliziumimporte und Exporte Deutschlands in den Jahren 2009 bis 2012 30

Tabelle 3: Ranking der umsatzstärksten Hersteller von Wechselrichtern in den Jahren 2008 und 2013 37

Tabelle 4: UN-Comtrade Gütergruppen für die Analyse der Handelsaktivitäten auf dem Weltmarkt 49

Tabelle 5: Exporte von Herstellern und Zulieferern ausgewählter Technologien im Jahr 2012 74

Tabelle 6: Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den Energy-Revolution-Szenarien von 2012 und 2015 77

Tabelle 7: Kostenstruktur der Technologien Windkraft und Photovoltaik 82

Tabelle 8: Vorleistungsnachfrage der Wirtschaftszweige “Elektrische Ausrüstungen” und “Maschinen” 84

Tabelle 9: Aufbau einer bilateralen Handelsmatrix 85

Tabelle 10: Regionale Importe und Anteile deutscher Exporte an den regionalen Importen für ausgewählte Gütergruppen im Jahr 2012 86

Tabelle 11: Übersicht über die wichtigsten ökonomischen Kenngrößen. Abweichungen zwischen Energy-Revolution-Szenario und dem Fall ohne zusätzliche Exporte von erneuerbaren Energietechnologien, in

jeweiligen Größen. 103

Tabelle 12: Zuwächse und Abgänge bei der Beschäftigung bei Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes im Energy-Revolution-Szenario im Detail 106

1 EINLEITUNG UND HINTERGRUND

Der globale Ausbau erneuerbarer Energien hat sich in den letzten Jahren von den Vorreitermärkten in Europa in die Entwicklungs- und Schwellenländer Asiens und Nordafrikas verlagert. Insbesondere angesichts großer globaler Player wie China, das es innerhalb kurzer Zeit an die Spitze der Top Ten Länder mit den höchsten Neuinstallationen geschafft hat und mittlerweile auch an der Spitze der Länder mit den höchsten installierten Leistungen steht, stellt sich die Frage, wo eigentlich die zukünftige Herstellung der Anlagen stattfinden wird. Wird Deutschland teilhaben an der Wertschöpfung durch den weltweiten Ausbau erneuerbarer Energien? Was sind die Bedingungen hierfür?

Umsatz und Beschäftigung durch die Herstellung von EE-Anlagen entsteht nicht nur in der Anlagenproduktion, sondern entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Erst die differenzierte Analyse entlang der Wertschöpfungskette kann zu einer Aussage führen, in welchen Weltregionen der Ausbau erneuerbarer Energien zu Beschäftigung auf welcher Wertschöpfungsstufe führt und insbesondere, wo sich weitere wirtschaftliche Potentiale für Deutschland ergeben.

Hierzu gilt es folgende Leitfragen zu beantworten: Wie sind die internationalen Wertschöpfungsketten im Bereich der EE aktuell aufgebaut und welche Entwicklungen sind hier zu erwarten? In welchen Bereichen hat die deutsche Industrie Wettbewerbsvorteile? Wie beeinflussen welche politischen Instrumente sowohl in Deutschland als auch in Europa/weltweit die Entwicklung der internationalen Märkte für EE-Technologien?

Nachfolgend wird zunächst der Begriff der Wertschöpfung in der Ökonomie aufgearbeitet und anhand von Beispielen illustriert (Kapitel 2). Speziell für die Querschnittsbranchen der erneuerbaren Energien muss dieser Begriff neu zugeschnitten und erweitert werden (Kapitel 3). Insbesondere zur Berechnung von Beschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien sind hier auf Basis verschiedener Ansätze bereits Arbeiten in der Literatur zu finden. Kapitel 4 gibt dazu einen Überblick. Kapitel 5 geht ins Detail der Wertschöpfungsketten für die Windenergie, die Photovoltaik und die Wasserkraft, da diese Technologien den weltweiten EE-Ausbau dominieren und somit die größten Umsätze auf sich vereinen. Ausführlich werden die Inputs entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten beschrieben. Kapitel 6 geht auf die Marktpositionen deutscher Unternehmen in den jeweiligen Märkten entlang der Wertschöpfungskette ein und Kapitel 7 zieht ein Zwischenfazit, ehe in Kapitel 8 mögliche deutsche Exporte beim internationalen EE-Ausbau abgeleitet werden. In Kapitel 9 werden die möglichen gesamtwirtschaftlichen Effekte aus den zuvor abgeleiteten Exporten bestimmt. Kapitel 10 zieht ein Fazit und gibt einen Ausblick.

2 DAS KONZEPT DER WERTSCHÖPFUNG IN DER ÖKONOMIE

Wertschöpfung ist ein zentraler Begriff der Wirtschaftswissenschaften, sowohl in der Mikroökonomie bei der Untersuchung von Unternehmen als auch als makroökonomisches Konzept. Auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene lässt sich aus dem Anteil der Bruttowertschöpfung eines Sektors am Bruttoinlandsprodukt auf die Bedeutung des Sektors für die Wirtschaftstätigkeit in Deutschland schließen. Nachfolgend werden zunächst die zentralen Definitionen vermittelt und anschließend anhand von Beispielen die Aussagekraft der Wertschöpfung zur Einordnung von Wirtschaftsbereichen erläutert.

2.1 WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTLICHE DEFINITION DER WERTSCHÖPFUNG

Auf der Ebene einzelner Unternehmen lässt sich Wertschöpfung definieren als Differenz zwischen dem „vom Betrieb erzeugten Gütereinkommen, (das sich) ergibt aus den gesamten Erlösen (den nach außen abgegebenen Güterwerten), von denen die „Vorleistungskosten“ (die von außen hereingenommenen Güterwerte, d.h. Leistungen vorgelagerter Produktionsstufen) abgezogen werden. Das vom Betrieb erzeugte Gütereinkommen ist gleich dem vom Betrieb erzeugten Geldeinkommen, der Summe von Arbeitserträgen, Gemeinerträgen (Steuern und Abgaben) und Kapitalerträgen (Saldo).“ (Gabler Wirtschaftslexikon). Auf der Makroebene beschreibt die Wertschöpfung die „in einzelnen Wirtschaftsbereichen erbrachte wirtschaftliche Leistung. (…) Die Bruttowertschöpfung wird bei Marktproduzenten als Differenz zwischen dem Produktionswert (zu Herstellpreisen) und den Vorleistungen berechnet. Sie ist prinzipiell frei von Doppelzählungen. Soweit der Staat und private Organisationen ohne Erwerbszweck sich als *Nichtmarktproduzenten* betätigen, wird die Bruttowertschöpfung durch Addition der Aufwandsposten (Arbeitnehmerentgelt, Abschreibungen) ermittelt. Auch für Kreditinstitute und Versicherungsunternehmen gilt eine besondere Berechnungsmethode. So werden bei den Banken neben Verkäufen, Provisionen und Gebühren eine unterstellte Bankgebühr aus der Differenz zwischen Soll- und Habenzinsen berücksichtigt.“ (Gabler Wirtschaftslexikon). Das Statistische Bundesamt definiert die Bruttowertschöpfung wie folgt: „(Sie) umfasst – nach Abzug sämtlicher Vorleistungen – die insgesamt produzierten Güter und Dienstleistungen zu den am Markt erzielten Preisen und ist somit der Wert, der den Vorleistungen durch Bearbeitung hinzugefügt worden ist.“ (StaBuA 2007).

Tabelle 1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Bruttoproduktion und Vorleistungsverflechtungen anhand eines Produktionskontos auf sektoraler Ebene. Es ist jeweils die Input- und Output-Seite eines spezifischen Sektors dargestellt.

Tabelle 1: Produktionskonto eines Sektors

Input		Output	
Käufe von • Vorleistungen Importe Abschreibungen Indirekte Steuern (Produktions- und Importabgaben) Subventionen Nettowertschöpfung		Verkäufe von • Vorleistungen • Konsumgütern • Investitionsgütern Exporte	
Bruttoproduktionswert	250	Bruttoproduktionswert	250

Quelle: Eigene Tabelle.

Die Output-Seite des Sektors enthält den Wert der in dem Sektor produzierten Güter. Neben Vorleistungen für andere Sektoren verkauft der Sektor Endprodukte an Konsumenten sowie Investitionsgüter. Darüber hinaus handelt der Sektor mit dem Ausland und verkauft Vorleistungen und Endprodukte an das Ausland (Exporte). Als Summe ergibt sich der zu Marktpreisen bewertete Bruttoproduktionswert des Sektors.

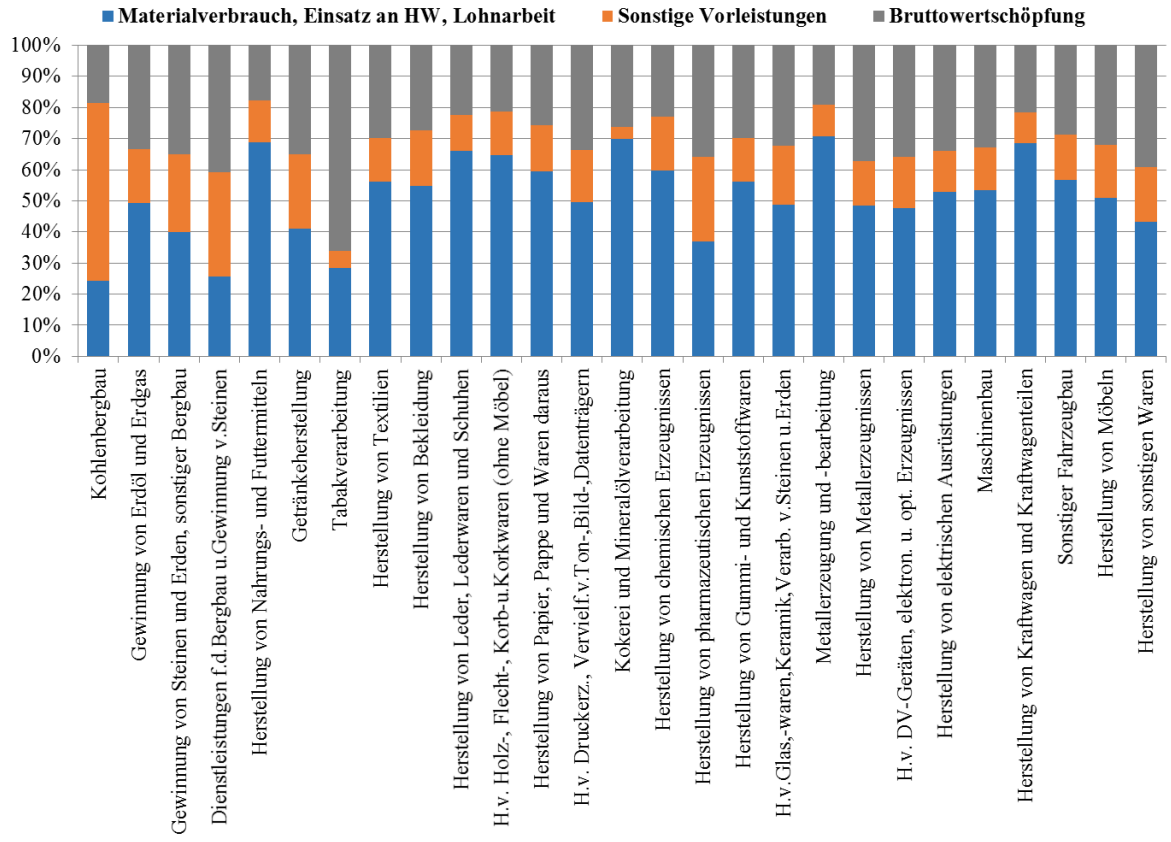
Zur Produktion des Outputs benötigt der Sektor Vorleistungen aus anderen Sektoren, die auf der Inputseite des Produktionskontos Eingang finden. Die Importe können sowohl Vorleistungen als auch Endprodukte enthalten. Für das im Produktionsprozess eingesetzte Sachkapital werden Abschreibungen angesetzt, um den Gebrauch monetär zu bewerten. Um der Bewertung zu Marktpreisen der Output-Seite gerecht zu werden, müssen auf der Inputseite noch die sogenannten Indirekten Steuern sowie Subventionen berücksichtigt werden. Die Nettowertschöpfung auf der Inputseite bildet die Faktoren Arbeit und Kapital ab und enthält Löhne, Gehälter, Zinsen und Gewinne. Der Bruttoproduktionswert der Inputseite als Summe der einzelnen Bestandteile entspricht in der Höhe dem Bruttoproduktionswert der Output-Seite.

Zieht man von der Bruttowertschöpfung gemäß oben stehendem Tableau die Abschreibungen und die indirekten Steuern ab und addiert die Subventionen hinzu, so erhält man die oben bereits genannte Nettowertschöpfung, welche die Löhne und Gehälter der Arbeitnehmer sowie die Gewinne der Unternehmen widerspiegelt.

2.2 ZUR BEDEUTUNG SEKTORALER WERTSCHÖPFUNG

Betrachtet man die verschiedenen Wirtschaftszweige, offenbaren sich unterschiedliche Wertschöpfungsanteile zwischen den Wirtschaftszweigen und unterschiedliche Bedeutungen der einzelnen Wirtschaftszweige für das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland.

Abbildung 1: Zusammensetzung des Bruttoproduktionswerts der Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes 2014



Quelle: Statistisches Bundesamt 2016.

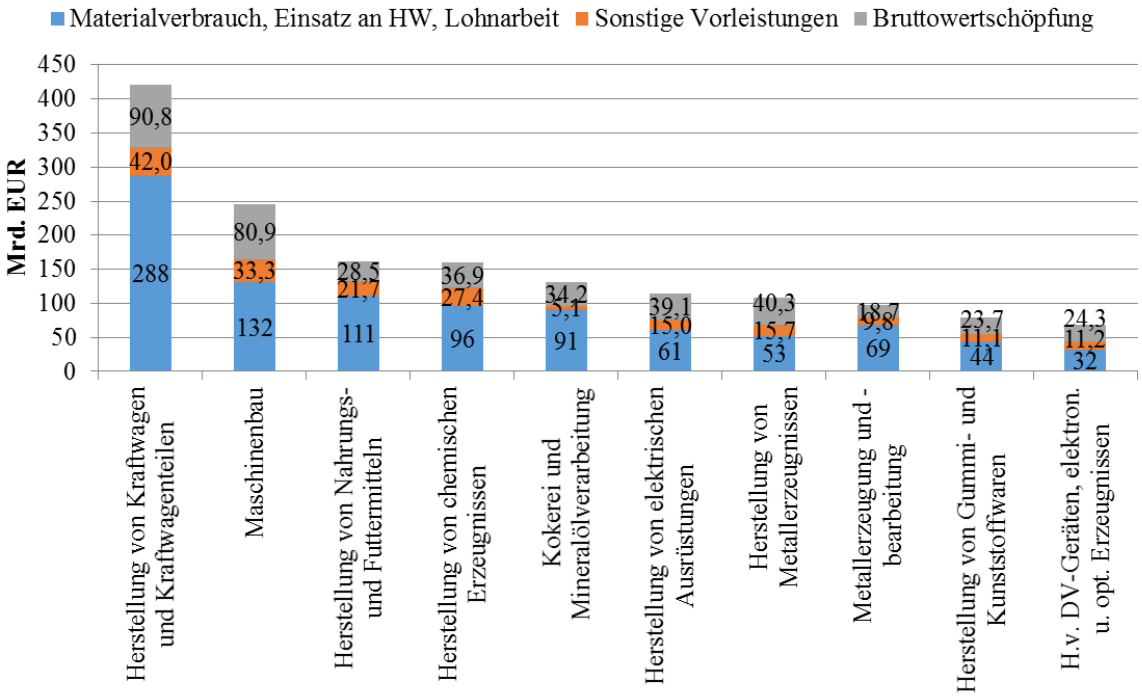
Abbildung 1 verdeutlicht die Zusammensetzung des Bruttoproduktionswertes für alle derzeit in der Klassifikation des Statistischen Bundesamtes erfassten Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes und des Bergbaus für das Jahr 2014. Die Bestandteile des Bruttoproduktionswertes gliedern sich in den Block Materialverbrauch, Einsatz an HW, Lohnarbeit, die sonstigen Vorleistungen und die Bruttowertschöpfung. Zum Materialverbrauch zählt der Einsatz und Verbrauch von Rohstoffen und sonstigen fremdbezogenen Vorprodukten, Hilfs- und Betriebsstoffen. Als Handelsware gelten Waren fremder Herkunft, die im Allgemeinen unbearbeitet und ohne fertigungstechnische Verbindung mit eigenen Erzeugnissen weiterverkauft werden. Kosten für Lohnarbeiten sind Entgelte für die Be- oder Verarbeitung von eigenem (beigestelltem) Material durch fremde Unternehmen (auswärtige Bearbeitung). Hierzu zählen auch die Entgelte an Zwischenmeister, nicht dagegen Löhne für Heimarbeiter oder Zusteller. Die sonstigen Vorleistungen enthalten Kosten für sonstige industrielle/handwerkliche Dienstleistungen, Kosten für Leiharbeitnehmer, Mieten und Pachten und sonstige Kosten. Die Bruttowertschöpfung errechnet sich folglich durch Abzug der Vorleistungswerte vom Bruttoproduktionswert. (Statistisches Bundesamt 2016)

Je nach Wirtschaftszweig fällt der Anteil der Bruttowertschöpfung am Bruttoproduktionswert unterschiedlich aus. Beispielsweise liegt der Anteil der Bruttowertschöpfung in den wenigsten Bereichen des verarbeitenden Gewerbes über 30 %. Scheinbare Ausnahmen sind überwiegend auf in den jeweiligen Sektoren und der Wertschöpfung zugerechnete Transfers wie die Steinkohlensubvention oder die Erdölabgabe zurückzuführen. Die meisten Wirtschaftszweige beziehen Vorleistungen aus dem In- und Ausland in erheblichem Umfang und fertigen daraus

ihre Endprodukte.

Zu den Wirtschaftszweigen mit dem geringsten Anteil der Bruttowertschöpfung am Bruttoproduktionswert gehören die Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (17,7 %), die Metallerzeugung und -bearbeitung (19,1 %) sowie die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (21,6 %). Gleichzeitig gehören die drei genannten Wirtschaftszweige zu den wichtigsten Industriezweigen in Deutschland (vgl. Abbildung 2). Die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen ist durch einen hohen Einsatz verschiedenster Rohstoffe, Materialien und Handelswaren gekennzeichnet. Neben Stahl, Aluminium und Kunststoffen finden auch Seltene Erden und Karbon immer häufiger Eingang in die Produktion von Kraftfahrzeugen, um den wachsenden Anforderungen an Leichtbau und alternativen Antrieben gerecht werden zu können. Viele Automobilzulieferer, die durch Outsourcing-Strategien in der Vergangenheit entstanden sind, beliefern heute die Automobilhersteller mit ihren Produkten. Die Teileproduktion von Zündkerzen, Lichtmaschinen, Getrieben, Bremsen etc. nimmt 90 % aller Vorleistungslieferungen der Automobilindustrie ein. Sie wird auch In-Sich-Lieferung genannt, da sie von Unternehmen derselben Branche produziert und nachgefragt wird (GWS 2014).

Abbildung 2: Wirtschaftszweige mit dem höchsten Bruttoproduktionswert im Jahr 2014

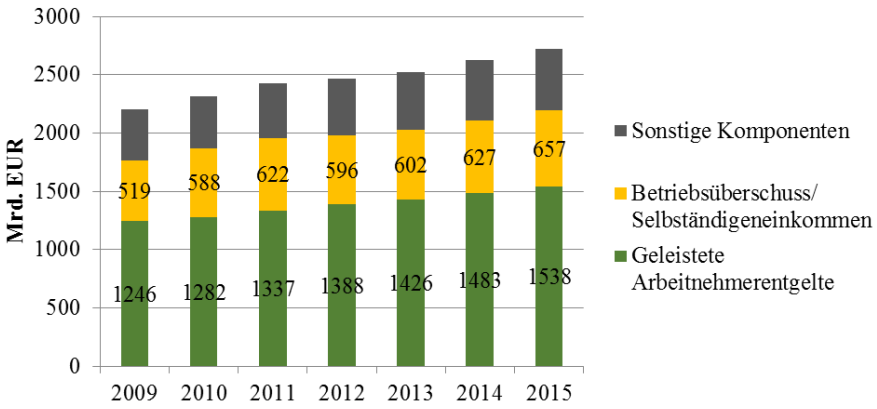


Quelle: Statistisches Bundesamt 2016

Im Vergleich zu den Dienstleistungsbereichen ist die Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe und im Bergbau deutlich geringer. Im Jahr 2014 betrug die Bruttowertschöpfung in Deutschland insgesamt 2.623 Mrd. €, wovon ca. 1.800 Mrd. € (ca. 69 %) auf Dienstleistungen und 675 Mrd. € (ca. 26 %) auf das produzierende Gewerbe entfielen. Die übrigen 6 % der Bruttowertschöpfung wurden in der Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und im Baugewerbe erwirtschaftet. Je nach Grad der Automatisierung bzw. Mechanisierung und je nach ausgeübter Tätigkeit besteht ein Zusammenhang zwischen der Wertschöpfung eines Sektors und der Beschäftigung in diesem Sektor, allerdings ist dieser Zusammenhang keinesfalls verallgemeinerbar oder linear, sondern hängt von einer Vielzahl sektorspezifischer Charakteristika ab.

Unternehmen des Produzierenden Gewerbes, deren Produktion stark vom Einsatz von Maschinen getrieben ist, haben einen höheren Teil an Abschreibungen in der Wertschöpfung und geringere Lohnkostenanteile. Dienstleistungsbereiche auf dem anderen Ende einer gedachten Skala der Beschäftigungsintensität, erstellen den überwiegenden Teil der Wertschöpfung durch von den Beschäftigten geleistete Dienste und zeigen daher eine der Wertschöpfung proportionale Entwicklung der Beschäftigung. In der Wertschöpfung enthalten sind ferner die Gewinne und die Selbständigeneinkommen, d.h. Sektoren mit hohen Anteilen an Selbständigen verzerren den direkten Zusammenhang zwischen Erwerbstätigkeit und Wertschöpfung.

Abbildung 3: Komponenten der deutschen Bruttowertschöpfung



Quelle: Statistisches Bundesamt 2016

Abbildung 3 verdeutlicht die Zusammensetzung der deutschen Bruttowertschöpfung für die Jahre 2009 bis 2015. Nach der Wirtschaftskrise ist die Bruttowertschöpfung in den vergangenen Jahren angestiegen. Für die gesamte deutsche Volkswirtschaft ist die Bruttowertschöpfung von 2.203,6 Mrd. € im Jahr 2009 auf 2.722,5 Mrd. € im Jahr 2015 angestiegen. Dieses Wachstum spiegelt sich auch in den geleisteten Arbeitnehmerentgelten wider. Im Jahr 2015 betrugen die geleisteten Arbeitnehmerentgelte ca. 1.538 Mrd. €, was einem Anteil von über 56 % an der Bruttowertschöpfung entspricht. Der Betriebsüberschuss bzw. das Selbständigeneinkommen betrug im Jahr 2015 ca. 657 Mrd. €, was einem Anteil von ca. 24 % an der Bruttowertschöpfung entspricht.

2.3 WERTSCHÖPFUNG IN DER INPUT-OUTPUT-RECHNUNG

Zusätzliche Wertschöpfungsprozesse werden in den einzelnen Wirtschaftssektoren ausgelöst durch zusätzliche Endnachfrage, die Nachfrage nach Vorleistungsgütern sowie durch die Nachfrage aus dem Ausland. Diese Verflechtung der Wirtschaftszweige lässt sich methodisch mittels der Input-Output-Rechnung abbilden. Input-Output-Tabellen bilden einen konsistenten Rahmen, bei dem gewährleistet ist, dass die in Abbildung 1 aufgezeigte Rechnung auf der Entstehungsseite und der Lieferseite zu demselben Ergebnis führt. Der Output eines Wirtschaftszweiges setzt sich entweder aus den Lieferungen an andere Wirtschaftszweige und den Endkunden im In- und Ausland zusammen oder muss der Summe aus Vorleistungen und Wertschöpfung entsprechen. Für Deutschland werden zum Beispiel in der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes Daten zur sektoralen Wirtschaftsentwicklung in Deutschland systematisch zusammengestellt

Über diese Vorleistungsverflechtungen lassen sich Wertschöpfungsketten ableiten, indem

man für einen bestimmten Wirtschaftszweig die Vorleistungen untersucht, deren Vorleistungen wiederum analysiert und so weiter. Die zusätzliche Endnachfrage in einem Wirtschaftszweig, etwa der Automobilindustrie, löst demnach zusätzliche Nachfrage in der Gummiindustrie (Reifen), der Metallverarbeitung (Karosserie, Antriebsstrang), der Glasindustrie (Fenster) und in weiteren Bereichen aus, die ihrerseits zusätzliche Nachfrage in ihren jeweiligen Vorleistungsbereichen generieren. Zur Abschätzung dieser Effekte lässt sich der Ansatz des Nobelpreisträgers Leontief (geboren am 5. August 1905, gestorben am 5. Februar 1999, 1973 Alfred-Nobel-Gedächtnispreis für Wirtschaftswissenschaften) heranziehen, in dem die Produktionsstruktur mit der Endnachfrage verknüpft wird und es ermöglicht, den Output eines Wirtschaftszweigs zu bestimmen.

Die Matrix der Leontief-Multiplikatoren, oder Leontief-Inverse $(I\text{-}A)^{-1}$, errechnet sich aus der Input-Output-Matrix *A*, die in ihren Zeilen die Lieferungen an die anderen Sektoren enthält und sich in den Spalten als Kostenstruktur zur Herstellung eines bestimmten Outputs lesen lässt. Mit der heimischen Endnachfrage als Differenz zwischen der Endnachfrage aus dem In- und Ausland minus den Importen $(y\text{-}m)$, kann der Output *x* eines Sektors berechnet werden:

$$x_t = \left(I - A_t\right)^{-1} \cdot \left(y_t - m_t\right)$$

Hieraus lassen sich in einem weiteren Schritt auch weitergehende Informationen, zum Beispiel zur Beschäftigung ableiten.(Holub & Schnabl 1994)

Werden viele Produkte entlang einer Wertschöpfungskette im Inland hergestellt, entfaltet diese größere Bedeutung im Inland als wenn die wesentlichen Inputs aus dem Ausland importiert werden. In der zunehmend arbeitsteiligen globalen Wirtschaft hat diese Überlegung zu dem Versuch einer Neubewertung internationaler Wertschöpfungsketten in der Literatur und den Internationalen Datenbanken geführt.

3 WERTSCHÖPFUNG DURCH DEN AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEN

Die Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes enthält keine einzelne Branche, welche die Wertschöpfung und Beschäftigung im Bereich der erneuerbaren Energien abbildet. Dies ist kein Problem der deutschen Statistik, vielmehr ist die Branche der erneuerbaren Energien eine sogenannte Querschnittbranche, die sich in Teilen bei den anderen Wirtschaftszweigen verorten lässt. Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien stoßen darüber hinaus die Nachfrage nach Materialien und Dienstleistungen in vorgelagerten Branchen an, in denen diese Nachfrage für Wertschöpfung und Beschäftigungswirkungen sorgt. Will man Aussagen zur Branche der erneuerbaren Energien insgesamt treffen, so kann man versuchen, den Querschnitt abzubilden, etwa entlang der Produktionsstruktur in der EE-Branche. Dies kann durch einfache Zuweisungen oder auf Basis von Unternehmensbefragungen und empirischen Daten geschehen. Letztlich geht es darum, die Inputstruktur oder auch die Kostenstruktur der Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien festzulegen. Die Literatur kennt etliche Beispiele, in denen dies untersucht wurde, insbesondere für den Europäischen Raum, aber auch für Nordafrika und die USA.

In einem ersten Schritt wird daher in diesem Abschnitt die Wertschöpfungsthematik für den Bereich der erneuerbaren Energien systematisiert. In der Literatur finden sich verschiedene parallel verwendete Konzepte. So gehen zum einen Lehr et al. (2015) in ihren Untersuchungen zur Beschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland als auch Breitschopf et al. (2011) in ihrer Entwicklung von Guidelines zur Bestimmung der Beschäftigungseffekte durch erneuerbare Energien für die IEA-RETD von der klassischen ökonomischen Definition aus, wie sie durch die Verwendung des Input-Output-Ansatzes gewissermaßen vorgegeben ist. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass er zu den ökonomischen Impact Analysen anderer Wirtschaftszweige „passt“ und sich in sektorale Strukturanalysen einfügt.

Daneben hat sich ein eher technologieorientierter Ansatz etabliert, der die verschiedenen Wertschöpfungsstufen „Planung und Entwicklung“, „Installation und Errichtung von Anlagen“, „Produktion von Anlagen“, „Betrieb von Anlagen“, „Wartungsdienstleistungen“, „Abbau, bzw. Repowering“ zur Grundlage hat. Dieser Ansatz wiederum hat den Vorteil, dass er sich intuitiv vom Lebenszyklus einer EE-Anlage ableiten lässt. In der Literatur zur Wertschöpfung durch den Ausbau erneuerbarer Energien wird die Beschreibung dieses Prozesses anhand von fünf Wertschöpfungsstufen entwickelt (Abbildung 4).

Abbildung 4: Wertschöpfungsstufen im Bereich erneuerbarer Energien

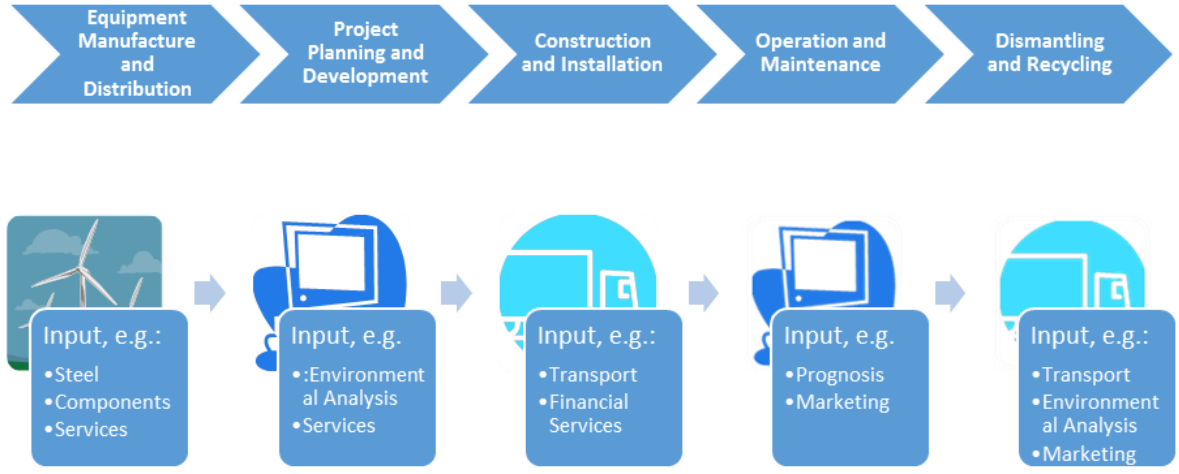
Quelle: IEA-RETD (2014)

Die erste Stufe beschreibt die Herstellung und Lieferung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, z.B. einer Windkraftanlage und ihren Verkauf. Diese Anlage wird Teil eines Wind-

parks, der geplant und ausgelegt wird, die zur Errichtung erforderlichen Genehmigungen werden eingeholt und die Finanzierung wird aufgestellt. Alle mit der Projektierung verbundenen Aktivitäten sind auf Stufe zwei der Wertschöpfungskette zu finden. Stufe drei umfasst die Errichtung des Windparks und alle Anschlussleistungen zu seiner Inbetriebnahme, Stufe vier den Betrieb selbst einschließlich der Wartung. Stufe fünf beinhaltet Rückbau, Abbau und/oder Entsorgung der Anlage, wobei hierzu aufgrund der Altersstruktur von EE-Anlagen derzeit wenig verlässliche Daten vorliegen.

Für die anderen EE-Technologien verläuft die Wertschöpfungskette ganz ähnlich, je nach Größe der Anlage sind Planung und Genehmigung oder auch Betrieb und Wartung von unterschiedlicher Bedeutung. Jede Stufe ist mit Wertschöpfungseffekten verbunden, den sogenannten Erstrundeneffekten. Jede dieser Stufen nutzt jedoch auch Materialinputs und Vorleistungen, die ihrerseits Wertschöpfungseffekte in den entsprechenden Wirtschaftszweigen auslösen, die sog. Zweitrundeneffekte. Abbildung 5 verdeutlicht dies am Beispiel der Windkraftanlage. Zur Herstellung der Anlage sind Vorleistungen wie materielle Inputs oder Komponenten erforderlich. Die Planung erfordert Dienstleistungen wie Gutachten zur Umweltwirkung, Erteilung von Genehmigungen oder die Organisation eines Bürgerbeteiligungsverfahrens. Typische Vorleistungen für die Errichtung einer Anlage kommen aus dem Wirtschaftszweig der vorbereitenden Baustellenarbeiten, dem Transport und der Baustoffindustrie. Die elektrotechnische Installation bezieht ihre eigenen spezifischen Vorleistungen. Für den Betrieb fallen wiederum eine Reihe von Dienstleistungen der Abrechnung, Buchhaltung, steuerlichen Prüfung etc. an, für die Wartung und Reparatur sind ähnlich Inputs notwendig wie bei der Errichtung und Herstellung der Anlage.

Abbildung 5: Zweitrundeneffekte am Bespiel der Windkraftanlage



Quelle: IEA-RETD (2014)

Zur Analyse der Wertschöpfung durch den Ausbau erneuerbarer Energien muss daher der inländische Anteil der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungsketten mindestens bezüglich des Erstrunden- und Zweitrundeneffektes berücksichtigt werden. Wie bereits im letzten Kapitel dargestellt, liegt mit der Input-Output-Analyse ein mögliches ökonomisches Instrument für diese Messung vor.

Hier muss der Versuch unternommen werden, die verschiedenen Wertschöpfungsstufen systematisch und konsistent verschiedenen Wirtschaftszweigen zuzuordnen oder einen eigenen Wirtschaftszweig „Windenergie“, „Solarenergie“ etc. zu definieren. Letzteres Vorgehen hat den Nachteil, dass aufwändig Informationen zu einer neuen Kostenstruktur dieser neuen Wirtschaftszweige eingeholt werden müssen und den Vorteil, dass diese Informationen dann ein detailliertes Bild der neuen Branchen zulassen. Insgesamt hat die Verbindung von technologischer Wertschöpfungskette und IO-Analyse den Vorteil, dass das komplette Instrumentarium der IO-Rechnung beispielsweise zur Beschäftigung für den Ausbau erneuerbarer Energien zu nutzen.

Zur vollständigen Integration der EE in die bestehenden IO-Tabellen ist ein IO-Zeilen- und Spaltenvektor für die EE-Branche zu bestimmen, bzw. einen solchen Zeilen- und Spaltenvektor je Technologie, wenn man der Auffassung ist, dass sich die Herstellung von Windkraftanlagen von der Herstellung von PV-Modulen strukturell unterscheidet. Ist diese Zuweisung gelungen, so lässt sich sowohl die Wertschöpfung der Branche selbst ableiten als auch die induzierte Wertschöpfung auf allen vorgelagerten Stufen.

4 WERTSCHÖPFUNG UND BESCHÄFTIGUNG DURCH ERNEUERBARE ENERGIEN – VOM EMPLOYMENT FACTOR ZUR ENTWICKLUNG EIGENER IO-STRUKTUREN

Die Untersuchung von EE-Wertschöpfungsketten in der Literatur ist getrieben von der Frage nach der Beschäftigungswirkung des Ausbaus erneuerbarer Energien. Es haben sich unterschiedliche Ansätze entwickelt, die sich im Datenaufwand, der Aktualität und der Komplexität unterscheiden. Der einfachste Ansatz ist zweifelsohne der Employment Factor Ansatz. Mithilfe dieses Ansatzes werden die **direkten** Beschäftigungseffekte von erneuerbaren Energien Anlagen geschätzt, die bspw. während der Bauphase eines Windparks entstehen. **Indirekte** Effekte, wie z.B. eine Aufstockung der Mitarbeiter in den umliegenden Hotels, in denen die Bauarbeiter übernachten, können mithilfe dieses Ansatzes nicht geschätzt werden, ebenso wenig **induzierte** Beschäftigungseffekte, die bspw. durch die Ausgaben der Löhne ausgelöst werden. Zur Schätzung dieser Effekte werden Input-Output Modellierungen herangezogen.

Rutovitz & Harris (2012) nutzen den Employment Factor Ansatz, um die globalen direkten Beschäftigungseffekte in den mit den EE Anlagen verbundenen Tätigkeiten im Bausektor, im verarbeitenden Gewerbe und in Betrieb und Wartung bis zum Jahr 2030 zu schätzen. Dabei stellen sie die Beschäftigungseffekte in einem kohlenstoffarmen Szenario (Energy-[R]evolution-Szenario) mit einem verstärkten Ausbau der EE dem business as usual Fall der Referenzprojektion des World Energy Outlooks (IEA, 2011) gegenüber.

Der Employment Factor gibt an, wie viele Beschäftigte in einem Land oder einer Region in einer Branche tätig sind, um eine Leistungseinheit einer bestimmten Technologie zu produzieren (z.B. Jobs/MW), aufzubauen oder zu betreiben. Dabei gilt: je niedriger die Arbeitskosten eines Landes, desto mehr Beschäftigte werden eingestellt, um einen bestimmten Output zu erzeugen. In Entwicklungsländern führt die zusätzliche Installation eines Windparks oder eines Solarparks zu deutlich mehr zusätzlicher Beschäftigung als in den Industrieländern. Will man die Beschäftigungswirkung des weltweiten Ausbaus erneuerbarer Energien abzuschätzen, müssen die regionalen Aspekte berücksichtigt werden. Rutovitz und Harris schätzen die globale Beschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien unter einem Szenario mit ambitioniertem Ausbau für die Jahre 2015, 2020 und 2030 auf 12,1 Mio., 12,9 Mio. und 11,9 Mio. Beschäftigte. Demgegenüber stehen 6,3 Mio., 6,2 Mio. und 5,3 Mio. Beschäftigte im Referenzszenario.

Breitschopf et al. (2012) schätzen die Beschäftigungswirkungen ab, die durch den Einsatz erneuerbarer Energien zur Stromproduktion generiert werden. U.a. bedienen sie sich dabei dem Hilfsmittel der Input-Output-Rechnung, das als in sich konsistentes Instrument die ökonomischen Wirkungen und Beschäftigungswirkungen abbilden kann. Neben den direkten Beschäftigungswirkungen auf der Ebene der jeweils nachgefragten EE-Technologie können bei der Input-Output-Modellierung auch die indirekten Beschäftigungswirkungen durch die Vorleistungsverflechtungen berücksichtigt werden. Gewissermaßen als Vorarbeit fällt bei der Berechnung der Beschäftigungswirkungen die Kostenstruktur der jeweiligen EE-Branche an. Dazu werden zunächst die Technologien und ihre jeweiligen Entwicklungsstufen unterschieden. Die anfallenden Kosten auf den jeweiligen Entwicklungsstufen (als Produkt aus installierter Leistung bzw. deren Einsatz und den jeweiligen Investitions- und Betriebskosten) werden in einem nächsten Schritt einzelnen ökonomischen Komponenten zugeordnet (z.B. Planung, Solarmodul, Wechselrichter etc.). Unter Berücksichtigung der bezogenen Importe wird die heimische Nachfrage nach den einzelnen ökonomischen Komponenten den einzelnen Industriezweigen

im Input-Output-Modell zugeordnet. Die Exportanteile der einzelnen Komponenten können ebenfalls bestimmt und ausgewiesen werden. Als Vorteile der Input-Output-Modellierung werden der in sich konsistente Betrachtungsrahmen, die Berücksichtigung von technologie-spezifischen Daten und Kostenstrukturen sowie die Berücksichtigung der Effekte durch Vorleistungsverflechtungen genannt. Ein wesentlicher Nachteil entsteht durch die vorgegebenen Wirtschaftszweige in den Input-Output-Modellen und die damit einhergehende notwendige Verteilung der betrieblichen Aktivitäten der EE-Branche auf ebendiese Wirtschaftszweige.

Lehr et al. (2015) verfolgen ebenfalls das Ziel, die Beschäftigungswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt zu analysieren. Dazu bilden sie den zusätzlichen Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Rahmen der Input-Output-Rechnung ab. Dieser Abbildung liegt neben technisch-ökonomischen Informationen und ergänzenden Informationen aus der amtlichen Input-Output-Rechnung eine Unternehmensbefragung als Datenquelle zugrunde, die für insgesamt 12 Technologien u.a. detaillierte Angaben über die Vorleistungsbezüge der einzelnen Hersteller in tiefer sektoraler Ebene, eine Aufteilung der Vorleistungsbezüge nach regionaler Herkunft und Angaben über das Produktionsprogramm der Hersteller in tiefer gütermäßiger Zusammensetzung enthält. Anhand dieser Daten kann ein Input-Output-Vektor für die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien geschätzt werden, der die Kostenstruktur differenziert nach 12 Technologien abbildet. Durch Aggregation der Technologien ergibt sich schließlich die Gesamtstruktur der EE-Branche. Die Ergebnisse der Beschäftigungswirkung von erneuerbaren Energien unterscheiden sich bei Breitschopf et al. (2012) und Lehr et al. (2015). So stellen Breitschopf et al. heraus, dass ihr Effekt bei der Beschäftigung insbesondere bei Wind und Photovoltaik höher ausfällt. Der Grund für diese Unterschiede kann bei den Eingangsdaten, dem Modellierungsansatz und den unterschiedlichen Annahmen vermutet werden. Die Unternehmensbefragung bei Lehr et al. (2015) dürfte aber zu den genaueren Daten und Ergebnissen geführt haben.

Ein ähnliches Vorgehen wie in den zuvor genannten Studien findet sich bei Nathani et al. (2012), die die wirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien im Kanton Bern untersuchen. Neben den direkten wirtschaftlichen Effekten werden auch die indirekten Effekte mit Hilfe eines volkswirtschaftlichen Impact-Modells ermittelt, das zur Gruppe der Input-Output-Modelle gehört. Analog zu Breitschopf et al. (2012) werden dazu zunächst die installierte Leistung, die Strom- und Wärmeproduktion sowie die spezifischen Investitions-, Betriebs- und Brennstoffkosten erfasst und auf Kostenkomponenten und Lieferbranchen aufgeteilt (nachfrageseitiger Ansatz). Da die einzelnen Kostenkomponenten von einer Vielzahl an anlagenspezifischen Charakteristika abhängig sind, wurden für die Studie Durchschnittswerte ermittelt. Analog zu Lehr et al. (2015) wird für einen angebotsseitigen Ansatz eine Unternehmensbefragung von Unternehmen der EE-Branche mit Schwerpunkt bei Herstellern, Zulieferern und Ausrüstern durchgeführt und mit dem nachfrageseitigen Ansatz abgeglichen. Die direkten Effekte stoßen auf den vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette indirekte Effekte an, die schließlich mit dem genannten Impact-Modell abgeschätzt werden können. Analog zu einem Input-Output-Modell bildet das Impact-Modell die Lieferverflechtungen zwischen einzelnen Wirtschaftsbranchen und zur Endnachfrage (private Haushalte, Ausland, etc.) ab. Es werden 9 Technologien unterschieden.

MED (2012) untersucht die Potenziale und Möglichkeiten eines verstärkten Ausbaus der erneuerbaren Energien im südlichen und östlichen Mittelmeerraum. Zur Entscheidungsfindung

wird ein Tool programmiert, mit dessen Hilfe die Wirtschaftlichkeit von Projekten zur Installation von Erzeugungsanlagen zur Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien abgeschätzt werden kann. Die Evaluierung des Tools erfolgt anhand der Länder Ägypten, Jordanien, Marokko und Tunesien. Im ersten Schritt der Untersuchung werden die Kosten und der Nutzen von neu installierten EE-Anlagen im Strommarkt gegenübergestellt. Die anfallenden Kosten bestehen zum einen aus den Kosten für den Netzanschluss bzw. für die Ertüchtigung der vorhandenen Netzinfrastruktur. Je nach Standort der möglichen neuen EE-Anlagen z.B. in Wüstenregionen fallen die Kosten entsprechend höher aus als bei Installation der Anlagen in der Nähe von Ballungszentren. Auch die Kosten für die Installation neuer Back-up-Kraftwerke müssen berücksichtigt werden. Zum anderen wird die Wirkung neuer EE-Anlagen auf die Erzeugungskosten im Markt analysiert sowie deren Einfluss auf die Systemsicherheit bewertet. Standortabhängig sorgt das Dargebot an Wind und Sonne für unterschiedlich hohe Einspeisungsmengen an Strom aus erneuerbaren Energien und somit zu unterschiedlich hohem Bedarf an Einsatzzeiten für konventionelle Kraftwerke und Speicher. Im zweiten Schritt der Untersuchung werden die makroökonomischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der erneuerbaren Energien analysiert. Ähnlich wie bei Breitschopf et al. (2012) und Lehr et al. (2015) stehen hier u.a. die direkten und indirekten Wirkungen der erneuerbaren Energien auf die Wertschöpfung und den Außenhandel sowie auf die Beschäftigung im Fokus der Analyse. Dazu werden Indikatoren gebildet (z.B. induzierte Beschäftigte pro Jahr, generierte Wertschöpfung pro Jahr) und auf die einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette (Planung, Bau, Betrieb) umgerechnet. Zur Bestimmung der Wirkungen der EE-Anlagen auf Industrie und Wertschöpfung auf lokaler Ebene werden Grenzwerte für eine lokale Produktion von Vorleistungen für EE-Anlangen von Gazzo et al. (2010) verwendet, die dort im Rahmen einer Analyse der lokalen Wertschöpfungseffekte von CSP-Anlagen in den MENA-Staaten entwickelt wurden. Für die betrachteten Länder des südlichen und östlichen Mittelmeerraums wird schließlich analysiert, welche Industrien aktuell angesiedelt sind und welche Teile der Wertschöpfungskette lokal produziert werden können. Daraus können die einzelnen Indikatoren und somit die induzierten Wirkungen berechnet werden. Im dritten Teil der Untersuchung wird schließlich das Tool zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in EE-Anlagen vorgestellt und angewendet. Das Tool soll die Unsicherheit bei Investitionen in EE-Anlagen reduzieren und die Wirkungen der zu erwartenden Änderungen und Anpassungen im Markt auf finanzieller Ebene beziffern.

Gazzo et al. (2010) untersuchen die Potentiale und ökonomischen Folgen einer lokalen Produktion von CSP-Anlagen in den MENA-Staaten und geben eine Einschätzung, welche Teile der CSP-Wertschöpfungskette tatsächlich lokal in den einzelnen Staaten produziert werden können. Der Fokus der Analyse liegt dabei auf den Produktionsbereichen Herstellung von Glas und Glaswaren, Herstellung von Metallerzeugnissen und Herstellung von Geräten zur Elektrizitätserzeugung und -verteilung sowie Installation, Betrieb und Wartung der CSP-Anlagen. Während es in der Vergangenheit in den geografisch nah zu Europa gelegenen MENA-Ländern hauptsächlich aufgrund von günstigen Lohn- und Energiekosten zur Produktion von Vorleistungen für den Export kam, befindet sich die Industrie in einem Umbruch hin zu technologisch anspruchsvollen Produkten wie eben CSP-Anlagen, die ein großes Maß an internationalen Kooperationen erforderlich macht. Mit einem Förderprogramm der Weltbank und der African Development Bank sollen die MENA-Staaten zu einem der größten Lieferanten und Nutzer von CSP-Anlagen werden. Die lokale Produktion der Komponenten in den MENA-Staaten wurde in einer kleinen Größenordnung bereits angefahren und Arbeitskräfte entsprechend geschult; Experteninterviews haben gezeigt, dass für den Ausbau der lokalen Produktion von

Komponenten und die Errichtung von CSP-Anlagen in Zukunft ein großes Potenzial besteht. Notwendige Voraussetzungen für die Hebung der Potenziale sind ein verstärkter Technologie-Transfer, die Schulung von Arbeitskräften, die Errichtung neuer Produktionskapazitäten und dafür die Schaffung finanzieller Investitionsanreize, die Verbesserung von Qualitätsstandards und die Schaffung regulatorischer Standards. Zur Abschätzung der lokalen Wertschöpfung, der ökonomischen Wirkungen, der Beschäftigungswirkungen und der Wirkungen auf den Außenhandel durch die lokale Herstellung von CSP-Anlagen wird in der Studie ein Modell verwendet. In Abgrenzung zu den zuvor genannten Studien verwenden Gazzo et al. kein Input-Output-Modell. Die Datenverfügbarkeit bei makroökonomischen Größen und Größen zur Solarbranche ist für die Länder Nordafrikas nicht ausreichend gegeben. Stattdessen wird ein Bottom-up-Modellansatz verwendet, der für die einzelnen Komponenten und Dienstleistungen der CSP-Wertschöpfungskette die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für verschiedene Szenarien berechnet. Dazu wird hilfsweise eine CSP-Anlage mit fester Kostenstruktur und festem Kostenreduktionspotenzial als Referenz verwendet. Je nach Szenario werden unterschiedliche Marktgrößen für den Ausbau mit CSP-Analgen in den MENA-Staaten und weitere Exportmöglichkeiten unterstellt, mit deren Hilfe und mit den anteiligen Investitionskosten und Beschäftigten der Referenzanlage entlang der Wertschöpfungskette die (direkten) induzierten Effekte auf lokaler Ebene identifiziert werden können. Durch das Fehlen der Input-Output-Tabellen bei der Berechnung können die indirekten Effekte nicht berücksichtigt werden.

Die vorausgegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass sich die EE-Branche am besten in einer Querschnittsbetrachtung verstehen lässt. Die Übertragung von Strukturen z.B. nur aus dem Maschinenbau greift zu kurz. Dabei treten die Unterschiede nicht nur bezüglich der Wertschöpfung und der Arbeitskoeffizienten auf, sondern natürlich auch in den spiegelbildlichen Inputstrukturen. Diese induzieren auf der nächsten Ebene, nämlich bei ihrer Herstellung wiederum Wertschöpfung, sodass sich die gesamte Wertschöpfung durch den Ausbau erneuerbarer Energien aus der Summe entlang der sogenannten Wertschöpfungskette ergibt, die im folgenden Abschnitt näher beleuchtet wird.

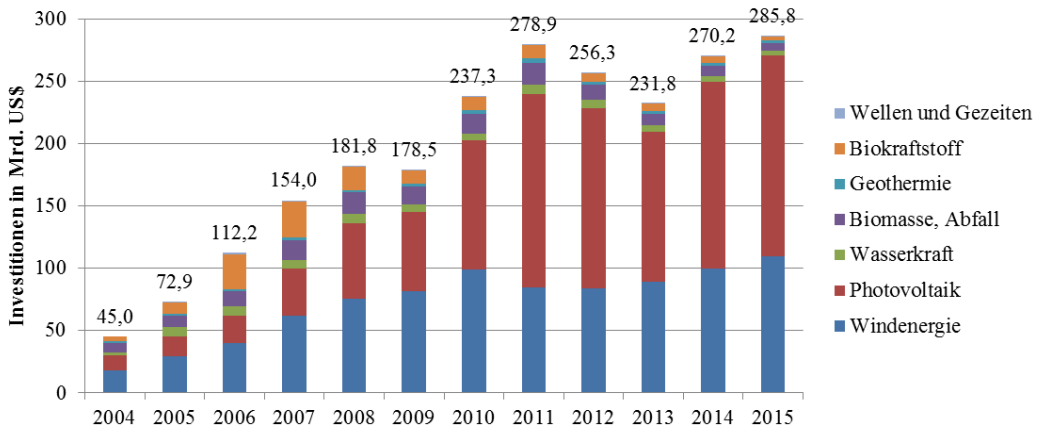
Nach den zunehmenden Erfolgen deutscher Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in den ersten Jahren des Ausbaus erneuerbare Energien im neuen Millennium sieht sich die Industrie seit ungefähr drei Jahren stark veränderten Marktbedingungen gegenüber. Letztlich stellt sich somit die Frage, inwieweit die zunehmende Globalisierung von Wertschöpfungsketten Chancen und Risiken für die deutschen EE-Unternehmen bietet. Hierfür wird im Folgenden ausführlich auf die Wertschöpfungsketten von verschiedenen EE-Technologien eingegangen unter besonderer Berücksichtigung des weltweiten Ausbaus und der Weltmärkte für die Produkte der jeweiligen Wertschöpfungsstufe.

5 DIE WELTWEITE WERTSCHÖPFUNGSKETTE BEI ERNEUERBAREN ENERGIEN

5.1 DER GLOBALE AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEN BIS HEUTE

Bevor im Folgenden die Wertschöpfungsketten der verschiedenen Technologien an erneuerbaren Energien für Deutschland detailliert dargestellt werden, wird zur Einordnung zunächst ein kurzer Überblick über die globalen Entwicklungen auf den einzelnen Märkten gegeben. Während sich die Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken (Kohle, Gas) bereits seit Jahrzehnten weltweit etabliert hat und sich die Technik verbessert hat, hat sich die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erst in der nahen Vergangenheit entwickelt und durch eine wachsende Nachfrage nach den Technologien weltweit neue Industriezweige und Branchen entstehen lassen. Abbildung 6 verdeutlicht die getätigten Investitionen in erneuerbare Energien für die vergangenen zehn Jahre. Mit Ausnahme des Jahres 2009, in dem es bedingt durch die Wirtschaftskrise zu einem leichten Rückgang der Investitionen gekommen ist, sind die Investitionen in erneuerbare Energien seit 2004 von ca. 40 Mrd. US$ auf ca. 280 Mrd. US$ im Jahr 2011 gestiegen. In den Jahren 2012 und 2013 sind die Investitionen leicht rückläufig, 2014 sind sie jedoch wieder deutlich angestiegen. Der größte Anteil der Investitionen ist dabei in die Technologien Windenergie und Photovoltaik geflossen.

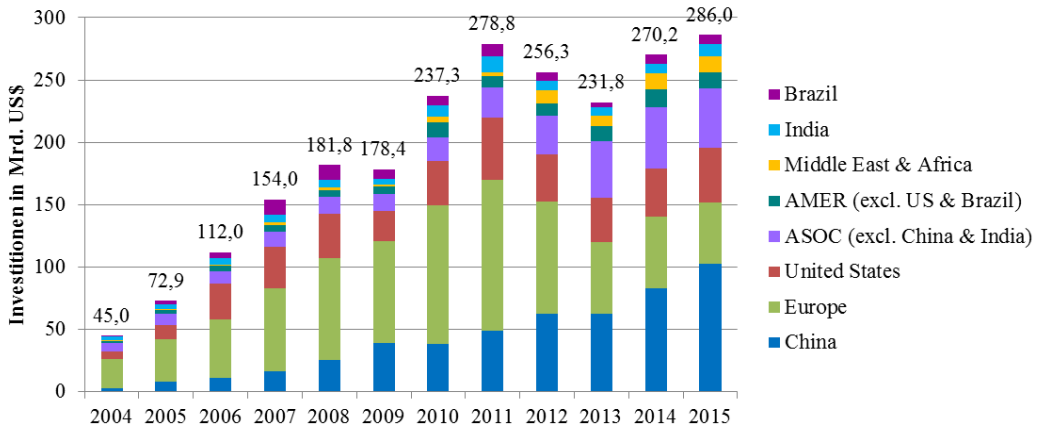
Abbildung 6: Investitionen in erneuerbare Energien nach Technologie in Mrd. US$



Quelle: Bloomberg (2015)

Auch die regionale Differenzierung der Investitionen zeigt deutlich, dass sich einige wenige Länder bzw. Regionen für einen Großteil der Investitionen verantwortlich zeigen. Insbesondere Europa hat in den frühen Entwicklungsstadien der erneuerbaren Energien die Vorreiterrolle bei den Investitionstätigkeiten übernommen. Die USA sind erst etwas später und mit geringerer Investitionshöhe dazu übergegangen, in erneuerbare Energien zu investieren. Einen besonders deutlichen Anstieg der Investitionstätigkeit lässt sich bei China erkennen. Im Jahr 2014 hat China mit einem Anteil von über 30 % zu den weltweiten Investitionen in erneuerbare Energien beigetragen und war somit der größte Investor. In Europa trägt insbesondere Deutschland zu den hohen Investitionen in erneuerbare Energien bei, was in den vergangenen Jahren zu einem starken Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland geführt hat.

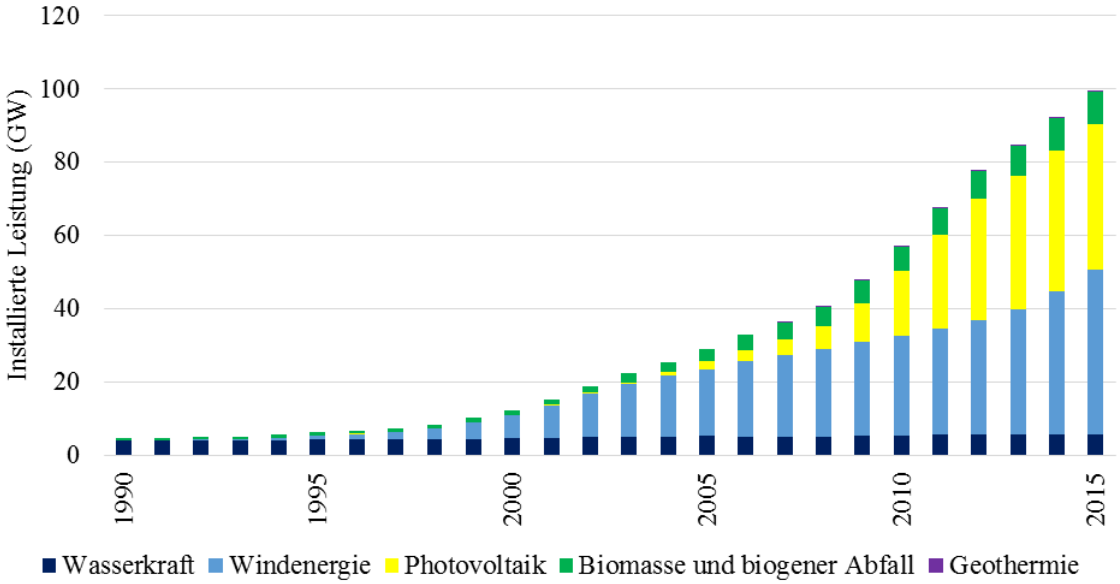
Abbildung 7: Investitionen in erneuerbare Energien nach Ländern/Regionen in Mrd. US$



Quelle: Bloomberg (2015)

Die installierte Leistung zur Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien ist in Deutschland seit 1990 angewachsen (vgl. Abbildung 8). Während im Jahr 1990 nur Wasserkraft als erneuerbare Technologie installiert war, hat sich in den Folgejahren insbesondere die Windkraft etabliert. Photovoltaik wurde erst mit etwas Verzögerung in Deutschland installiert, kann jedoch jährlich den höchsten Zuwachs verzeichnen und hatte im Jahr 2014 schließlich einen Anteil von über 40 % an der Summe der EE-Leistung.

Abbildung 8: Installierte Leistung zur Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2014



Quelle: BMWi (2015)

Im Jahr 2014 haben die erneuerbaren Energien mit einem Anteil am Bruttostromverbrauch von 27,4 % einen großen Beitrag zur Strombereitstellung in Deutschland geleistet. Beim Wärmeverbrauch hatten die erneuerbaren Energien im Jahr 2014 einen Anteil von 12,2 %.

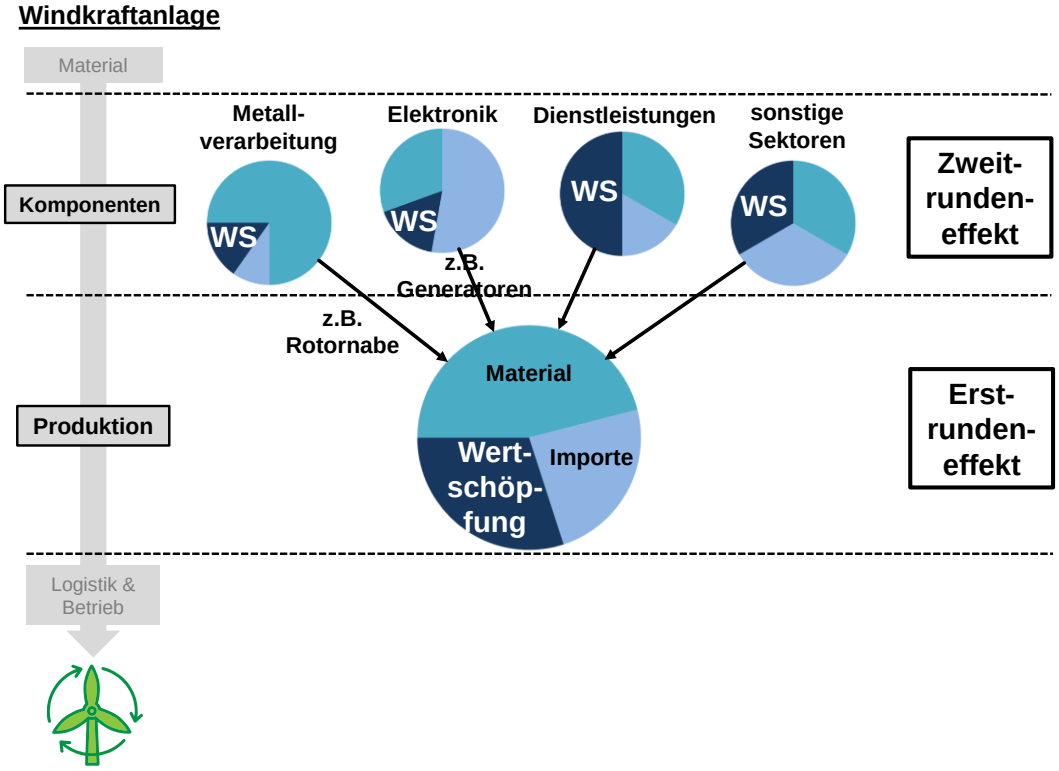
Im Folgenden werden die Wertschöpfungsketten für die einzelnen Technologien der erneuerbaren Energien detailliert dargestellt und erläutert. Bei der Analyse einer Wertschöpfungskette werden sämtliche Stufen betrachtet, von den benötigten Vorleistungen zur Fertigung einzelner

Komponenten bis hin zur Installation, Wartung und schließlich der späteren Demontage der einzelnen Anlage. Neben der reinen Herstellung der physischen Komponenten spielen begleitende Dienstleistungen sowie die zu leistende Ausbildung der benötigten Facharbeiter eine wichtige Rolle. Je nach Entwicklungsstufe der einzelnen angesprochenen Branchen kann durch die heimische Produktion der Komponenten bzw. durch den Abruf heimischer Dienstleistungen Wertschöpfung im eigenen Land generiert werden.

5.2 WINDENERGIE: WERTSCHÖPFUNGSKETTE UND MARKTSTRUKTUR

Für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland ist derzeit die Windenergie, sowohl an Land als auch auf See von besonderer Bedeutung. Ende 2014 waren über 38 GW Windenergieleistung in Deutschland installiert.

Abbildung 9: Erst- und Zweitrundeneffekte bei der Produktion einer Windkraftanlage



Quelle: IEA-RETD (2014), eigene Übersetzung.

Zur Herstellung einer Windkraftanlage werden diverse Vorleistungen aus verschiedenen Branchen benötigt. Zu nennen sind insbesondere die Metallverarbeitung und Stahlerzeugung (z.B. Rotornabe, Turmelemente), die Herstellung von elektronischen Baugruppen (z.B. Generator), der Maschinenbau, aber auch Transportdienstleistungen (z.B. Transport der Rotornaben, Kranarbeiten) nehmen einen großen Anteil an der Produktion einer Windkraftanlage ein.

Zusätzlich zu den heimischen Vorleistungen und Dienstleistungen können auch importierte Waren und Dienstleistungen (Importe) Eingang in den Produktionsprozess finden. Neben der Wertschöpfung, die unmittelbar auf der ersten Stufe bei der Produktion der Windkraftanlage generiert wird, wird auch in den vorgelagerten Branchen durch die Nachfrage der diversen Vorleistungen und Dienstleistungen zusätzliche Wertschöpfung angestoßen (Zweitrundenef-

fekt). Unter anderem enthält z.B. die Wertschöpfung auf der ersten Stufe die Arbeitseinkommen der Erwerbstätigen, die in der Produktion der Windkraftanlagen beschäftigt sind. Das folgende Zahlenbeispiel von IEA-RETD (2014) für Windkraftanlagen in Deutschland verdeutlicht für die beteiligten Branchen, dass die durch die Windkraft induzierte zusätzliche Wertschöpfung in den einzelnen Branchen teilweise beträchtlich ausfallen kann.

Ein Produktionsoutput an Windkraftanlagen im Wert von 1 Mrd. € führt in Deutschland zu einer direkten Wertschöpfung in Höhe von 300 Mio. €. Für die Herstellung der Windkraftanlagen werden heimische Vorleistungen im Wert von 460 Mio. € nachgefragt und Importe im Wert von 240 Mio. €. Die in der Wertschöpfung enthaltenen Löhne und Gewinne werden teilweise im Inland ausgegeben und erhöhen so den inländischen Konsum. Je nach nachgefragter Menge an Vorleistungen und Art der Vorleistungsbranche (Produzierendes Gewerbe, Dienstleistungen) kommt es in den vorgelagerten Sektoren zu weiterer Wertschöpfung. Die in Abbildung 9 dargestellten Vorleistungsbrachen sind die wichtigsten Input-Lieferanten bei der Produktion von Windkraftanlagen. Als Zweitrundeneffekt kommt es so in der Metallindustrie zu einer Nachfrage nach Vorleistungen in Höhe von 74 Mio. €, im Bereich der Elektronik/elektronischen Baugruppen in Höhe von 88 Mio. €, beim Maschinenbau in Höhe von 57 Mio. € und bei den industriellen Dienstleistungen in Höhe von 61 Mio. €. Unter Zuhilfenahme der jeweiligen Wertschöpfungsquoten der einzelnen Branchen ergibt sich als Zweitrundeneffekt insgesamt eine zusätzlich generierte Wertschöpfung in Höhe von 114 Mio. €. Die Vorleistungslieferanten fragen wiederum für ihre Produktion eigene Vorleistungen auf einer weiter erhöhten Stufe nach, sodass sich auch hier weitere Effekte in der Wertschöpfung und Beschäftigung identifizieren ließen. Allein der Zweitrundeneffekt bei der Wertschöpfung beträgt mit 114 Mio. € rund ein Drittel der Wertschöpfung der ersten Runde.

Eine Windkraftanlage ist eine technisch anspruchsvolle Konstruktion, die aus bis zu 8000 einzelnen Komponenten gefertigt wird. Die Planung und Entwicklung eines Windenergie-Projekts ist daher eine Aufgabe, die hochqualifizierte Mitarbeiter erfordert. Neben der Planungsseite muss auch auf der Seite der genehmigenden Behörden hochqualifiziertes Personal vorhanden sein, um die geplanten Projekte zu begutachten und die notwendigen Genehmigungen zu erteilen. Mit zunehmender Anzahl an Projekten und steigender Anzahl an hochqualifiziertem Personal kann ein Expertenwissen im Inland aufgebaut werden, dass durch die heimische Produktion und durch die Ausführung von Aufträgen für das Ausland für Wertschöpfung im Inland sorgen kann.

Für den Turm einer Windkraftanlage muss zunächst ein passendes Fundament gegossen bzw. errichtet werden. Der Turm an sich ist eine Rohrkonstruktion aus Stahl (bzw. Beton) und muss neben dem Gewicht der Gondel und Rotorblätter den Kräften des Windes standhalten. Je nach Typ und Lage der Anlage können die Türme eine Höhe zwischen 50 und 160 Metern erreichen. Die Konstruktion besteht aus 100 - 200 Tonnen Stahl, die in mehreren Teilen gebaut und geliefert wird. Die neben dem Turm ebenfalls deutlich zu erkennenden Komponenten einer Windkraftanlage sind die Rotorblätter. Sie bestehen aus glas- und kohlefaserverstärkten Verbundstoffen. Jedes Rotorblatt hat eine Länge von 30 - 55 Meter und wiegt mehrere 10 Tonnen. Durch die spezielle Form der Rotorblätter erzeugt der Wind Auftriebskräfte, die den Rotor in Bewegung setzen und mit Hilfe des Generators Strom erzeugen. Die Aufnahme für die Rotorblätter an der Nabe stellt die Verbindung zwischen Rotorblättern und Turm her. Die Gondel enthält die mechanischen und elektrischen Komponenten, um aus der Energie des Windes elektrischen Strom zu produzieren. Um mit der geringen Drehzahl des Rotors Strom erzeugen zu können, wird die Drehzahl mit Hilfe eines Getriebes auf eine höhere Drehzahl

übersetzt und damit der Generator betrieben. Die Haupt-Antriebswelle besteht aus Stahl und hat ein Gewicht von 15 – 25 Tonnen. Das Getriebe ist eines der schwersten und teuersten Komponenten einer Windkraftanlage. Eine Kupplung und eine Bremse sind ebenfalls erforderlich (AWEA 2011). Der Generator bildet den Kern der elektrischen Anlage: er wandelt die mechanische Energie in elektrische Energie um. Zusätzlich können Wechselrichter, Transformatoren und weitere elektronische Bauteile notwendig sein. Zur optimalen Ausrichtung der einzelnen Rotorblätter und der gesamten Gondel zum Wind besitzen Windkraftanlagen jeweils Antriebsmotoren, welche zur Drehung eingesetzt werden können. Als wichtige Komponente wird ein Kontrollsystem installiert. Mit dessen Hilfe kann ein optimaler Betrieb der Windkraftanlage realisiert werden und evtl. auftretende Probleme im Betrieb können frühzeitig erkannt werden. Die für die Herstellung benötigten Vorleistungen verteilen sich insbesondere auf Gütergruppen der Branchen Metallerzeugnisse, elektrische Ausrüstungen, Maschinenbau und Gummi- und Kunststoffwaren.

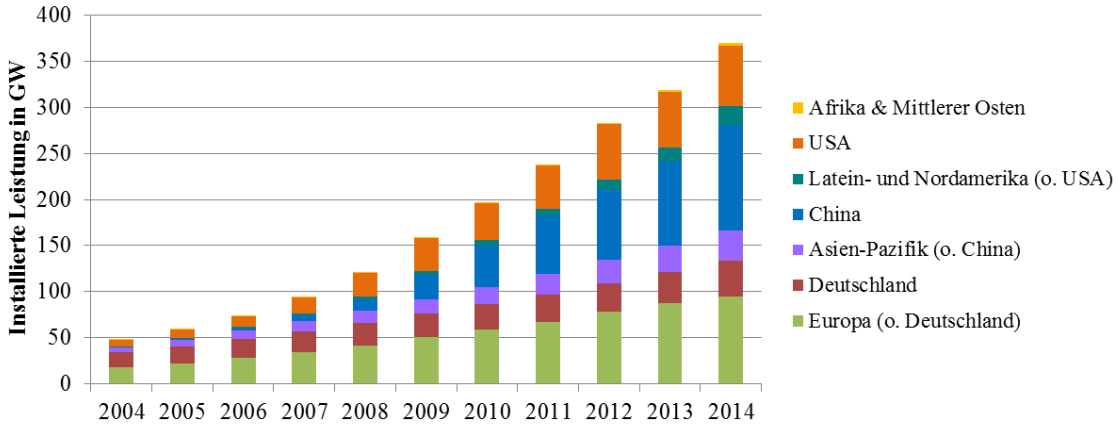
Die Installation einer Windkraftanlage stellt eine hohe transporttechnische Herausforderung dar. Im Gegensatz zu Photovoltaikanlagen, die aus leicht zu transportierenden Solarmodulen bestehen, sind für den Transport und den Aufbau der einzelnen Komponenten einer Windkraftanlage (Turmelemente, Rotorblätter) Schwerlasttransporter und -kräne bzw. Schiffe notwendig, sodass hierdurch eine lokale Nachfrage nach Transportdienstleistungen generiert wird. Da die Installation der Windkraftanlagen in ländlichen Regionen unter Einhaltung von Mindestabständen zur Wohnbebauung stattfindet, kann für den Transport eine Ertüchtigung bzw. ein Ausbau vorhandener Straßeninfrastruktur notwendig werden. Auch die Fundamentarbeiten für den sicheren Stand der Windkraftanlagen müssen erledigt werden. Für den späteren Anschluss muss eine entsprechende Stromleitung gelegt werden. Bei Ausführung der Arbeiten von lokalen Anbietern wird durch diese Tätigkeiten heimische Wertschöpfung generiert. Für den Anschluss der Windkraftanlage an das Stromnetz muss mit dem jeweils zuständigen Netzbetreiber der Zugang geplant und verhandelt werden. Je nach Größe des entstehenden Windparks kann eine Ertüchtigung bzw. eine Erweiterung des Stromnetzes erforderlich werden.

Damit die Windkraftanlagen Strom produzieren können und eine hohe Verfügbarkeit aufweisen, ist der Betrieb und die Wartung der Anlagen sicherzustellen. Störungen im Betrieb müssen schnell behoben werden und die Einsatzbereitschaft muss in Abhängigkeit vom Dargebot des Windes gewährleistet sein. Häufig wird mit der Herstellerfirma der Windkraftanlagen gleichzeitig auch ein Wartungsvertrag über mehrere Jahre bzw. über die Lebensdauer der Windkraftanlage (20 Jahre und mehr) abgeschlossen. Um ein schnelles Eingreifen in Störungsfällen sicherstellen zu können, müssen die mit der Wartung beauftragten Unternehmen lokal vor Ort ansässig sein, wodurch lokale Wertschöpfung generiert wird.

Bei der Standortwahl für Windkraftanlagen muss zwischen Onshore- und Offshore-Windenergie unterschieden werden. Während die Windkraftanlagen optisch nahezu identisch aussehen, handelt es sich dennoch um zwei unterschiedliche Märkte. Die Onshore-Windenergie wird in Deutschland schon seit über 20 Jahren genutzt (vgl. Abbildung 8). Offshore-Windenergie befindet sich aktuell in Deutschland noch in einer Anfangsphase. Die fertiggestellten und einspeisenden Offshore-Windenergieanlagen haben Stand Ende Jahr 2014 mit ca. 1050 MW installierter Leistung die GW-Marke knapp überschritten, was im Vergleich zur Onshore-Windenergie vernachlässigbar gering ist. Andere europäische Länder wie z.B. Großbritannien haben bereits deutlich größere Offshore-Windleistungen vorzuweisen. Den Vorteilen der Offshore-Windenergie wie höherer Stromertrag und geringere Bürgerproteste gegen die Errichtung der

Windkraftanlagen im Meer stehen auf der anderen Seite höhere Investitions- und Netzkosten gegenüber.

Abbildung 10: Weltweit kumulierte installierte Wind-Leistung in GW



Quelle: Global Wind Energy Council

Abbildung 10 verdeutlicht die weltweite Entwicklung bei der installierten Wind-Leistung. Insbesondere Deutschland hat bereits früh mit der Installation von Windkraftanlagen zu Land begonnen. Im Jahr 2004 zeichnete sich Europa für knapp 75 % der weltweit installierten Wind-Leistung verantwortlich, wovon auf Deutschland knapp 35 % entfielen. Weitere bedeutende europäische Länder für die Installation von Windkraftanlagen waren Frankreich, Portugal, Italien, Niederlande und Großbritannien. Auch auf den nicht-europäischen Märkten haben sich in den vergangenen zehn Jahren rasante Entwicklungen vollzogen. Insbesondere die USA und China wiesen hohe Wachstumsraten auf. Jedoch konnte nur China das Wachstum dauerhaft auf einem hohen Niveau halten. In den letzten zehn Jahren ist die Wind-Leistung weltweit insgesamt von ca. 50 GW im Jahr 2004 auf knapp 370 GW im Jahr 2014 angestiegen, was einer jährlichen durchschnittlichen Wachstumsrate von 22,7 % entspricht.

Aktuell ist China der Spitzenreiter bei der installierten Wind-Leistung. In den vergangenen zehn Jahren hat China seine Windenergie kontinuierlich weiter ausgebaut, sodass im Jahr 2014 insgesamt eine Wind-Leistung von über 114 GW installiert war. Dies entspricht einem Anteil von 31 % an der im Jahr 2014 weltweit installierten Wind-Leistung. Während die Neu-Installationen in den Jahren 2011 und 2012 erstmals leicht rückläufig waren, sind diese im Jahr 2013 und deutlich im Jahr 2014 wieder angestiegen. Der chinesische Wind-Markt wird durch wenige chinesische Unternehmen dominiert. Im Jahr 2014 hatten die zehn größten chinesischen Hersteller von Windkraftanlagen einen Marktanteil von ca. 80 %. Im Jahr 2013 konnte China sein Exportgeschäft mit Windkraftanlagen weiter ausbauen und insgesamt eine Leistung von 692 MW in 17 Länder exportieren. Dies entspricht einer Größenordnung von 4 % im Vergleich zur heimisch neu installierten Leistung in 2013.

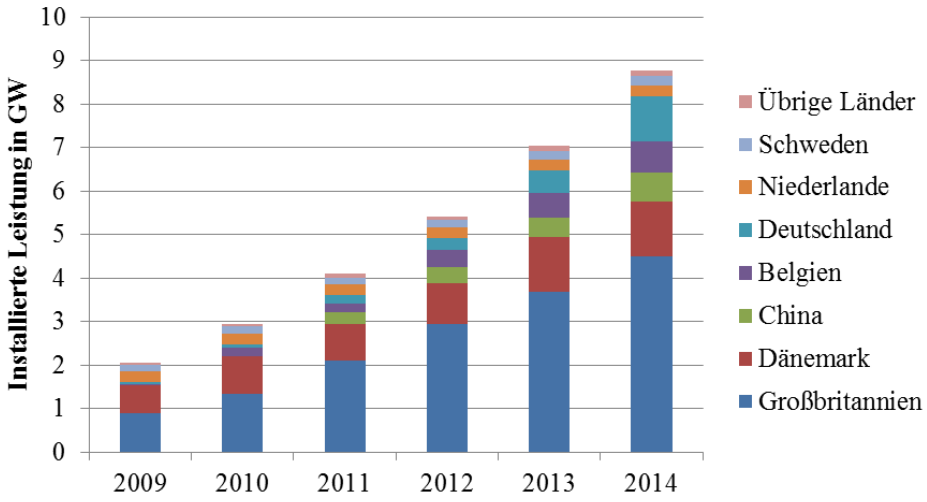
In Europa ist Deutschland weiterhin der Spitzenreiter bei der installierten Wind-Leistung. Ende 2014 waren in Deutschland ca. 39 GW Wind-Leistung installiert. Weitere europäische Länder mit einer hohen installierten Wind-Leistung sind Spanien (ca. 23 GW Ende 2014) und Großbritannien (ca. 12,4 GW Ende 2014). Insgesamt betrug die in Europa installierte Wind-Leistung Ende 2014 ca. 134 GW.

Die USA sind nach China das Land mit der zweithöchsten installierten Wind-Leistung. Ende 2014 betrug die installierte Wind-Leistung der USA ca. 66 GW. Im Jahr 2013 ist die Zahl der

Neuinstallationen in den USA jedoch deutlich eingebrochen. Die neu installierte Wind-Leistung ist im Jahr 2013 auf nur noch knapp über 1 GW abgesunken, während diese im Jahr 2012 noch ca. 13 GW betrug. Grund hierfür war der Wegfall von Steuerbegünstigungen für Windparks. In 2014 betrugen die Neuinstallationen jedoch wieder knapp 5 GW.

Neben der Onshore-Windenergie hat sich in den letzten Jahren die Offshore-Windkraft kontinuierlich weiterentwickelt. Da gute Standorte für Windkraftanlagen an Land aufgrund ihrer exponierten Lage bereits häufig schon genutzt werden, wurden weitere Alternativen gesucht. Neben der Möglichkeit des Repowerings, bei dem alte Windkraftanlagen teilweise oder vollständig gegen neue Anlagen ausgetauscht werden, hat sich die Möglichkeit der Installation von Windkraftanlagen im Meer heute etabliert. Dennoch sind die bereits installierten Offshore-Leistungen noch nicht annähernd in einer Größenordnung wie die Onshore-Leistung. Ende des Jahres 2014 waren weltweit ca. 8,7 GW Offshore-Leistung installiert.

Abbildung 11: Weltweit installierte Offshore-Wind-Leistung in GW



Quelle: Global Wind Energy Council

Europa hat bei der installierten Offshore-Leistung mit deutlichem Abstand die größten Anteile. Insbesondere vor der Küste von Großbritannien befinden sich zahlreiche Windparks, die im Jahr 2014 mit einer Leistung von über 4,4 GW einen Anteil an der weltweiten Offshore-Wind-Leistung von über 50 % ausmachten. Die weiteren bedeutenden europäischen Offshore-Produzenten sind Dänemark (15 %), Belgien (8 %), Deutschland (12 %), Niederlande (3 %) und Schweden (2 %). Als einziges nicht-europäisches Land unter den Top-7-Ländern hatte China im Jahr 2014 mit einer installierten Offshore-Leistung von ca. 0,65 GW einen Marktanteil von 8 %.

Weltweit wurde im Jahr 2014 eine Wind-Leistung von über 50 GW neu installiert. Der VDMA prognostiziert auch für die kommenden Jahre stabile Zuwachsraten bei der Windenergie von jährlich über 10 GW für Europa und Nordamerika, für Asien wird mit einem leicht wachsenden Zubau in Höhe von jährlich 20 GW gerechnet. Auf den wachsenden Märkten in Südamerika und Afrika wird ebenfalls mit einem steigenden Niveau gerechnet. Bis zum Jahr 2020 wird ein Anstieg der weltweit installierten Wind-Leistung auf bis zu 700 GW vorhergesagt, was einer Verdoppelung der Leistung im Vergleich zum Jahr 2013 entspricht.

In Deutschland wurden laut Global Wind Energy Council im Jahr 2014 ca. 5 GW Windleistung neu installiert. Die Anzahl der Windenergieanlagen ist auf über 24.800 angestiegen. Neben

der Errichtung von neuen Windkraftanlagen an Land werden auch zunehmend neue Windkraftanlagen auf dem Meer sowie Ersatzanlagen im Zuge des Repowerings installiert.

Von besonderer Bedeutung für die deutsche Windindustrie sind die Entwicklungen bei der Offshore-Windenergie. Ende des Jahres 2014 waren in Deutschland laut VDMA 258 Offshore-Windkraftanlagen mit einer Leistung von ca. 1050 MW am Netz. Allein im Jahr 2014 sind ca. 142 Anlagen mit einer Leistung von über 500 MW neu ans Netz gegangen. Dies entspricht einem Investitionsvolumen von 4 Mrd. €. Weitere 285 Anlagen mit einer Leistung von über 1300 MW sind bereits fertig errichtet und warten auf den Netzanschluss. Auch 220 Fundamente wurden bereits fertig errichtet. Bis zum Ende des Jahres 2015 schätzt der VDMA die Investitionen in Offshore-Windenergie in Deutschland auf ca. 10 Mrd. €. Neben den Aktivitäten auf dem heimischen Markt haben deutsche Hersteller von Turbinen, Fundamenten und Netztechnik laut VDMA auch im Ausland Geschäfte in Milliarden-Höhe getätigt. Auch in Zukunft wird das Auslandsgeschäft eine tragende Säule für die deutschen Hersteller sein.

Deutschland ist seit jeher weltweit führend bei der Entwicklung von neuen Technologien für Windkraftanlagen. Diese Technologieführerschaft erstreckt sich über sämtliche Ebenen der Wertschöpfungskette und sorgt dafür, dass deutsche Komponenten und Windkraftanlagen auch im Ausland stark nachgefragt werden. Die deutsche Windindustrie hat weltweit Absatzmärkte. Der VDMA listet Großbritannien (1883 MW), Polen (894 MW), Rumänien (695 MW), Schweden (724 MW) und Türkei (646 MW) als die wichtigsten europäischen Exportländer im Jahr 2013 auf. International waren im amerikanischen Raum Kanada (1599 MW), USA (1084 MW) und Brasilien (953 MW) als Exportländer von Bedeutung. Im asiatischen Raum gingen die meisten Exporte nach China (16088 MW) und Indien (1729 MW). Das Volumen der Exporte lag im Jahr 2012 bei ca. 4,25 Mrd. € (2011: 3,9 Mrd. €), was einer Exportrate von 67 % entspricht (2011: 66 %). Die Exportraten von über 60 % verdeutlichen, dass die heimische Produktion sowohl auf eine starke Inlandsnachfrage als auch auf Exportmöglichkeiten angewiesen ist, um eine Produktion in Deutschland auch in Zukunft aufrecht erhalten zu können (VDMA 2014).

5.3 PHOTOVOLTAIK: WERTSCHÖPFUNGSKETTE UND MARKTSTRUKTUR

Auch bei den Anlagen zur Stromerzeugung aus Photovoltaik können die Erst- und Zweitrundeneffekte beobachtet und analysiert werden. Die unterschiedlichen technischen Ausrichtungen von Windkraft- und Photovoltaikanlagen sorgen dafür, dass sich die einzelnen benötigten Komponenten und Dienstleistungen unterscheiden und somit jeweils unterschiedliche Vorleistungen nachgefragt werden. Die wesentlichen technischen Komponenten einer PV-Anlage sind das Solarmodul und der Wechselrichter. Die Solarmodule bestehen aus einzelnen in Reihe geschalteten Solarzellen, die das Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Es können verschiedene Bauformen der Solarzellen unterschieden werden. Um die in den Solarmodulen umgewandelte elektrische Energie in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen, bedarf es der sog. Wechselrichter, die den Gleichstrom der Solarmodule in Wechselstrom umrichten. Neben diesen beiden Hauptkomponenten bedarf es bei der Installation einer PV-Anlage diverser kleinerer Komponenten, z.B. für die Montage und den Anschluss der einzelnen Solarmodule.

Zur Herstellung der Solarmodule und Wechselrichter werden jeweils Vorleistungen benötigt. Während bei Windkraftanlagen u.a. das metallverarbeitende Gewerbe, die industriellen

Dienstleistungen, die Transportdienstleistungen und die elektronischen Bauteile die wesentlichen Kostentreiber waren, sind diese bei der Produktion von PV-Anlagen insbesondere bei den elektronischen Bauteilen und Produkten sowie Chemikalien zu finden. Auch die Installation der PV-Anlagen verlangt im Vergleich zu den Windkraftanlagen einen erhöhten Arbeitsaufwand. Demgegenüber fällt z.B. die hohe Nachfrage nach Transportdienstleistungen, die zur Errichtung der Windkraftanlagen nötig ist, bei der Installation von PV-Anlagen nicht ins Gewicht. Entlang der Wertschöpfungskette wird so insbesondere bei der Planung, der Produktion und der Installation von PV-Anlagen Wertschöpfung auf den verschiedenen Stufen generiert.

Insbesondere bei der Herstellung der Solarmodule hat sich in der Vergangenheit geografisch ein starker Wandel vollzogen, der die Preise für PV-Module drastisch hat sinken lassen. Die Produktion von Solarmodulen und die Installation von PV-Anlagen in den asiatischen Ländern (China, Japan, Thailand, Südkorea, Malaysia) hat in der nahen Vergangenheit ein rasantes Wachstum vollzogen. Die weltweite Vorreiterrolle Europas (und insbesondere Deutschlands) bei der Installation neuer PV-Anlagen ist im Jahr 2013 zum ersten Mal an den asiatischen Raum abgegeben worden. Neue Produktionskapazitäten für die Herstellung von Solarmodulen in Asien (insbesondere in China und Japan) haben zu hohen Überkapazitäten geführt, die wiederum in einem starken Preisverfall bei Solarmodulen resultierten und zur Insolvenz von lokal agierenden europäischen Herstellern führten. Während die Kosten für Solarmodule über lange Zeit für den Großteil der Gesamtkosten der Installation einer PV-Anlage verantwortlich waren (Anteil von über 50 %), hat der Verfall der Modulpreise dazu geführt, dass heute insbesondere die Kosten für die Planung, Genehmigung und Installation der PV-Anlage in manchen Ländern die Kosten für die Hardware aus Solarmodul und Wechselrichter bereits übersteigen. Diese Veränderungen haben natürlich auch Auswirkungen auf die Wertschöpfung auf den einzelnen Planungs- und Produktionsstufen.

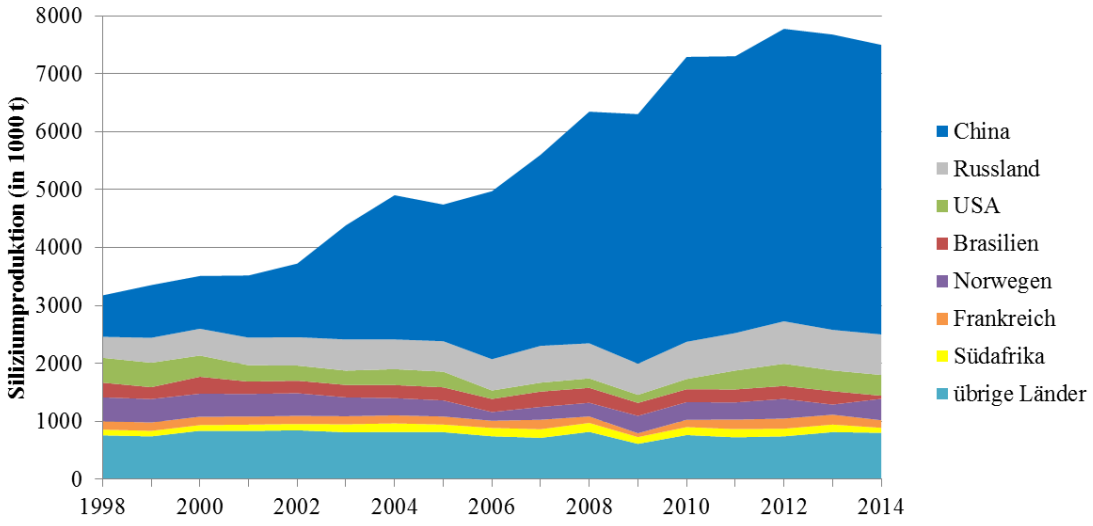
Die Photovoltaik-Branche in Deutschland hat in den vergangenen Jahren einen starken Umbruch erlebt. Bis zum Jahr 2010 konnten sowohl weltweit auch speziell in Deutschland hohe Wachstumsraten bei der installierten Leistung beobachtet werden. In den Jahren 2000 bis 2009 betrug die durchschnittliche Wachstumsrate der weltweit installierten Leistung rund 36 %; in Deutschland konnte z.B. im Jahr 2009 gar ein Wachstum von über 100 % verzeichnet werden. Die hohe Förderung erneuerbarer Energien durch die deutsche Politik hat dafür gesorgt, dass in Deutschland die installierte Leistung Jahr für Jahr gewachsen ist und sich in Deutschland der bedeutendste Absatzmarkt für Photovoltaik-Produkte entwickelt hat. Der Bundesverband Solarwirtschaft e.V. beziffert die Anzahl der in Deutschland installierten Photovoltaik-Anlagen bis Ende 2014 auf 1,5 Mio. Ihr Anteil am deutschen Bruttostromverbrauch betrug im Jahr 2014 ca. 6 %. Insgesamt waren rund 5000 Unternehmen mit einem Bezug zur Photovoltaik in Deutschland tätig, davon lediglich 200 Unternehmen in der Produktion von Zellen, Modulen und weiteren Komponenten. Die übrigen Unternehmen sind u.a. Zulieferer und Handwerksbetriebe, die z.B. die Installation der Photovoltaik-Anlagen vornehmen. Insgesamt waren so ca. 50.000 Erwerbstätige in der Photovoltaik-Branche beschäftigt. Entlang der Wertschöpfungskette können insbesondere die Bereiche Materialherstellung (Silizium, Solarglas, etc.), die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten (Solarzellen, Solarmodule, Wechselrichter, etc.), die Installation der Anlagen sowie der Produktionsanlagenbau unterschieden werden.

5.3.1 ENTWICKLUNG SILIZIUM-PRODUKTION

Silizium ist das Halbleitermaterial, welches für die Herstellung von Solarzellen am häufigsten

verwendet wird. Gleichzeitig ist Silizium eines der Elemente, welches am häufigsten auf der Erde vorkommt. Die Erdkruste setzt sich zu 46 % aus Sauerstoff und zu 28 % aus Silizium zusammen. Grundlage für die Siliziumgewinnung ist hauptsächlich Quarzsand bzw. Quarzit (chemisch: Siliziumdioxid). Quarzsand hat den höchsten Anteil an den weltweit vorkommenden Sanden und bildet für die Halbleiterindustrie damit einen wichtigen Rohstoff. Mit Hilfe großer Hitze von über 1400 °C wird in einem elektrischen Lichtbogenofen eine Reaktion in Gang gesetzt, um aus dem Siliziumdioxid sog. Rohsilizium sowie Kohlenmonoxid zu gewinnen. Für den Einsatz des Rohsiliziums in Solarzellen sind weitere chemische Verarbeitungs- und Reinigungsschritte notwendig. Je nach verwendetem Verfahren ergibt sich am Ende monokristallines oder polykristallines Silizium. Darüber hinaus kann noch das sog. amorphe Silizium unterschieden werden. Das amorphe Silizium besteht aus ungeordneten Silizium-Atomen und liegt somit nicht in kristalliner Form vor. Durch Aufdampfen einer Schicht des amorphen Siliziums auf ein Trägermaterial können sehr dünne Solarzellen produziert werden. Mit dem mono- bzw. polykristallinen Silizium werden sog. Wafer hergestellt. Diese wenige Millimeter dicken Scheiben werden mit Drahtsägen aus Kristallstäben gesägt. Für den Einsatz der Wafer in den Solarzellen durchlaufen die Wafer noch diverse chemische Bäder und erhalten ein elektrisch leitendes Raster. Je nach verwendetem Verfahren können schließlich Dickschicht- (monokristalline Siliziumzellen und polykristalline Siliziumzellen) bzw. Dünnschichtzellen (amorphes Silizium) unterschieden werden. In Deutschland liegt der Marktanteil von polykristallinen Solarmodulen bei über 80 %. Die polykristallinen Solarmodule sind zwar günstiger in der Herstellung, haben jedoch gegenüber den monokristallinen Solarmodulen einen schlechteren Wirkungsgrad (monokristallin: bis zu 20 %; polykristallin: 15 %). Das im Vergleich günstigere amorphe Silizium hat den geringsten Wirkungsgrad (um 7 %), was die Kostenvorteile wieder aufwiegt. Die hohe Verfügbarkeit von Silizium in Quarzsand bzw. Quarzit sorgt dafür, dass Silizium in den meisten Ländern der Erde gewonnen werden kann. Insbesondere gibt es keine Knappheit des Rohstoffs, sodass auch keine Reichweitenangaben für den zukünftigen Abbau getätigt werden. Neben dem Einsatz von hochreinem Solarsilizium in der Photovoltaikindustrie wird Silizium u.a. in der Metallurgie für Legierungen und in der Mikroelektronik für Computer-Chips eingesetzt.

Abbildung 12: Siliziumproduktion in den bedeutendsten Produktionsländern von 1998 bis 2014 (in 1000 t)

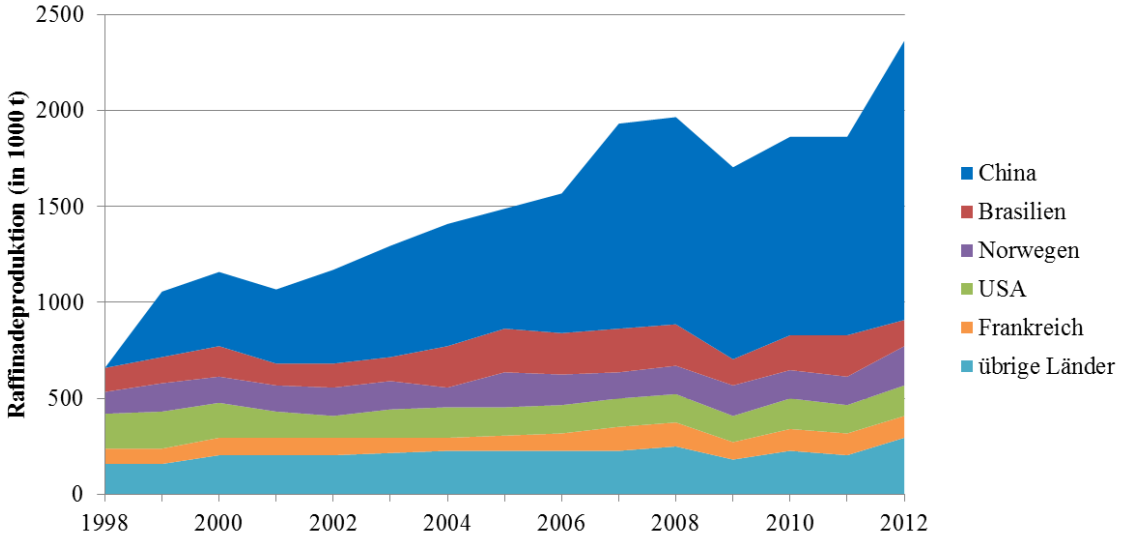


Quelle: U.S. Geological Survey

Abbildung 12 verdeutlicht die Entwicklung der Siliziumproduktion in den bedeutendsten Produktionsländern für die Jahre 1998 bis 2014. China hat in den vergangenen 15 Jahren die Produktion von Silizium deutlich ausgebaut. Von 0,7 Mio. t Silizium im Jahr 1998 ist die Produktion auf über 5 Mio. t im Jahr 2014 angestiegen, was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von über 13 % und einem Anteil an der Jahresproduktion im Jahr 2014 (ca. 7,7 Mio. t Silizium) von über 66 % entspricht. Ein solcher Produktionszuwachs konnte in keinem anderen Land realisiert werden. Im Vergleich zum starken Wachstum Chinas verharrt die Siliziumproduktion der weiteren großen Produktionsländer in den letzten Jahren auf einem relativ konstanten Niveau. Als weitere große Produktionsländer können insbesondere Russland (0,7 Mio. t Silizium; Anteil von 9 % an der Jahresproduktion 2014), die USA (0,4 Mio. t; 5 %) und Norwegen (0,4 Mio. t; 5 %) identifiziert werden. Die dargestellten Werte enthalten sowohl die Produktion an Ferrosilizium als auch die Produktion an Siliziummetall. Dabei muss berücksichtigt werden, dass das Ferrosilizium im Jahr 2014 einen Anteil von über 94 % an der gewichtsmäßigen Siliziumproduktion hatte; auf Basis des Siliziumgehalts betrug der Anteil des Ferrosiliziums jedoch nur 74 %. Je nach Ausgestaltung hat Ferrosilizium einen unterschiedlich hohen Anteil an Silizium (z.B. 50 % oder 75 %) und wird in der Herstellung von Stahl und Gusseisen eingesetzt.

Der Begriff Raffination bezeichnet ein Verfahren zur Reinigung, Veredelung, Trennung und zur Konzentration von Rohstoffen. Technisch kann die Raffination je nach Rohstoff (z.B. Zucker, Metall) auf unterschiedliche Weise stattfinden. Zur Gewinnung von hochreinem Silizium für die Photovoltaik werden z.B. das sog. Zonenschmelzverfahren oder das Czochralski-Verfahren angewendet. Abbildung 13 verdeutlich die Raffinadeproduktion von Silizium für die Jahre 1998 bis 2012. Wie bereits in Abbildung 12 für die gesamte Siliziumproduktion verdeutlicht, ist China auch bei der Raffinadeproduktion von Silizium der größte Produzent. Im Jahr 2012 hat China über 1,4 Mio. t Silizium raffiniert, was einem Anteil von über 60 % an der weltweiten Raffinadeproduktion entspricht. Die jährliche Wachstumsrate Chinas bei der Raffinadeproduktion liegt bei über 11 %. Die Raffinadeproduktion der weiteren Produktionsländer Brasilien, Norwegen, USA und Frankreich blieb über die vergangenen Jahre auf einem relativ konstanten Niveau. Sie haben jeweils einen Anteil an der Raffinadeproduktion zwischen 5 % und 9 %.

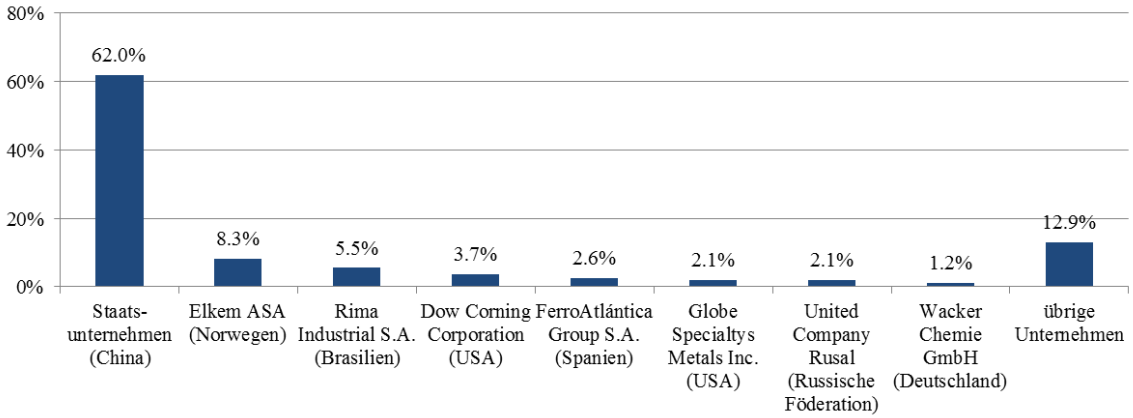
Abbildung 13: Raffinadeproduktion Silizium in den bedeutendsten Produktionsländern von 1998 bis 2012 (in 1000 t)



Quelle: BGR (2014a)

Allein im Jahr 2013 wurde die Produktionskapazität für Silizium um weitere 0,6 Mio. t pro Jahr ausgebaut. Neben China haben Malaysia, Russland, Schweden und Usbekistan die Produktionskapazität erhöht. Im Jahr 2014 war sie leicht rückläufig. Trotz der erhöhten Produktionskapazität ist die Siliziumproduktion im Vergleich zwischen den Jahren 2012 und 2013 auf einem ähnlichen Niveau verblieben (vgl. Abbildung 12). Als Grund hierfür kann eine leicht rückläufige Stahlproduktion identifiziert werden, die ein Hauptabnehmer für Silizium ist. Das Angebot an Silizium war in der Vergangenheit nicht immer ausreichend, um der wachsenden Nachfrage der Solarindustrie gerecht werden zu können. In der Anfangsphase des weltweiten Ausbaus der Photovoltaik nach dem Jahr 2000 hat die Solarindustrie davon profitiert, dass Überkapazitäten und eine gesunkene Nachfrage auf dem Halbleitermarkt nach Platzen der Dotcom-Blase die Nachfrage nach Silizium hat sinken lassen, sodass die vorhandenen Mengen an hochreinem Silizium von der Solarindustrie günstig bezogen werden konnten. Im Zuge des raschen Ausbaus der Photovoltaik kam es jedoch in den folgenden Jahren zu einer so starken Nachfrage nach Silizium, dass die Preise für Silizium rasant anstiegen und sich ab dem Jahr 2005 eine Rohstoffknappheit eingestellt hat, die das starke Wachstum der Solarindustrie geschwächt hat. Als Folge der Rohstoffknappheit hatte sich eine vermehrte Forschungsaktivität eingestellt, die effizientere Herstellungstechnologien wie z.B. die Dünnschichtzellen vorangetrieben hat. Es wurden neue Investitionen in den Ausbau der Produktionskapazitäten für Silizium getätigt. Da die Rohstoffknappheit jedoch insgesamt zu spät erkannt wurde und die neuen Investitionen mehrere Jahre Vorlaufzeit für Planung, Finanzierung und Bau beanspruchen, bestand die Rohstoffknappheit auch in den folgenden Jahren. Produzenten von Solarmodulen haben versucht, sich mit Langfristverträgen bei den Siliziumproduzenten die Nachfrage zu sichern. Bis in das Jahr 2008 blieb Solarsilizium ein knappes Gut, für das am Markt Höchstpreise gezahlt wurden (PWC 2010). Im weiteren Zeitablauf hat sich schließlich die Produktionskapazität für Silizium soweit erhöht, dass der gegenteilige Effekt eingetreten ist. Etablierte Anbieter haben ihre Produktionskapazität ausgebaut und neue Anbieter sind in den wachsenden Markt eingestiegen. Aktuell ist die Produktionskapazität für polykristallines Silizium etwa doppelt so hoch wie der Bedarf. Die Nachfrage nach Silizium kann damit mehr als befriedigt werden, was zu weiteren Problemen geführt hat. Insbesondere in der nahen Vergangenheit kam es regelmäßig zu einem Überangebot an Silizium im Markt. Als Folge stellten sich so niedrige Marktpreise ein, dass insbesondere kleinere Anbieter nicht konkurrenzfähig waren und somit aus dem Markt ausgeschieden sind. Einer der Hauptkostentreiber für die energieintensive Herstellung von Silizium sind die Kosten für Energie. Die großen Produktionsstätten können hier Skaleneffekte erzielen und so zu den günstigeren Preisen anbieten. Auch in Deutschland waren Produktionsstandorte von der Überkapazität im Markt betroffen und mussten schließen.

Abbildung 14: Anteile einzelner Unternehmen an der weltweiten Raffinadeproduktion im Jahr 2012 (in Prozent)



Quelle: BGR (2014a)

Die starke regionale Konzentration der weltweiten Raffinadeproduktion schlägt sich auch in einer starken Konzentration auf einzelne Unternehmen in den einzelnen Produktionsländern nieder. In China wird die Produktion durch staatseigene Unternehmen sichergestellt. In Norwegen (Elkem ASA) und Brasilien (Rima Industrial S.A.) entfällt die Raffinadeproduktion jeweils auf große Unternehmen. Mit einem Anteil an der Raffinadeproduktion von 1,2 % befand sich im Jahr 2012 mit der Wacker Chemie GmbH ebenfalls ein deutsches Unternehmen unter den größten Raffinadeproduzenten. Dabei gilt es zu beachten, dass sich die Produktionsstandorte der Wacker Chemie GmbH nicht alle in Deutschland befinden. Neben den deutschen Standorten Nünchritz mit einer Jahreskapazität von 15.000 t polykristallinem Silizium und dem Standort Burghausen betreibt die Wacker Chemie GmbH noch jeweils Produktionsstätten in Norwegen und in den USA. Zusammen mit weiteren kleineren Unternehmen kam Deutschland im Jahr 2012 insgesamt auf einen Anteil von 1,7 % an der Weltraffinadeproduktion.

Deutschland ist insgesamt ein Netto-Importeur von Ferrosilizium und Siliziummetall. Tabelle 2 enthält die entsprechenden Importe und Exporte Deutschlands für die Jahre 2009 bis 2012. Mit Ausnahme des Jahres 2009 lagen die Importe von Ferrosilizium und Siliziummetall jeweils in etwa bei einer Größenordnung von ca. 250.000 t. Dabei bezog Deutschland sein Silizium zum größten Teil aus Norwegen, Island und Frankreich. Siliziummetall wurde darüber hinaus aus Brasilien importiert. Die Exporte gingen nach Österreich, Frankreich und Italien. Siliziummetall wurde darüber hinaus im Jahr 2012 zu einem Anteil von über 40 % nach China exportiert.

Insgesamt hat der Import von Silizium nur einen sehr geringen prozentualen Anteil am Nettoimportwert Deutschlands wichtigster importierter Metalle. Die wichtigsten fünf Metalle für den Nettoimport sind Kupfer (33,7 %), Aluminium (17,2 %), Eisen (11,4 %), Nickel (9,8 %) und Platin (8,4 %) (BGR 2014b). Zusammen haben die fünf Metalle einen Anteil am Nettoimportwert von über 80 %. Der Nettoimportwert Deutschlands der letzten fünf Jahre lag durchschnittlich bei 17,6 Mrd. €. Wertmäßig hat Silizium nur einen Anteil von 0,9 % am Nettoimportwert.

Tabelle 2: Siliziumimporte und Exporte Deutschlands in den Jahren 2009 bis 2012

	2009	2010	2011	2012	Liefer- / Empfängerländer 2012 (Anteile > 10 %)	
Ferrosilizium [t]						
Import	146.022	277.836	298.941	248.310	Norwegen	26,0
					Island	16,4
					Frankreich	11,4
Export	65.386	95.793	81.464	67.352	Österreich	20,1
					Frankreich	16,1
					Italien	12,1
Siliziummetall [t]						
Import	186.417	259.010	241.972	232.639	Norwegen	39,2
					Frankreich	15,7
					Brasilien	10,7
Export	20.377	29.476	33.101	49.693	China	42,3

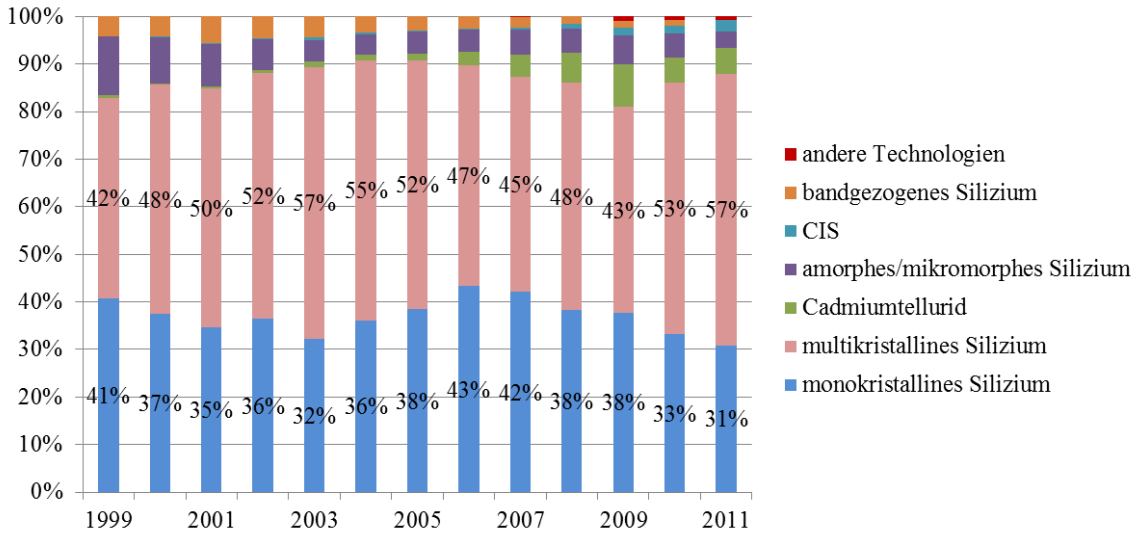
Quelle: BGR (2013)

Die Reserven von Silizium sind praktisch unbegrenzt. Deutschland spielt beim Angebot von Silizium jedoch kaum eine Rolle und wird es auch in Zukunft nicht tun. Die regionale Konzentration der weltweiten Raffinadeproduktion ist sehr hoch: die Top-10 der Länder mit Raffinadeproduktion zeichnen sich für einen Anteil von 96,5 % an der Produktion verantwortlich, die weltweite Raffinadeproduktion lag im Jahr 2012 bei 2,4 Mio. t. Die deutsche Raffinadeproduktion in Höhe von 0,03 Mio. t ist im Vergleich dazu vernachlässigbar (BGR 2014a). Auch Ferrosilizium und Siliziummetall werden in Deutschland in einer ähnlichen Größenordnung produziert. Da die weltweite Produktion hier noch größer ist, ist der Anteil Deutschlands an der Weltproduktion entsprechend noch kleiner. Dennoch gibt es auch in Deutschland einige wenige Produzenten und Verarbeiter, die diese Produkte herstellen und auch exportieren. Wie Tabelle 2 aber verdeutlicht, überwiegen die Importe von Ferrosilizium und Siliziummetall die Exporte, sodass Deutschland insgesamt ein Netto-Importeur ist.

5.3.2 ENTWICKLUNG MODULPRODUKTION

Grundbaustein für ein Solarmodul ist die Solarzelle, die wiederum aus Silizium hergestellt wird. Ein Solarmodul besteht aus verschalteten Solarzellen, die in einem Aluminiumrahmen installiert sind. Von oben schützt sie eine Glasscheibe vor Witterungseinflüssen.

Abbildung 15: Anteil der verschiedenen Zelltechnologien an den jeweils im Jahr produzierten Solarzellen (in %)

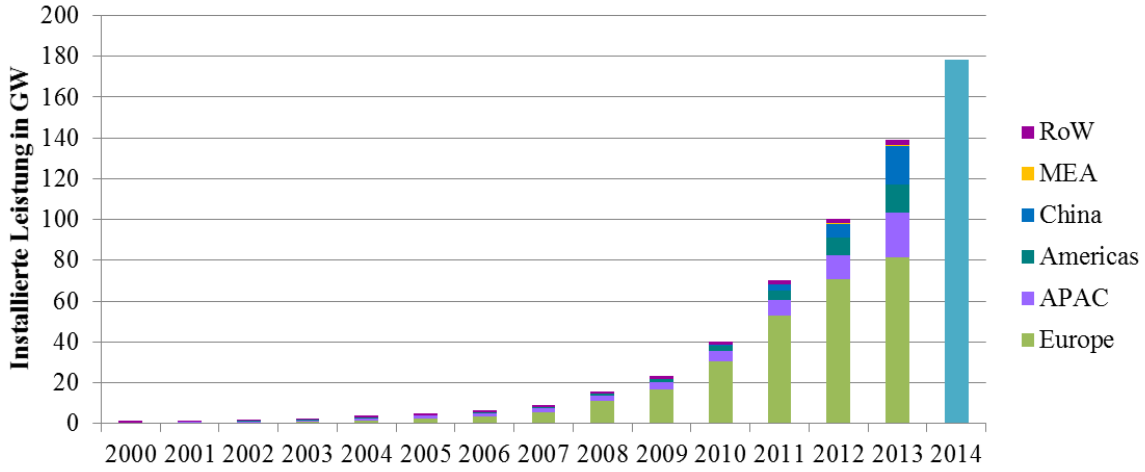


Quelle: Photon 2012

Weltweit haben mono- und polykristalline Solarzellen den größten Anteil an den jährlich produzierten Solarzellen. Im Jahr 2011 hatten die beiden Zelltechnologien insgesamt einen Anteil von 88 %, wobei multikristallines Silizium mit einem Anteil von 57 % bedeutend häufiger bei der Produktion von Solarzellen zum Einsatz kam. Bei den übrigen Zelltechnologien spielt das oben bereits genannte amorphe Silizium eine wesentliche Rolle. Abweichend vom Silizium kann auch Cadmiumtellurid als Solarzellenmaterial verwendet werden. Es ist zwar preiswerter als Silizium, dafür aber nicht so leistungsfähig.

Die Investitionen in erneuerbare Energien haben weltweit jeweils unterschiedliche Entwicklungen genommen (vgl. Abbildung 7). Während der asiatische Raum und insb. China stark in erneuerbare Energien investiert haben, sind die europäischen Investitionen in den vergangenen Jahren rückläufig. Die einstige Vorreiterrolle Europas als Schlüsselmarkt für die internationale Solarindustrie ist damit hinfällig. Insbesondere der asiatische und amerikanische Raum sorgen heute für die Nachfrageimpulse im Markt und damit einhergehend für eine Verschiebung und den Ausbau der Solarzellen- und -modulproduktion in diesen Ländern.

Abbildung 16: Weltweit kumulierte installierte Photovoltaik-Leistung in GW

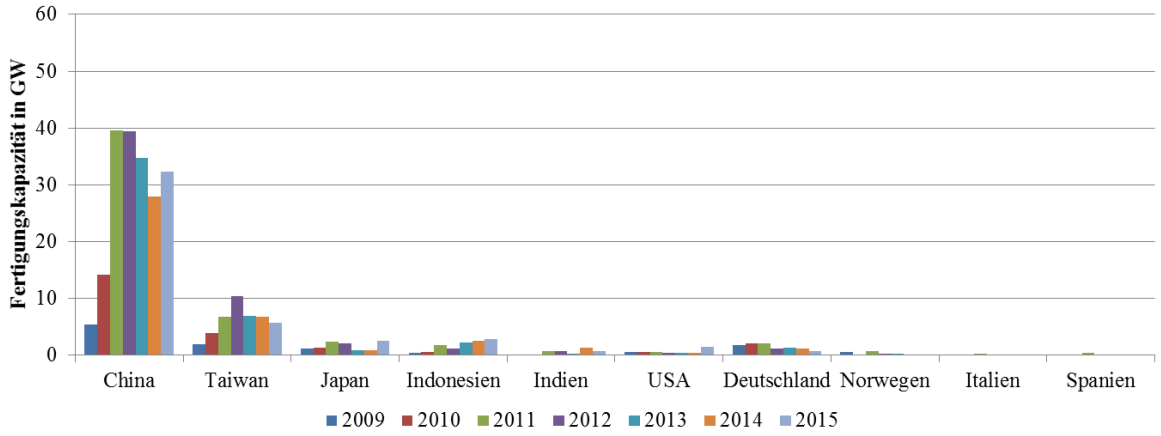


Quelle: EPIA 2014

Abbildung 16 verdeutlicht die Entwicklung der weltweit installierten Photovoltaik-Leistung seit dem Jahr 2000. Mit knapp 89 GW installierter Photovoltaik-Leistung zeichnet sich Europa im Jahr 2014 für einen Anteil von ca. 50 % verantwortlich. Verglichen mit den Jahren zuvor ist dieser Anteil bis zum Jahr 2010 auf über 75 % angestiegen und seitdem rückläufig. Der Anteil des asiatisch-pazifischen Raums ohne China lag in der Vergangenheit zwischen 30 % im Jahr 2000 und 15 % im Jahr 2013. China hingegen hat ein beispielloses Wachstum hingelegt und die installierte Photovoltaik-Leistung seit 2008 auf über 28 GW im Jahr 2014 ausgebaut, was einem Anteil von über 15 % an der weltweit installierten Photovoltaik-Leistung entspricht. Auch der amerikanische Raum hat in der Vergangenheit die Photovoltaik weiter ausgebaut und hatte im Jahr 2013 mit knapp 14 GW Leistung einen Anteil von etwa 10 % an der weltweiten Photovoltaik-Leistung. Die in Deutschland installierte Photovoltaik-Leistung kann Abbildung 8 entnommen werden. Im Jahr 2014 betrug sie knapp 38,2 GW, was einem Anteil an der europäischen installierten Leistung von 43 % entspricht und weltweit einem Anteil von über 21 % entspricht. Damit ist Deutschland weiterhin der Spitzenreiter bei der installierten Photovoltaik-Leistung. Die weltweiten Entwicklungen beim Ausbau der Photovoltaik lassen jedoch erwarten, dass in Zukunft andere Länder die Spitzenposition einnehmen werden.

In den europäischen Ländern hatten Änderungen im Fördersystem und damit einhergehend ein geringeres Wachstum bei der Nachfrage zur Folge, dass viele europäische Hersteller von Solarzellen und -modulen insolvent wurden. Verbesserte Förderbedingungen in Japan führten auf der anderen Seite dazu, dass neue Produktionskapazitäten aufgebaut wurden. In China hat die hohe Nachfrage zusammen mit Unterstützungsaktivitäten der chinesischen Regierung und Banken dafür gesorgt, dass die Fertigungskapazitäten in den vergangenen fünf Jahren massiv ausgebaut wurden. Sowohl bei der Zellproduktion als auch bei der Modulherstellung hat China mit deutlichem Abstand die größten Fertigungskapazitäten. Abbildung 17 verdeutlicht die Dominanz Chinas bei Fertigungskapazitäten für Solarzellen.

Abbildung 17: Fertigungskapazitäten für Solarzellen in den bedeutendsten Produktionsländern in den Jahren 2009 bis 2015 (in GW)

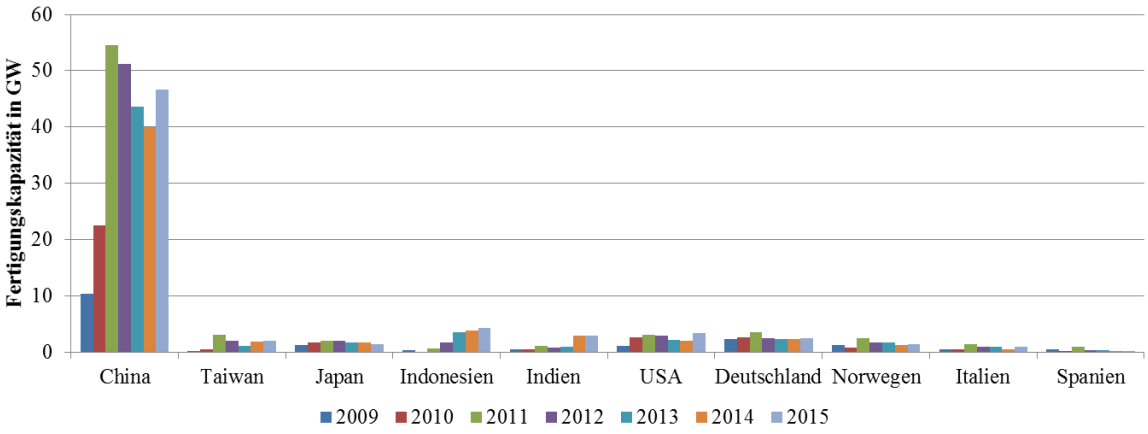


Quelle: Sonne, Wind und Wärme 2016

Insgesamt waren im Jahr 2015 weltweit ca. 200 Zellhersteller aktiv. In Summe betrug die Fertigungskapazität aller Zellhersteller im Jahr 2015 ca. 50 GW. Nach Jahren des Wachstums ist die Fertigungskapazität für Solarzellen in den Jahren 2013 und 2014 leicht rückläufig gewesen, ehe sie 2015 wieder leicht angestiegen ist. Mit knapp 33 GW an Fertigungskapazität hatte China im Jahr 2015 einen Marktanteil von über 60 %. Weit abgeschlagen folgen weitere Länder im asiatischen Raum. Taiwan hatte 2015 einen Marktanteil von ca. 11 %, Indonesien von 5 % und Japan von 5 %. In Deutschland war im Jahr 2015 eine Fertigungskapazität für Solarzellen von knapp 1 GW installiert, was einem Marktanteil von 1,5 % entspricht. Im Vergleich zum Jahr 2011 hat sich die Kapazität um über 1 GW reduziert. Weitere europäische Zellhersteller spielten im internationalen Vergleich nur eine untergeordnete Rolle. Die USA hatten im Jahr 2015 einen Marktanteil von 3 % an der weltweiten Fertigungskapazität für Solarzellen.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Fertigungskapazitäten für Solarmodule. Auch hier hat China mit großem Abstand den höchsten Marktanteil an den weltweiten Fertigungskapazitäten. Abbildung 18 verdeutlicht die Fertigungskapazitäten für Solarmodule. Insgesamt betrug die weltweite Fertigungskapazität im Jahr 2015 über 70 GW und es waren über 500 Modulhersteller auf der Welt aktiv. Ähnlich wie bei der Zellproduktion ist auch bei der Modulproduktion die Gesamtkapazität im Vergleich zum Vorjahr rückläufig. Mit einem Marktanteil von über 60 % dominiert China auch bei den Fertigungskapazitäten für Solarmodule. Im Vergleich zur Zellproduktion liegt die chinesische Fertigungskapazität für Solarmodule jedoch um knapp 10 GW höher. Im asiatischen Raum hat Indonesien mit über 5 % einen weiteren nennenswerten Marktanteil im Jahr 2015. In Europa belegt Deutschland mit einem Marktanteil von etwas über 2 GW bzw. 3,5 % die Spitzenposition, gefolgt von Norwegen und Italien.

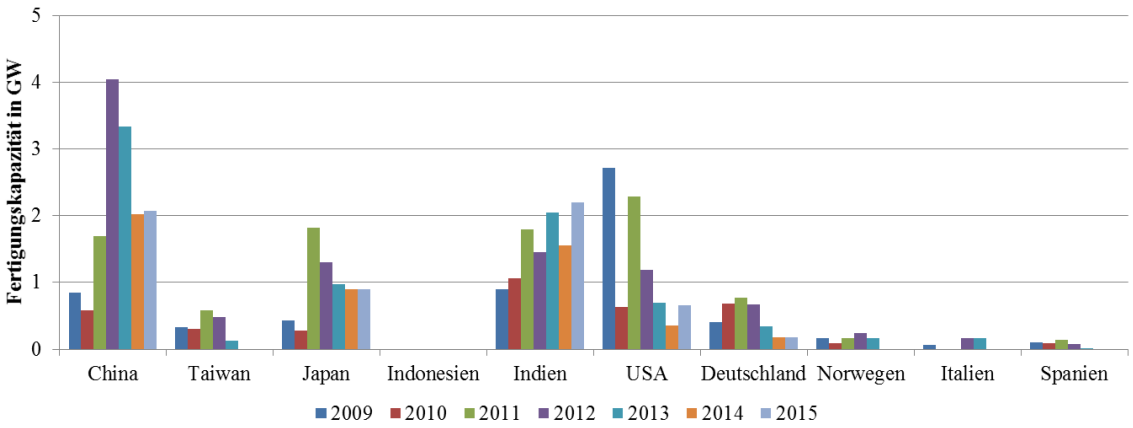
Abbildung 18: Fertigungskapazitäten für Solarmodule in den bedeutendsten Produktionsländern in den Jahren 2009 bis 2015 (in GW)



Quelle: Sonne, Wind und Wärme 2016

Die Fertigungskapazitäten für Dünnschichtmodule sind im Vergleich zur Zell- und Modulproduktion deutlich geringer. Die Produktion von Dünnschichtmodulen ist als Alternative zu den teuren Solarmodulen entwickelt worden und hat dementsprechend noch keine lange Historie vorzuweisen. Vielmehr befindet sich die Produktion von Dünnschichtmodulen im Aufbau. Insgesamt waren im Jahr 2015 weltweit nur etwa 60 Hersteller für Dünnschichtmodule mit einer Fertigungskapazität in Höhe von knapp 6 GW aktiv. Auch bei den Dünnschichtmodulen hat China im Jahr 2015 mit über 2 GW zusammen mit Indien den größten Marktanteil (jeweils ca. 34 %), gefolgt Japan (14 %) und den USA (10,8 %). Deutschland war mit einem Marktanteil von etwa 3 % außerhalb Asiens das Land mit einem nennenswerten Marktanteil.

Abbildung 19: Fertigungskapazitäten für Dünnschichtmodule in den bedeutendsten Produktionsländern in den Jahren 2009 bis 2015 (in GW)



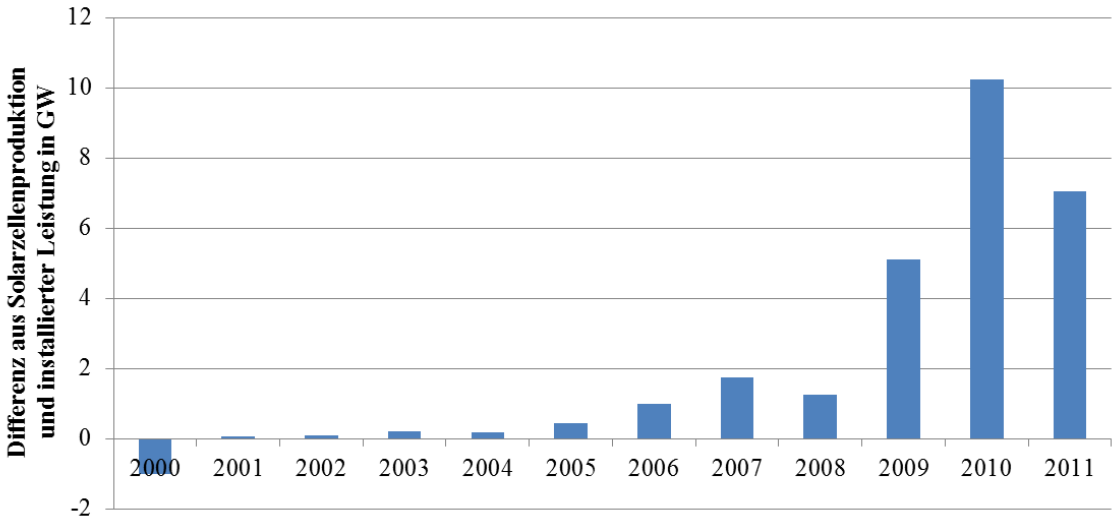
Quelle: Sonne, Wind und Wärme 2016

Neben den genannten Ländern wird die Kapazität auch in weiteren asiatischen Ländern stark ausgebaut. Zu nennen sind insbesondere Thailand, Südkorea und Malaysia. Von besonderer Bedeutung sind auch die sog. Schwellenländer. In Lateinamerika sowie im Nahen Osten und in Afrika kann in den nächsten Jahren mit weiteren Zuwächsen gerechnet werden. Begünstigt werden hohe Zuwachsraten auch durch teilweise vorherrschende Local-Content-Regelungen: damit ausländische Firmen Transaktionen in einem Land durchführen können, muss ein fest-

gelegter Anteil der Wertschöpfung im Inland erfolgen. Um diese Regelungen einzuhalten, werden von den ausländischen Produktionsfirmen neue Produktionsstandorte in den entsprechenden Ländern errichtet.

Zum Schutz der heimischen Wirtschaft kam es in der Vergangenheit zur Einführung von Strafzöllen auf Solarmodule aus China. Chinesische Unternehmen, die von staatlichen Subventionen profitierten und ihre Produkte zu unzulässig niedrigen Preisen auf dem Weltmarkt angeboten haben, wurden mit Strafzöllen konfrontiert. Insbesondere die Europäische Union und der US-amerikanische Markt wollten so die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Unternehmen stärken. Chinesische Unternehmen hingegen versuchen die Strafzölle zu umgehen, indem sie zunehmend Fertigungskapazitäten außerhalb Chinas aufbauen. Als neue Produktionsstandorte chinesischer Unternehmen sind z.B. die Türkei, Japan, Korea, Indien, Südafrika, Vietnam und Malaysia hinzugekommen. Somit konterkariert China die Anti-dumping Regeln, sorgt aber auf der anderen Seite für positive Wirkungen für die Wirtschaft und Beschäftigung an den neuen Standorten.

Abbildung 20: Differenz aus jährlicher weltweiter Solarzellenproduktion und installierter Photovoltaik-Leistung in den Jahren 2000 bis 2011 in GW



Quelle: EPIA 2014, Photon 2012

Abbildung 20 verdeutlicht, wie sich in den Jahren von 2000 bis 2011 auf dem Weltmarkt für Solarmodule ein Überangebot entwickelt hat. Dargestellt ist die Differenz aus produzierter Photovoltaik-Leistung und tatsächlich installierter Photovoltaik-Leistung. Seit dem Jahr 2000 ist die Produktion in jedem Jahr größer als die installierte Leistung. Während die Differenz bis zum Jahr 2008 noch jeweils unterhalb von 2 GW liegt, beträgt die Differenz im Jahr 2010 über 10 GW. Der mit dem Überangebot einhergehende Preisverfall für Solarmodule hat die Produktion im darauffolgenden Jahr sinken lassen und die Nachfrage steigen lassen, sodass das Überangebot im Jahr 2011 leicht gesunken ist. Aktuell zeichnet sich auf dem Markt für Solarmodule wieder ein weiteres Extremum ab. Nach Jahren mit drastischem Überangebot und Preisverfall im Markt sorgt aktuell eine starke Nachfrage aus Asien dafür, dass kaum noch Solarmodule auf dem Markt verfügbar sind und somit eine Knappheit vorliegt. Die Kürzung der Förderung von erneuerbaren Energien in Europa im Zuge der Wirtschafts- und Finanzkrise hat die europäische Nachfrage einbrechen lassen. Auch die deutsche Nachfrage, die über Jahre

hinweg bedingt durch die hohen deutschen Einspeisevergütungen einen Großteil der Weltnachfrage ausgemacht hat, ist in den vergangenen Jahren zurückgegangen. China (+13 GW im Jahr 2013), Japan (+7 GW) und die USA (+5 GW) weisen inzwischen höhere Zuwachsraten bei der Neuinstallation von Solarmodulen auf als Deutschland (+3,3 GW). Der Anstieg der japanischen Nachfrage nach Solarmodulen resultiert aus dem gestiegenen Interesse Japans an erneuerbaren Energien nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011. Die hohe chinesische Nachfrage ist das Ergebnis der chinesischen Regierung, das landesweite Problem der Luftverschmutzung anzugehen und durch die wegfallende europäische Nachfrage nach chinesischen Modulen die Produktion in den chinesischen Fabriken weiterhin zu gewährleisten. Im Jahr 2013 hat China seine Photovoltaik-Leistung innerhalb eines Jahres um über 140 % auf ca. 19 GW gesteigert. Bis zum Jahr 2017 soll eine installierte Photovoltaik-Leistung von über 70 GW erreicht werden.

In Deutschland hat die Solarbranche turbulente Zeiten durchlebt. Getragen durch hohe inländische Nachfrage durch die entsprechenden politischen Rahmenbedingungen und das EEG galt die Solarindustrie lange Zeit als Zukunftsbranche. Deutschland war lange Zeit der Spitzenreiter bei der installierten Photovoltaik-Leistung und die deutschen Unternehmen haben innovative und fortschrittliche Produkte entwickelt. Die Marktentwicklungen der vergangenen Jahre sowie staatliche Eingriffe einzelner Länder haben jedoch dazu geführt, dass andere Länder bei der Produktion von Photovoltaik-Produkten massiv aufgeholt haben, hohe Produktionskapazitäten installiert wurden und gleichzeitig der Markt mit günstigen Preisen überschwemmt wurde, sodass viele deutsche Unternehmen in die Insolvenz gingen und andere den Besitzer wechselten, wie etwa Q-Cells, die seit 2015 als Hanwha QCells gut am Markt aufgestellt sind.

5.3.3 ENTWICKLUNG WECHSELRICHTER

Um die mit Hilfe der Solarmodule aus der Sonnenenergie gewonnene Elektrizität in das Stromnetz einspeisen zu können, sind sog. Wechselrichter als Teil des photovoltaischen Systems erforderlich. Ein Wechselrichter wandelt die Gleichspannung aus den Solarmodulen in Wechselspannung um und speist den Strom in das Stromnetz ein. Zusätzlich werden Steuer- und Regelungsfunktionen durch die Wechselrichter ermöglicht. Er überwacht das Stromangebot der Photovoltaik-Anlage und sorgt erst bei ausreichendem Angebot für die Einspeisung ins Netz sowie bei Dämmerung und Einbruch des Angebots für die Trennung vom Netz. Je nach Ausgestaltung und Anforderungen der Photovoltaik-Anlage können verschiedene Gerätetypen unterschieden werden. Neben modulintegrierten Wechselrichtern (z.B. bei Anlagen mit wechselnder Ausrichtung zur Sonne bei Kleinstanlagen) können sog. String-Wechselrichter unterschieden werden (z.B. bei privaten Hausanlagen und kleinen Gewerbeanlagen), die den Strom aus einem Strang gleich ausgerichteter Solarmodule in das Stromnetz einspeisen. Bei sehr großen Photovoltaik-Anlagen werden die Wechselrichter zentral installiert. Der Marktanteil von String-Wechselrichtern und zentralen Wechselrichtern beträgt jeweils etwa 50 %. Darüber hinaus können Wechselrichter mit und ohne Transformator unterschieden werden. Der Transformator sorgt dabei für eine Entkopplung von Photovoltaik-Anlage und Stromnetz und den jeweils auftretenden Spannungen. Damit erhöht der Transformator die elektrische Sicherheit des Systems, verursacht allerdings auf der anderen Seite auch Wirkungsgradverluste. Aus Sicherheitsgründen ist er jedoch in vielen Ländern bei der Installation von Photovoltaik-Anlagen zwingend vorgeschrieben. Moderne Wechselrichter haben heute Wirkungsgrade von mehr als 98 % und arbeiten damit nahezu verlustfrei.

Um die stark gewachsene Einspeisung aus erneuerbaren Energien und speziell aus Photovoltaik besser in den Markt integrieren zu können, müssen Photovoltaik-Anlagen auch in Deutschland seit einigen Jahren mit der Möglichkeit ausgestattet sein, in bestimmten Lastsituationen die Leistung durch den Netzbetreiber reduzieren zu können. Eine solche Reduktion wird ebenfalls über den Wechselrichter ermöglicht. Die Lebensdauer heutiger Wechselrichter wird von den Herstellern mit bis zu 20 Jahren angegeben. Um den steigenden Anforderungen des Netzmanagements gerecht werden zu können, kann durch einen Austausch der Wechselrichter auch die Kommunikationsfähigkeit und Wartbarkeit der Photovoltaik-Anlage verbessert werden.

Für die Produktion von Wechselrichtern sind verschiedene Vorleistungen und Rohstoffe notwendig. Je nach Hersteller und Ausgestaltung des Wechselrichters unterscheiden sich die verwendeten Werkstoffe und Materialien erheblich. Das Öko-Institut nennt u.a. Kupfer, Aluminium und Vergussmasse sowie Kunststoffe, Silizium und Elektrolyt als wesentliche Wertstoffe (Öko-Institut 2012). Aluminium zur Fertigung von Aluminiumdruckgussgehäusen hat dabei den größten Anteil. Bei den verwendeten Bauteilen handelt es sich um Standardbauteile (z.B. Schaltkreise, Mikrocontroller und Transistoren). Gleiche Bauteile finden auch Eingang bei der Produktion in der Automobilbranche, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Informationstechnik (PWC 2010). Aufgrund der im Vergleich zu den anderen Branchen relativ kleinen Größe der Hersteller von Wechselrichtern und deren geringer Nachfrage nach den einzelnen Bauteilen kam es in der Vergangenheit vereinzelt zu Lieferengpässen bei Wechselrichtern, da die Zuliefererindustrie die starke Nachfrage der großen Branchen vorrangig bediente.

Tabelle 3: Ranking der umsatzstärksten Hersteller von Wechselrichtern in den Jahren 2008 und 2013

2013 Rang	Hersteller	Standort Hauptsitz	2013 Rang vs. 2012 Rang	2008 Rang	Hersteller	Standort Hauptsitz	2013 Rang vs. 2008 Rang
1	SMA	Europa	-	1	SMA	Europe	**Unverändert**
2	ABB (inc. Power-One)	Europa	-	2	Fronius	Europe	**Abstieg**
3	Omron	Japan	**3**	3	Kaco	Europe	**Abstieg**
4	TMEIC	Japan	**>10**	4	Ingeteam	Europe	**Abstieg**
5	Sungrow	China	**9**	5	Xantrex (acquired by Schneider)	Canada	**Abstieg**
6	Advanced Energy	USA	**-1**	6	Siemens	Europe	**Austritt**
7	Tabuchi	Japan	**1**	7	Sputnik	Europe	**Abstieg**
8	Schneider Electric	Europa	**-4**	8	Conergy (acquired by Bosch)	Europe	**Abstieg**
9	Enphase Energy	USA	-	9	Power-One (acquired by ABB)	USA	**Aufstieg**
10	Kaco	Europa	**-7**	10	Elettronica Santerno	Europe	**Abstieg**
Top 10 Summe Umsatz: 3,7 Mrd. US$ Top 10 Marktanteil: 58 %				**Top 10 Summe Umsatz: 2,0 Mrd. US$ Top 10 Marktanteil: 83 %**			

Quelle: IHS Technology

Analog zu den dargestellten Marktentwicklungen bei Solarzell- und -modulproduktion hat sich auch der Markt für Wechselrichter strukturell verändert. Die Nachfrage nach Photovoltaik-Anlagen im asiatischen Raum hat auch die Nachfrage nach Wechselrichtern erhöht, sodass die Produktionskapazitäten dort in den vergangenen Jahren stark gewachsen sind. Tabelle 3 verdeutlicht die Marktentwicklungen bei Wechselrichtern zwischen den Jahren 2008 und 2013.

Im Jahr 2008 haben die zehn umsatzstärksten Hersteller einen Umsatz von 2 Mrd. US$ erwirtschaftet, was einem Marktanteil von ca. 83 % entspricht. Bis zum Jahr 2013 ist der Umsatz auf 3,7 Mrd. US$ angestiegen. Jedoch haben die zehn umsatzstärksten Unternehmen deutlich Anteile am globalen Markt für Wechselrichter verloren. So ist der Marktanteil um 25 % auf nur noch 58 % gesunken. Ein wesentlicher Grund dafür ist die hohe Nachfrage nach Wechselrichtern aus dem asiatischen Raum und eine damit einhergehende gewachsene heimische Produktion. Japan und China zeichneten sich im Jahr 2013 für insgesamt 35 % des weltweiten Umsatzes verantwortlich. Die europäische Marktführerschaft wurde damit weitestgehend aufgelöst. Während im Jahr 2008 noch acht Unternehmen der Top 10 aus dem europäischen Raum stammten und die beiden weiteren Unternehmen mit europäischen Unternehmen kooperierten, sind im Jahr 2013 nur noch vier europäische Unternehmen in den Top 10. Der deutsche Hersteller SMA konnte seine Spitzenposition im Vergleich zum Jahr 2008 verteidigen. Die in den Top 10 vertretenen vier asiatischen Unternehmen hatten jedoch einen so starken Zuwachs, dass sie sich 2013 auf den vorderen Plätzen wiederfinden. Der Vergleich der Ränge zwischen 2012 und 2013 zeigt, dass die asiatischen Unternehmen deutliche Umsatzsteigerungen verbuchen konnten, während die anderen großen Unternehmen aus Europa und den USA dieses Wachstum nicht realisieren konnten und somit im Ranking unverändert geblieben sind oder deutlich Plätze verloren haben. Der hohe Umsatz der asiatischen Länder wurde jedoch größtenteils durch den Absatz der Produkte auf den heimischen Märkten erzielt und nicht am Weltmarkt. Gleichzeitig sorgten die sinkende Nachfrage auf dem europäischen Markt sowie der beschränkte Zugang zu den asiatischen Märkten bei den europäischen Anbietern für Umsatzeinbußen.

Auch der deutsche Hersteller SMA hat wie die anderen europäischen Hersteller in den vergangenen Jahren deutlich an Marktanteilen verloren, konnte jedoch im Jahr 2013 seine Position als umsatzstärkstes Unternehmen weiterhin verteidigen. Noch im Jahr 2009 kontrollierte SMA 40 % des gesamten Weltmarktes für Wechselrichter. Die zunehmende Konkurrenz aus Asien hat jedoch den Marktanteil auf nur noch 17 % im Jahr 2013 schrumpfen lassen. SMA ist selbst auf den asiatischen Märkten vertreten und erzielt insgesamt mehr als die Hälfte des Umsatzes im Ausland. Der starke Rückgang der Nachfrage in Europa und die zu geringe Präsenz im asiatischen Raum haben jedoch den Marktanteil insgesamt sinken lassen. Im Jahr 2013 hatte der Weltmarktführer bei Photovoltaik-Wechselrichtern einen Umsatz von 930 Mio. Euro. Das starke Wachstum der ausländischen Hersteller von Wechselrichtern in den vergangenen Jahren lässt für die Zukunft vermuten, dass die ausländische Konkurrenz ähnlich wie bei der Produktion von Solarzellen und -modulen weiter wachsen wird und somit die Marktanteile der deutschen Unternehmen weiter schrumpfen werden. Getragen von einer hohen Nachfrage auf den Heimatmärkten expandieren z.B. die asiatischen Hersteller auch auf den schrumpfenden europäischen Photovoltaik-Markt. Dennoch ist ein Wechselrichter im Vergleich zur Produktion von Solarzellen und -modulen komplexer in der Herstellung, sodass die Expertise und die Innovationskraft der heimischen und europäischen Unternehmen dafür sorgen werden, dass auch weiterhin Absatzmöglichkeiten im Ausland vorhanden sein werden.

5.3.4 ENTWICKLUNG INSTALLATION UND MONTAGE

Je nach Art der Photovoltaik-Anlage können unterschiedliche Installationsarten unterschieden werden. Neben der festen Montage der Solarmodule auf Freiflächen oder Industrie- und Hausdächern kann auch eine dach- bzw. fassadenintegrierte Installation gewählt werden. Zur besseren Sonnen-Ausbeute können auch sog. Solar-Tracker zum Einsatz kommen, die mit

Hilfe von Motoren eine jederzeitige optimale Ausrichtung der Solarmodule zur Sonne garantieren. Die unterschiedlichen Montagearten führen zu stark unterschiedlichen Kosten. Die Wahl des Montagesystems wird darüber hinaus durch die natürlichen Umgebungsbedingungen beeinflusst. In Gebieten mit starken Winden und hohen Belastungen durch Schnee werden höhere Anforderungen an die Montage von Photovoltaik-Anlagen gestellt. Ein weiterer Kostentreiber bei der Installation von Photovoltaik-Anlagen ist die Verkabelung der einzelnen Elemente. Für einen möglichst verlustfreien Energiefluss sind Kabel mit einem besonders großen Querschnitt von Vorteil. Je größer der Querschnitt, desto teurer wird die Verkabelung. Neben den Kosten für die Hardware fallen bei der Installation und Montage insbesondere auch Lohnkosten an. Neben den Installateuren, die die Module aufstellen, sind Elektriker für die Arbeiten an der elektrischen Anlage und den Anschluss an das Stromnetz im Einsatz. Weitere Hilfsarbeiten für die Installation von Photovoltaik-Anlagen sind z.B. das Aufstellen von Gerüsten sowie Transporttätigkeiten. Zusätzlich muss ein Gewinn-Aufschlag berücksichtigt werden.

Mit den sinkenden Preisen bei Solarmodulen und dem zunehmendem Import von günstig produzierten Solarmodulen aus Asien verändert sich die Zusammensetzung der Kosten, die ein Abnehmer insgesamt für eine Photovoltaik-Anlage bezahlen muss. Bei den aktuellen Preisen für die einzelnen Komponenten können in etwa die folgenden Anteile am Gesamtpreis unterschieden werden: das Solarmodul hat einen Anteil von 30 % – 40 %, der Wechselrichter von 10 % – 20 %, das Montagegestell von 5 % – 10 %, die Elektrikarbeiten von 5 % – 10 %, die Montage von 15 % – 25 % und der Aufschlag der Installateure von 10 % – 20 %. Je nach Anlagentyp und -größe können diese Anteile variieren.

Im Vergleich zu den Solarzellen und -modulen stammen die Lösungen für Montagesysteme heute noch größtenteils aus inländischer Produktion.

Die in Deutschland verbreitet verwendete Montageart ist die Montage auf Freiflächen und auf Dächern. Die gebäudeintegrierte Montage von Photovoltaik-Anlagen ist in Deutschland hingegen nur ein Nischenmarkt, der in Zukunft jedoch weiter an Bedeutung gewinnen wird. Gründe für eine Zunahme an gebäudeintegrierten Installationen sind zum einen, dass fallende Kosten und eine verbesserte Effizienz der Systeme die Rentabilität steigern und zum anderen, dass die ästhetische Qualität der Systeme sich immer weiter verbessern wird. Auch die Entwicklung der Dünnschichtmodule war ein wichtiger Schritt für die gebäudeintegrierte Photovoltaik, da diese Module viel flexibler eingesetzt werden können. Für Gebäude mit nur kleinen Dachflächen ergeben sich Möglichkeiten, ausreichend Solarenergie zu produzieren, um so z.B. den Selbstverbrauch weiter ausbauen zu können. Ebenfalls kann der Autarkiegrad von Niedrigenergie- und Passivhäusern noch weiter verbessert werden. Ein Beispiel für gebäudeintegrierte Photovoltaik sind z.B. Solar-Dachziegel, die anstatt normaler Dachziegel in das Dach integriert werden.

Aktuell liegt der Anteil gebäudeintegrierter Photovoltaik-Anlagen im unteren einstelligen Prozentbereich. Ein Grund für diese niedrige Marktdurchdringung kann in der nicht ausreichenden Förderung solcher Systeme in Deutschland gesehen werden. Im EEG der Vergangenheit wurde bei der Förderung von Photovoltaik nicht unterschieden, ob es sich um Photovoltaik auf Gebäuden oder um gebäudeintegrierte Photovoltaik handelt. Der Bundesverband Bausysteme e.V. definiert die gebäudeintegrierte Photovoltaik als die „gestalterische, baukonstruktive und bauphysikalische Einbindung von Photovoltaik-Bauelementen in die Gebäudehülle“ (era 2011). Darüber hinaus kann die gebäudeintegrierte Photovoltaik weitere Funktionen übernehmen, wie z.B. Wetterschutz, Wärmeschutz oder Lichtmanagement. Mit der Umsetzung von gebäudeintegrierter Photovoltaik im unteren einstelligen Prozentbereich wird das vorhandene

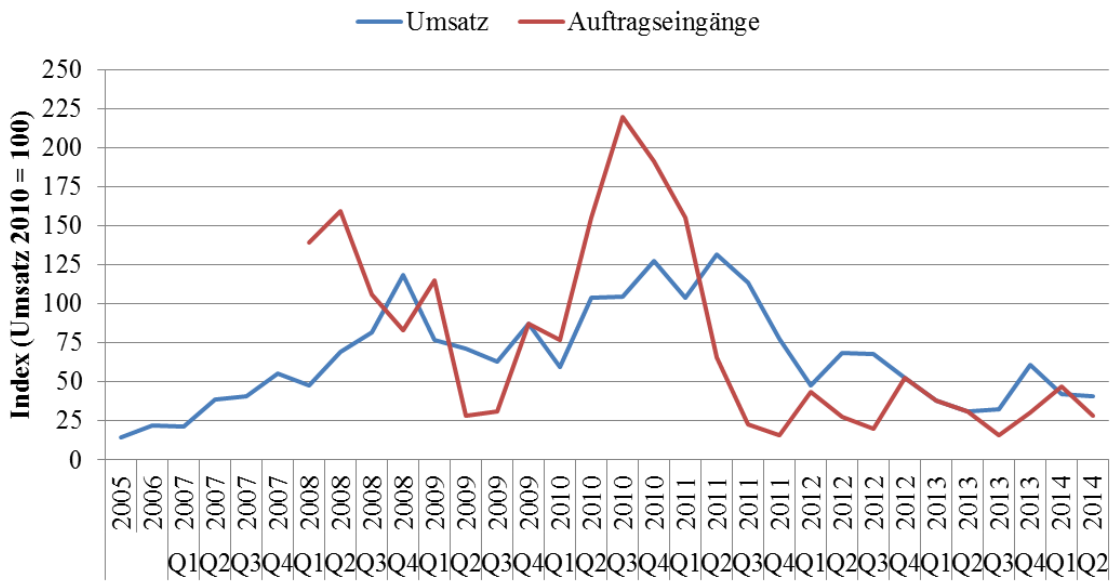
Potential nicht ausgeschöpft. Problematisch für die gebäudeintegrierte Photovoltaik ist insbesondere die Ausrichtung der Module zur Sonne, welche die Ernte im Vergleich zur Photovoltaik auf dem Dach deutlich reduziert.

Während Deutschland in der Vergangenheit die Technologieführerschaft bei Photovoltaik übernommen hat, hat insbesondere das europäische Ausland versucht, in den Nischenmärkten eine führende Stellung einzunehmen. Für die gebäudeintegrierte Photovoltaik können Frankreich und Italien als Beispiele genannt werden. In Frankreich wurde die gebäudeintegrierte Photovoltaik mit höheren Einspeisevergütungen und weiteren Investitionszuschüssen gefördert, sodass dort z.B. der Anteil von gebäudeintegrierter Photovoltaik bei Neuinstallationen im Jahr 2009 einen Anteil von fast 60 % an der jährlichen PV-Installation hatte (era 2011). Auch im ersten Quartal 2014 war der Anteil gebäudeintegrierter Photovoltaik mit ca. 43 % (41,8 MW) vergleichsweise hoch. In Italien führte ebenfalls eine zusätzliche Förderung zu einem Anteil der gebäudeintegrierten Photovoltaik bei Neuinstallationen im Jahr 2009 von 30 %. In Deutschland hingegen wurde im Jahr 2009 eine zusätzliche Förderung von 5 ct/kWh für gebäudeintegrierte Photovoltaik wieder abgeschafft (era 2011). Aufgrund der geringeren Ernte und der fehlenden Anreize konnte sich die gebäudeintegrierte Photovoltaik daher in Deutschland noch nicht durchsetzen. Der Bundesverband Bausysteme e.V. hat im Jahr 2010 in einem Positionspapier für die gebäudeintegrierte Photovoltaik eine dauerhaft um 10 % höhere Einspeisevergütung im Vergleich zu nicht integrierten Systemen gefordert.

5.3.5 ENTWICKLUNG PRODUKTIONSANLAGENBAU

Der Bau von Produktionsanlagen für die Herstellung von Komponenten für Solarstromanlagen ist abhängig von den globalen Marktentwicklungen und den Absichten zur Erweiterung der Produktionskapazitäten der einzelnen Hersteller. In der Vergangenheit wurden die Produktionskapazitäten weltweit ausgebaut, was den Anlagenbauern gute Absatzzahlen bescherte. Insbesondere im Zeitraum von 2009 bis 2011 hat die Neuinstallation von Produktionsanlagen und damit einhergehend die Produktionskapazität zu einem Überangebot an Solarmodulen im Markt geführt. Da die vorhandene Produktionskapazität somit relativ modern ist, ist ein baldiger Austausch der vorhandenen Kapazitäten nicht absehbar.

Abbildung 21: Umsatz und Auftragseingang deutscher Photovoltaik-Produktionsmittel (Index: Umsatz 2010 = 100)



Quelle: VDMA 2014

Abbildung 21 verdeutlicht die Entwicklung der Umsätze und der Auftragseingänge der deutschen Photovoltaik-Produktionsmittel für die Jahre 2008 bis 2012. Analog zu den oben bereits genannten Boom-Phasen bei Produktion und Absatz von Silizium, Solarzellen und -modulen entwickelten sich auch die Auftragseingänge der deutschen Photovoltaik-Ausrüster. Als Reaktion auf die Knappheit bei Solar-Silizium kann im Jahr 2008 ein erhöhter Auftragseingang beobachtet werden. Als Folge der Wirtschaftskrise sind die Auftragszahlen der deutschen Photovoltaik-Ausrüster in den ersten beiden Quartalen des Jahres 2009 deutlich zurückgegangen. Die starke Nachfrage nach Photovoltaik-Anlagen hat aber bereits im zweiten Halbjahr 2009 für zusätzliche Aufträge gesorgt. Das starke Wachstum der Produktionskapazitäten für Solarzellen (Abbildung 17), Solarmodule (Abbildung 18) und Dünnschichtmodule (Abbildung 19) in den Jahren 2010 und 2011 ist das Resultat einer vermehrten Auftragsvergabe auch an die deutschen Photovoltaik-Ausrüster, die sich insbesondere im Jahr 2010 deutlich erkennen lässt, welches das auftragsreichste Jahr im betrachteten Zeitraum war. Das Überangebot an Solarzellen und -modulen im Markt in den Jahren 2010 und 2011 (Abbildung 20) hat letztendlich dazu geführt, dass die Nachfrage nach Produktionsanlagen im gesamten Jahr 2011 rückläufig war und schließlich Ende 2011 zum geringsten Auftragseingang im betrachteten Zeitraum geführt hat. Die Überkapazitäten haben auch im Jahr 2012 zu geringen Auftragszahlen geführt.

Das starke Wachstum der Photovoltaik-Branche zu Beginn der Entwicklung hat für ein Wachstum bei den Umsätzen der Photovoltaik-Ausrüster bis zum Ende des Jahres 2008 gesorgt. Analog zu den Auftragseinbrüchen nach der Wirtschaftskrise sind auch die Umsätze im Jahr 2009 zurückgegangen, ehe sie sich im weiteren Verlauf mit zunehmender Auftragszahl erholt haben. Bedingt durch die Überkapazitäten im Markt sind im Jahr 2011 auch die Umsätze deutlich gefallen. Auch im Jahr 2012 sind die Umsätze im Vergleich zum Jahr 2011 nochmals um 50 % zurückgegangen.

Die Entwicklungen auf dem Weltmarkt sind insbesondere für Deutschland von Bedeutung. Deutschland ist beim Bau von Komponenten, Maschinen und Anlagen für die Photovoltaik

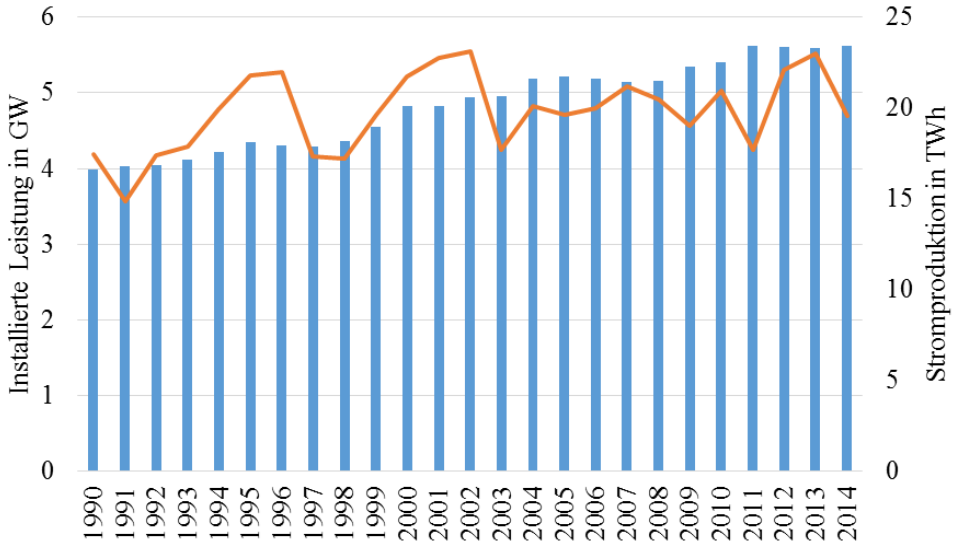
Weltmarktführer. Laut Branchenverband VDMA beträgt der Marktanteil deutscher Photovoltaik-Ausrüster über 50 %. Laut Fraunhofer ISE 2014 wird z.B. auch die Hälfte der asiatischen PV-Produktion auf Anlagen aus Deutschland gefertigt. Insgesamt beziffert der Branchenverband VDMA die Exportquote deutscher PV-Zulieferer auf 92 %. Als umsatzstärkstes Segment zu Beginn des Jahres 2014 wird das Produktionsequipment für Dünnschicht-Elemente genannt (32 %), gefolgt von Produktionslösungen für die Zell-Produktion (32 %), die Modul-Produktion (15 %) und die Silizium- und Wafer-Fertigung (17 %). Die umsatzstärkste Region für den deutschen Photovoltaik-Maschinenbau ist der asiatische Raum, in dem über 70 % der Umsätze erzielt werden. Gemessen am Auftragseingang kamen im ersten Quartal 2014 rund 81 % der Aufträge für den deutschen Photovoltaik-Maschinenbau aus Asien, nur 10 % der Aufträge kamen aus dem Inland. Amerika zeichnete sich für 5 % der Aufträge verantwortlich und das europäische Ausland für 4 %. Da der Anlagenbau für Solarfabriken komplexer ist als die reine Herstellung von Solarzellen und -modulen, kann auch in Zukunft damit gerechnet werden, dass die spezialisierten deutschen Unternehmen auch weiterhin einen hohen Auftragseingang aus dem Ausland erhalten werden somit einen Großteil ihrer produzierten Anlagen in das Ausland exportieren werden.

5.4 WASSERKRAFT: WERTSCHÖPFUNGSKETTE UND MARKTSTRUKTUR

Wasserkraft wird bereits seit Jahrhunderten als Energiequelle genutzt. Während damals z.B. Wasserräder durch fließendes Wasser angetrieben wurden, um eine Mühle in Bewegung zu setzen, wird die Wasserkraft heute dazu genutzt, Turbinen anzutreiben, welche mit einem Generator gekoppelt sind, um damit Strom zu produzieren. Wasserkraft zählt heute weltweit zu den am intensivsten genutzten Quellen erneuerbarer Energien. Dabei macht man sich zwei Arten von Energie für die Stromerzeugung zunutze: bei Laufwasserkraftwerken wird die Bewegungsenergie des strömenden Wassers genutzt, bei Speicherwasserkraftwerken wird die Lageenergie genutzt, die aus einer Höhendifferenz resultiert (z.B. Pumpspeicherkraftwerke). Laufwasserkraftwerke sind Grundlastkraftwerke und damit ständig in Betrieb. Speicherwasserkraftwerke werden eingesetzt, um Strom zwischenspeichern zu können und bieten somit eine Flexibilitätsoption für dargebotsabhängige Energiequellen. In Zeiten eines Überangebots an Strom kann dieser für Wasserpumpen genutzt werden, um Wasser in höhergelegene Reservoire zu pumpen. Dieses Wasser treibt beim Ablassen eine Turbine und damit einen Generator an und speist den produzierten Strom wieder in das Stromnetz ein. Speicherwasserkraftwerke können auch Systemdienstleistungen für das Stromnetz übernehmen.

Die Nutzung von Wasserkraft zur Stromerzeugung ist stark abhängig von den geologischen Gegebenheiten. Weltweit wird rund ein Sechstel der gesamten Stromerzeugung mit Wasserkraft realisiert. In einigen Ländern kann sogar nahezu der gesamte benötigte Strom mit Wasserkraft hergestellt werden. In Norwegen wird z.B. 99 % des Stroms aus Wasserkraft gewonnen. Auch Kanada und Brasilien haben hohe Anteile von Wasserkraft an der Stromproduktion, in Europa sind Italien, Schweiz und Österreich mit Anteilen von über 50 % Stromerzeugung aus Wasserkraft zu nennen. In Deutschland haben Wasserkraftwerke eine lange Tradition. Die ersten Wasserkraftwerke gingen bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts in Betrieb und sind auch heute noch im Einsatz, insbesondere in Bayern und Baden-Württemberg. Insgesamt sind in Deutschland ca. 7500 Wasserkraftanlagen mit einer Leistung von ca. 4,7 GW installiert. In Abhängigkeit der jährlichen Niederschlagsmengen schwankt die Stromproduktion aus Wasserkraft und betrug in den vergangenen Jahren zwischen 20 TWh/a bis 25 TWh/a.

Abbildung 22: Installierte Leistung und Stromproduktion von Wasserkraft in Deutschland



Quelle: BMWi 2015

Einzelnen Studien und Branchenverbänden nach gilt das Potenzial der Wasserkraft in Deutschland als nahezu erschöpft. Auch der VDMA ordnet dem inländischen Markt für die Hersteller von Wasserkraftanlagen nur eine geringe Bedeutung zu, obwohl noch ein Ausbaupotenzial von 2 GW bestünde. Problematisch wird insbesondere eine mögliche Konfliktsituation zwischen dem Ausbau der Wasserkraft und dem Naturschutz gesehen. Ein Eingriff in einen Flusslauf durch Installation einer Wasserkraftanlage kann nur stattfinden, wenn der Fischschutz gewährleistet werden kann. Der teilweise veraltete Bestand an Wasserkraftwerken in Deutschland gibt jedoch Möglichkeiten für Modernisierungsmaßnahmen. Weltweit sind erst 25 % des wirtschaftlichen Potenzials der Wasserkraft tatsächlich in Nutzung, sodass es im internationalen Kontext auch für deutsche Unternehmen Möglichkeiten zum Export gibt. Das größte Potenzial wird vom VDMA in Asien gesehen, insbesondere in China und Indien. Aber auch in Afrika und Südamerika wird in Zukunft mit einem Ausbau der Wasserkraft gerechnet. Insgesamt wird das Potenzial auf bis zu 800 GW geschätzt.

Deutschland ist bei der Produktion und Entwicklung von Wasserkraft-Technologien einer der Marktführer. Auch im Ausland werden die entsprechenden Produkte stark nachgefragt. Ein wesentlicher Punkt für den erfolgreichen Export ist auch die deutsche Stahlherstellung, welche zu den besten weltweit zählt und welche Turbinen in hoher Qualität fertigt. Während die Generatoren bei Wasserkraftanlagen Standard-Bauteile sind, erfordern die geologischen Gegebenheiten am Installationsstandort der Wasserkraftanlagen individuell angefertigte Turbinen. Je nach Fallhöhe, Fließverhalten und Strömung des Wassers können unterschiedliche Materialien und Schaufeln an den Turbinen erforderlich sein. Einen wesentlichen Teil der Wertschöpfungskette nimmt die Bauindustrie ein, da große Wasserkraftprojekte mit Bauleistungen vor Ort realisiert werden müssen. Deutsche Unternehmen können diesen Schritt der Wertschöpfungskette mit Planern und Projektierern unterstützen.

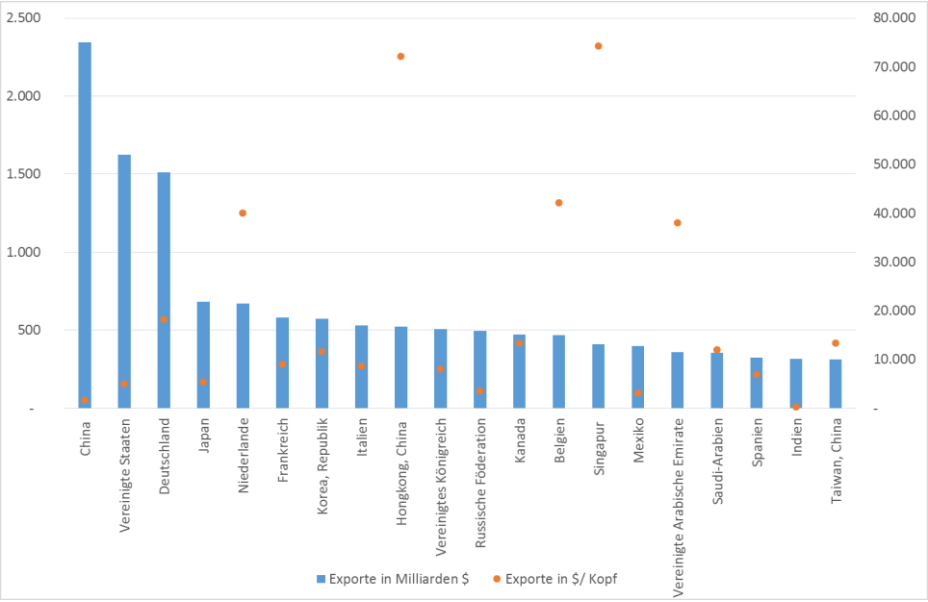
6 WETTBEWERBSPOSITION DEUTSCHER EE-UNTERNEHMEN

Der Außenhandel leistet einen wesentlichen Beitrag zu Wachstum und Beschäftigung in Deutschland. Wenngleich es in der wissenschaftlichen Community – und bei den europäischen Nachbarn – eine Diskussion über die sinnvolle Höhe des deutschen Leistungsbilanzüberschusses gibt, bleibt Deutschland zunächst eine exportorientierte Volkswirtschaft. In diesem Kapitel wird der Versuch unternommen, die allgemeine Exportorientierung von einer spezifischen Wettbewerbsfähigkeit auf den globalen Märkten entlang der Wertschöpfungsketten von PV, Windenergie und Wasserkraft zu trennen und eine Analyse der Entwicklung deutscher Wettbewerbsfähigkeit auf diesen Märkten im Vergleich zu den in der Teiluntersuchung „Detailbetrachtungen einzelner wichtiger Märkte“ (adelphi 2015) dieses Forschungsvorhabens identifizierten Wettbewerbern zu leisten.

6.1 DEUTSCHLANDS POSITION IM WELTMARKT

2014 lag China bei den weltweiten Exporten vorne, gefolgt von den USA und Deutschland. Während diese drei Länder jeweils über 1,5 Billionen US$ am Weltmarkt durch Exporte erzielten, bleiben die nächsten Länder auf der Top-20-Liste deutlich unterhalb der Marke von einer Billion US$. Insgesamt umfasste der Welthandel 2014 fast 19 Billionen US$, sodass die Top 3 Exportnationen fast 30 % des Welthandels abdecken. Abbildung 23 zeigt auf der rechten Achse die Höhe der „Pro-Kopf-Exporte“. Bei diesem Indikator werden kleine Länder bevorzugt, wie man an Singapur oder Hongkong sehen kann. Er erlaubt jedoch, ähnlich große Länder bezüglich ihrer Bedeutung des Exports zu vergleichen.

Abbildung 23: Exporte der Top 20 Exportnationen (in Mrd. $ 2014, und in $/ Kopf)



Quelle: Destatis

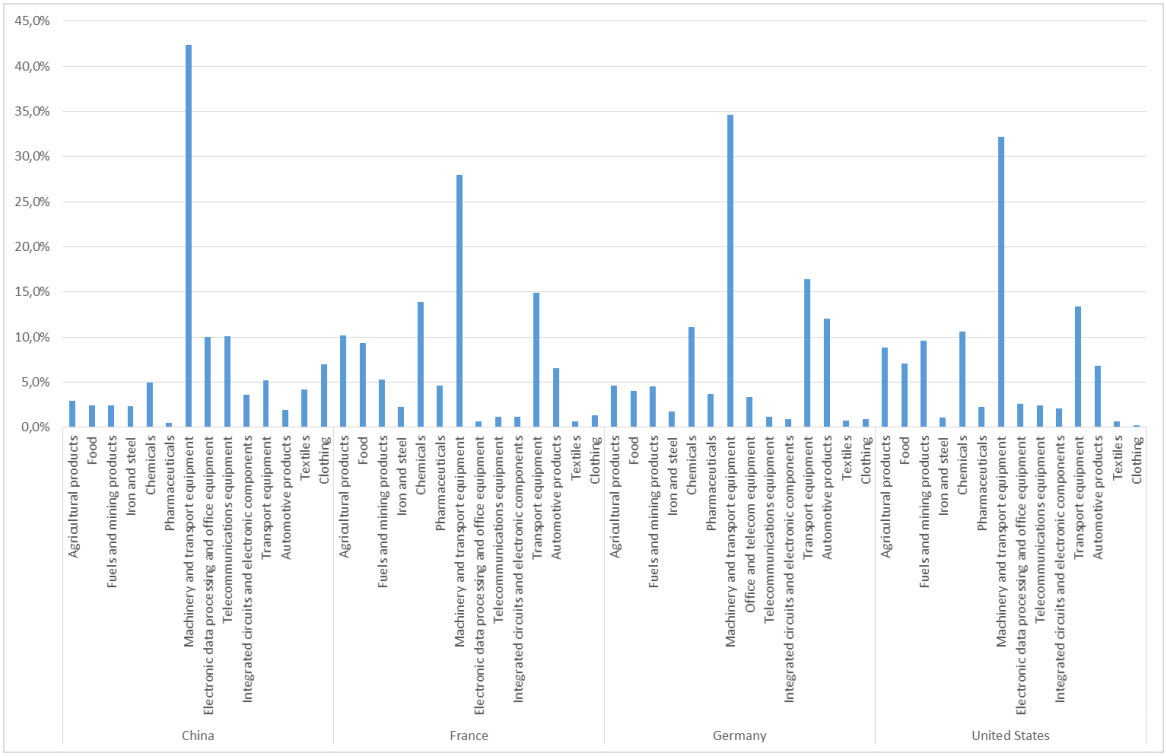
So sind Exporte für Deutschland deutlich wichtiger als für die vergleichbar großen Nachbarn Frankreich und Großbritannien. In Deutschland beträgt das Exportvolumen pro Kopf etwas mehr als 20.000 US$, die bevölkerungsreicheren Länder wie China oder die USA liegen hier deutlich niedriger.

Exportierte Güter sind Produkte aus dem verarbeitenden Gewerbe ebenso wie Rohstoffe, Agrarprodukte und Nahrungsmittel. Die Position der VAE und Saudi-Arabiens sowie Russlands sind überwiegend dem Export von Rohstoffen geschuldet, Deutschland hingegen exportiert Industrieprodukte und auch Nahrungsmittel. Ein Blick in die Struktur der Exporte der wichtigsten Exporteure kann dies belegen (Abbildung 24).

Die Exportstruktur des führenden Exporteurs China zeigt, dass fast 45% der Exporte auf Maschinenbauprodukte und Ausrüstungen des Verkehrs entfallen, gefolgt von Büromaschinen, Datenverarbeitungs- und Telefonausrüstungen. Diese Positionen machen mehr als 50% der Exporte aus. In den USA – Platz 2 bei den Exporten – sind die Exporte gleichmäßiger verteilt. Maschinenbau ist auch stark, aber Agrarprodukte, Lebensmittel und Güter der Grundstoffindustrie spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Deutschland hat seine Stärken ebenfalls im Maschinenbau, in der Chemie und beim Fahrzeugbau. Frankreich exportiert zu einem erheblichen Teil Lebensmittel, aber auch hier dominiert der Maschinenbau. Insgesamt entfallen auf den Maschinenbau weltweit 31% der gehandelten Güter.

In absoluter Höhe exportiert China das mehr als 1,5 fache von Deutschland im Maschinenbau. Bei den Halbleitern und den optischen Instrumenten exportiert China mehr als das Vierfache von Deutschland.

Abbildung 24: Exportstruktur der Top 3 Exporteure und Frankreich



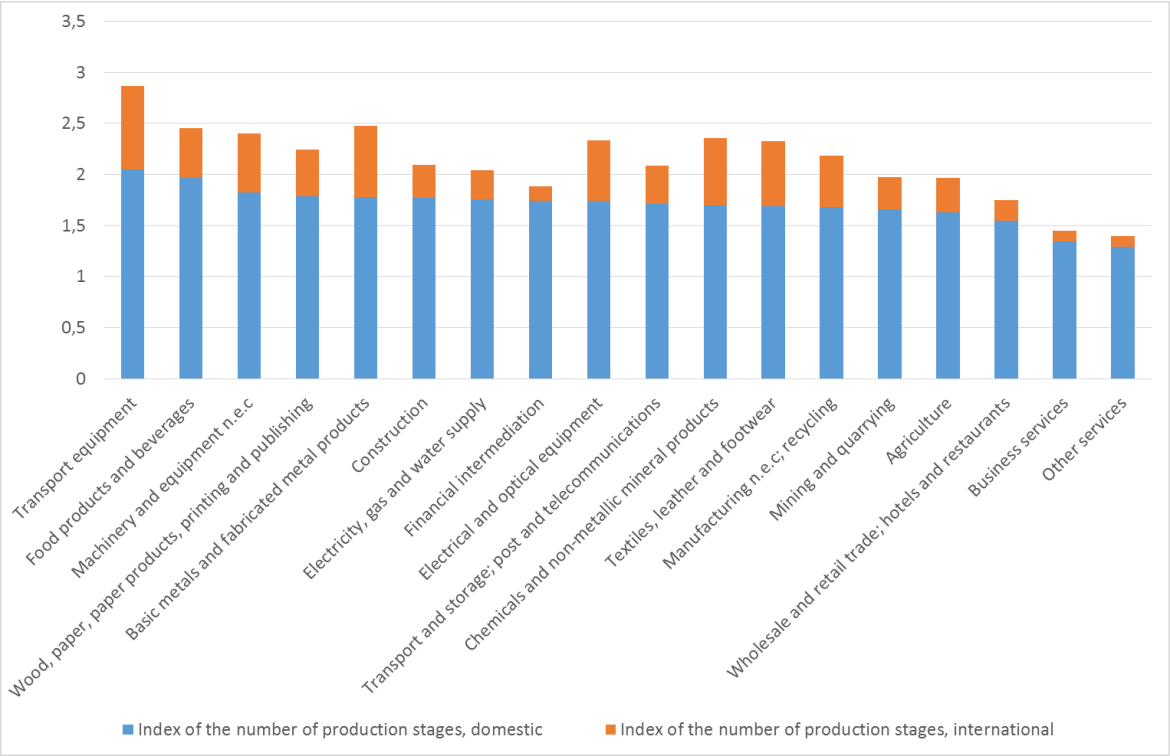
Quelle: WTO Trade in Merchandise Datenbank, eigene Darstellung.

Abbildung 24 setzt bei den Exporten der Endprodukte an, ebenso wie die regelmäßig von verschiedenen Institutionen veröffentlichten Rankings. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie im Detail zu beleuchten, lohnt sich ein Blick auf die Produktionsstufen im In- und Ausland bei den verschiedenen Wirtschaftszweigen.

Abbildung 25 zeigt dies für Deutschland. Der Wert zeigt den Grad der Rückwärtsverbindungen

an, die notwendig sind um ein Produkt herzustellen (vgl. OECD 2013). Dienstleistungen benötigen dabei typischerweise weniger Vorleistungen als das verarbeitende Gewerbe. Anders ausgedrückt, wird die Wertschöpfung durch Dienstleistungen in der Regel dort anfallen, wo die Dienstleistung erbracht wird. Die höchsten Anteile ausländischer Produktionsstufen entfallen auf die Chemie (Rohstoffe), Elektrische Bauteile und Textilien.

Abbildung 25: Wertschöpfungsstufen nach OECD Methode, Deutschland, Anzahl der Produktionsschritte



Quelle: TiVA Datenbank, OECD, eigene Darstellung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Deutschland zwar nicht mehr der Weltmarktführer in der Summe der Exporte ist, aber seine Position unter den führenden Exporteuren gehalten hat. Eine sektorale Betrachtung zeigt, dass die Position im Maschinenbau als gut zu bezeichnen ist, während die Halbleitertechnik eher weniger gut aufgestellt scheint. Wie aber sieht es mit der Herstellung von EE-Gütern, die sich in Untergruppen dieser Sektoren wiederfinden, im Detail aus? Wie lässt sich die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands auf diesen Märkten messen und wie stellt sie sich Vergleich dar?

6.2 ANTEILE AM WELTHANDEL MIT AUSGEWÄHLTEN EE-GÜTERN

Welthandelsanteile $WHA_{i,j}$ eines Landes für einzelne Güter geben einen ersten Überblick über die Position und die Bedeutung des jeweiligen Landes auf dem entsprechenden Weltmarkt. Er wird als Quotient aus den Exporten eines Landes und den gesamten Exporten – dem Welthandel – berechnet:

$$WHA_{i,j} = 100\left(a_{i,j} / \sum_i a_{i,j}\right)$$

Für die Berechnung wird auf Daten aus der Comtrade-Datenbank der UN zurückgegriffen. *a*

beschreibt die Exporte, die Indizes *i* und *j* stehen jeweils für den Länderindex und den Gütergruppenindex. Bei der Berechnung des Welthandelsindex werden jeweils alle berichtenden Länder, für die ein Wert in der Datenbank erfasst ist, berücksichtigt. Die Summe der Exporte über den Länderindex *i* enthält somit nicht nur die Exporte der hier näher untersuchten Länder, sondern die Exporte aller berichtenden Länder. Insofern kann mit dem Welthandelsanteil ein erster Indikator gewonnen werden, der die Rolle der einzelnen Länder auf den Weltmärkten für die betrachteten Gütergruppen widerspiegelt.

Für eine erste Abschätzung der Handelsaktivitäten der einzelnen Länder beschränkt sich die folgende Untersuchung zunächst auf die drei Technologien Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft. Diese drei Technologien haben sich bereits seit längerer Zeit in den einzelnen Ländern etabliert. Infolgedessen haben sich auch internationale Handelsbeziehungen zwischen den Ländern sowie Weltmärkte für Komponenten und Anlagen entwickelt, die im Folgenden analysiert werden sollen. Für jede der drei Technologien wird stellvertretend eine Gütergruppe aus der Comtrade-Datenbank der UN ausgewählt, mit der die Position der einzelnen Länder auf den unterschiedlichen Märkten der jeweiligen Technologien näher beleuchtet werden soll. Die Problematik dabei liegt in der Abgrenzung der einzelnen Gütergruppen, die nicht immer trennscharf nur die Komponenten einer Technologie der erneuerbaren Energien enthalten.

Die UN-Comtrade-Datenbank ist nach dem Harmonized Commodity Description and Coding System (kurz: Harmonized System bzw. HS) klassifiziert. Die HS-Klassifizierung ist ein internationaler Standard, um gehandelte Güter und Waren nach Nummern und Namen zu klassifizieren. Für Windkraft wird die Gütergruppe „850231 - Wind powered generating sets“ untersucht. Diese Gütergruppe kann eindeutig der Technologie Windkraft zugeordnet werden und enthält die windangetriebenen Generatoraggregate, die in Windkraftanlagen verbaut werden. Anders als z.B. große Turmelemente oder Rotorblätter lassen sich die Generatoraggregate leicht transportieren und somit auch international handeln. Für Photovoltaik wird stellvertretend die Gütergruppe „854140 – Photosensitive/photovoltaic/LED semiconductor devices“ herangezogen. Anders als bei Windkraft kann diese Gütergruppe nicht eindeutig der Photovoltaik zugeordnet werden, sondern enthält neben den Solarzellen und in Solarmodulen verbauten Solarzellen auch weitere gehandelte Produkte wie z.B. Halbleiterbauelemente oder LEDs. Diese Tatsache muss bei der späteren Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Für Wasserkraft wird die Gütergruppe „8410 – Hydraulic turbines, water wheels, regulators thereof“ herangezogen. Diese Gütergruppe enthält Wasserturbinen, Wasserräder sowie das entsprechende Zubehör. Im Vergleich zu den zuvor genannten beiden Technologien enthält die Gütergruppe 8410 weitere Untergruppen, die in Summe zusammengefasst werden. Konkret enthält die Gütergruppe 8410 Wasserturbinen und –räder unterschiedlicher Größe und mit unterschiedlicher Leistung. Um Aussagen über die Handelsaktivitäten mit Komponenten und Anlagen der Wasserkraft insgesamt tätigen zu können, wird dementsprechend die Gütergruppe 8410 untersucht. Tabelle 4 fasst die einzelnen betrachteten Gütergruppen und deren Inhalte und Relevanz nochmals zusammen.

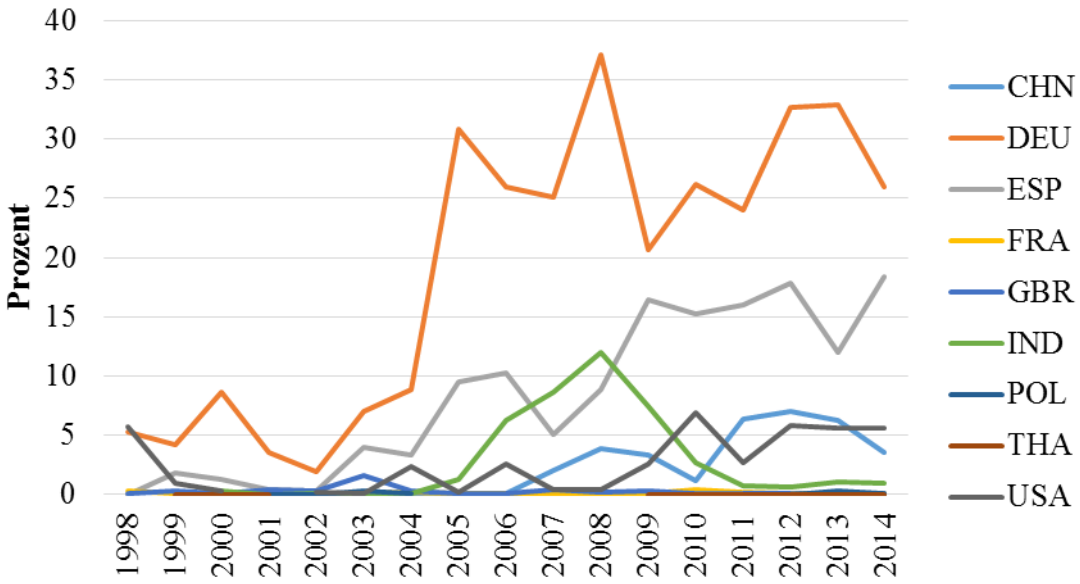
Tabelle 4: UN-Comtrade Gütergruppen für die Analyse der Handelsaktivitäten auf dem Weltmarkt

Technologie	Code	Beschreibung	Abgrenzung
Windkraft	850231	Wind powered generating sets	Windkraftgeneratoren; exakte Zuordnung zur Windkraft
Photovol-taik	854140	Photosensitive/photovoltaic/LED semiconductor devices	Solarzellen sind nur Bestandteil der Gütergruppe; gut als Proxy für Photovoltaik verwendbar
Wasserkraft	8410	Hydraulic turbines, water wheels, regulators therof	Summe aller Größen an Wasserturbinen und Wasserrädern; exakte Zuordnung zur Wasserkraft

Quelle: eigene Darstellung.

Deutschland ist weltweit einer der größten Exporteure bei Windkraftgeneratoren. Im Jahr 2014 lag der Welthandelsanteil gemessen an den monetär bewerteten Ausfuhren der Windkraftgeneratoren bei über 25 %. Seit 1998 hat Deutschland in der hier betrachteten Ländergruppe jeweils die höchsten Welthandelsanteile, die seit 2005 immer über der 20 %-Marke liegen. Nur Dänemark hat im Zeitverlauf noch höhere Welthandelsanteile zu verzeichnen. Spanien belegt im Zeitverlauf und im Jahr 2014 mit einem Welthandelsanteil von knapp unter 20 % jeweils den zweiten Rang, gefolgt im Jahr 2014 von den USA und China.

Abbildung 26: Welthandelsanteile ausgewählter Länder bei Windkraftgeneratoren



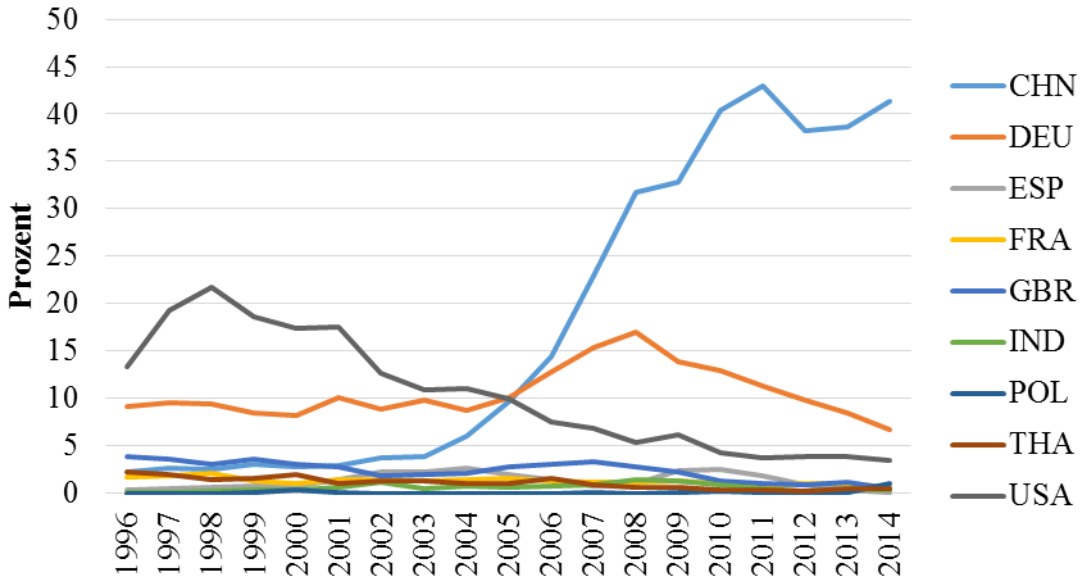
Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

Die Länder mit der frühesten und aktivsten politischen Förderung der Vergangenheit (Dänemark, Deutschland, Spanien) haben bei der genannten Gütergruppe auch die höchsten Exportraten aufzuweisen. Etwa 2/3 der Umsätze erzielen die deutschen Hersteller von Windenergieanlagen auf Exportmärkten. Die hohen Exportquoten stehen im Einklang mit den hohen

Welthandelsanteilen Deutschlands. Die chinesische Windindustrie hat sich in den vergangenen Jahren am stärksten entwickelt und in diesem Zusammenhang auch zunehmend am Welthandel teilgenommen. Fast die Hälfte der weltweit neu installierten Windleistung entfiel z.B. im Jahr 2013 auf China. Auch der Export von Windturbinen wurde in den vergangenen Jahren weiter ausgebaut. Dennoch ist der Marktanteil chinesischer Hersteller von Windkraftanlagen in Deutschland und anderen Ländern verschwindend gering. Wie oben bereits angedeutet, sind die chinesischen Exporte von unter 1 GW Wind-Leistung im Vergleich zum deutschen Exportgeschäft von mehreren GW Wind-Leistung nur sehr gering. Die wesentlichen Gründe hierfür sind hohe Transportkosten für den Transport der großen Komponenten und schlechtere Qualität der chinesischen Windkraftanlagen in Bezug auf Verfügbarkeit und Wirkungsgrade.

Die Vorreiterrolle von Dänemark, Deutschland und Spanien spiegelt sich auch in den absoluten Exportzahlen von windangetriebenen Generatoren wieder. Im Jahr 2013 hat Dänemark windangetriebene Generatoren im Wert von über 2,8 Mrd. US$ exportiert, Deutschland hat als zweitgrößter Exporteur windangetriebene Generatoren im Wert von knapp 2,5 Mrd. US$ exportiert. Mit etwas Abstand folgt Spanien mit einem Exportvolumen von ca. 1 Mrd. US$. China und die USA folgen schließlich mit einem Exportvolumen von unter 0,5 Mrd. US$.

Abbildung 27: Welthandelsanteile ausgewählter Länder bei Solarzellen und Halbleitern



Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

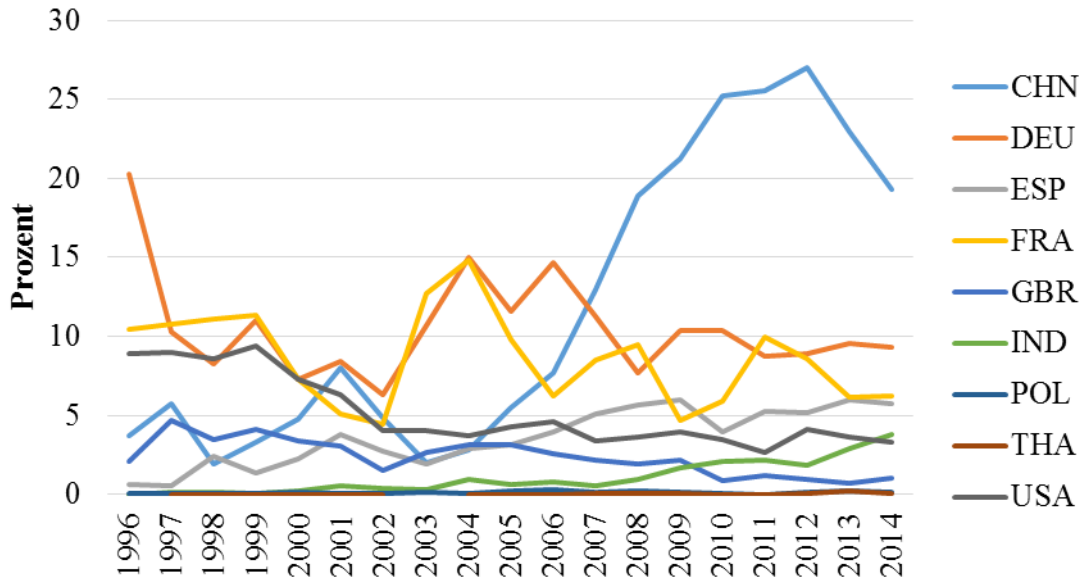
Für einen Eindruck der Handelsaktivitäten auf dem Weltmarkt für Photovoltaikprodukte werden die gehandelten Solarzellen und Halbleiter untersucht. Analog zur oben bereits dargestellten Entwicklung der Rolle Chinas auf den einzelnen Märkten (Silizium, Solarzellen, Solarmodule) kann auch bei den Welthandelsanteilen für Solarzellen das rasante Wachstum und die Dominanz Chinas identifiziert werden. Während der 1990er-Jahre hatten insbesondere Deutschland und die USA nennenswerte Marktanteile bei den hier betrachteten Ländern. Der hohe Welthandelsanteil der USA zum Ende der 1990er-Jahre sind jedoch auf die Computerindustrie und den damit gehandelten Bauteilen zurückzuführen. In den ersten Entwicklungsjahren der Photovoltaik konnte Japan die größten Welthandelsanteile realisieren. Währen die Welthandelsanteile der USA sukzessive gesunken sind, konnte Deutschland zwischen den Jahren 2000 und 2008 seine Welthandelsanteile auf über 17 % steigern. Mit der

oben bereits erläuterten Entwicklung des massiven Ausbaus der Produktionskapazitäten im asiatischen Raum und insbesondere in China geht zum einen das starke Wachstum Chinas bei den Welthandelsanteilen bei Solarzellen einher, zum anderen ist der Welthandelsanteil Deutschlands durch die Überkapazitäten im Markt aus asiatischer Produktion seit 2008 auf einem deutlich sinkenden Ast. Im Jahr 2013 betrug der Welthandelsanteil bereits unter 10 %, aktuell liegt er noch weiter darunter. China hingegen konnte binnen zehn Jahren seine Welthandelsanteile bei Solarzellen und Halbleitern von unter 5 % im Jahr 2003 auf knapp 40 % im Jahr 2014 steigern. Die marktbeherrschende Stellung Chinas lässt sich eindeutig erkennen.

Absolut gesehen hat China im Jahr 2014 Solarzellen und Halbleiter im Wert von knapp 19,4 Mrd. US$ exportiert, Deutschland kommt im Vergleich dazu im Jahr 2014 immer noch auf Exporte in Höhe von ca. 3,1 Mrd. US$.

Der Verlauf der Welthandelsanteile bei Wasserturbinen und -rädern ähnelt insbesondere für China dem Verlauf der Photovoltaik. Seit dem Jahr 2003 sind die chinesischen Welthandelsanteile von unter 5 % auf über 25 % im Jahr 2012 gestiegen, ehe sie wieder leicht rückläufig waren. Bis zum Jahr 2007 war Deutschland bei den hier betrachteten Ländern das Land mit den größten Welthandelsanteilen, diese sind bis zum Jahr 2014 von knapp 15 % auf unter 10 % gesunken. Frankreich hat sich in den betrachteten Jahren bei den Welthandelsanteilen auf einem ähnlichen Niveau bewegt wie Deutschland. Spanien liegt mit etwas über 5 % bei den Welthandelsanteilen nur im Mittelfeld.

Abbildung 28: Welthandelsanteile ausgewählter Länder bei Wasserturbinen und -rädern



Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

Die absoluten Exporte Chinas im Jahr 2014 bei Wasserturbinen und -rädern betrugen 0,31 Mrd. US$ und lagen damit deutlich unterhalb der Exporte Chinas bei Solarzellen und Halbleitern und in etwa auf einem gleichen Niveau wie die Exporte bei Windkraftgeneratoren.

Die Untersuchung von Welthandelsanteilen allein birgt mögliche Verzerrungen: Die Zugehörigkeit von Ländern zu supranationalen Organisationen vereinfacht die Handelsmöglichkeiten mit den jeweiligen Bündnispartnern und erhöht somit die Aktivität auf dem Weltmarkt. Je nach zeitlichem Horizont können auch Wechselkursschwankungen und konjunkturelle Schwankun-

gen die Aussagekraft der Welthandelsanteile weiter einschränken.(BMU 2011) Für eine strukturelle Untersuchung der Handelsaktivitäten einzelnen Länder reicht die absolute Betrachtung der Welthandelsanteile nicht aus. Vielmehr interessiert die strukturelle Zusammensetzung der Exportaktivitäten einer Volkswirtschaft im Vergleich zur Importnachfrage, um Aussagen über den außenhandelsbedingten strukturellen Wandel einer Volkswirtschaft machen zu können (BMU 2011).

6.3 EXPORTSPEZIALISIERUNG, WELTMARKTPRÄSENZ UND KOMPARATIVE VORTEILE

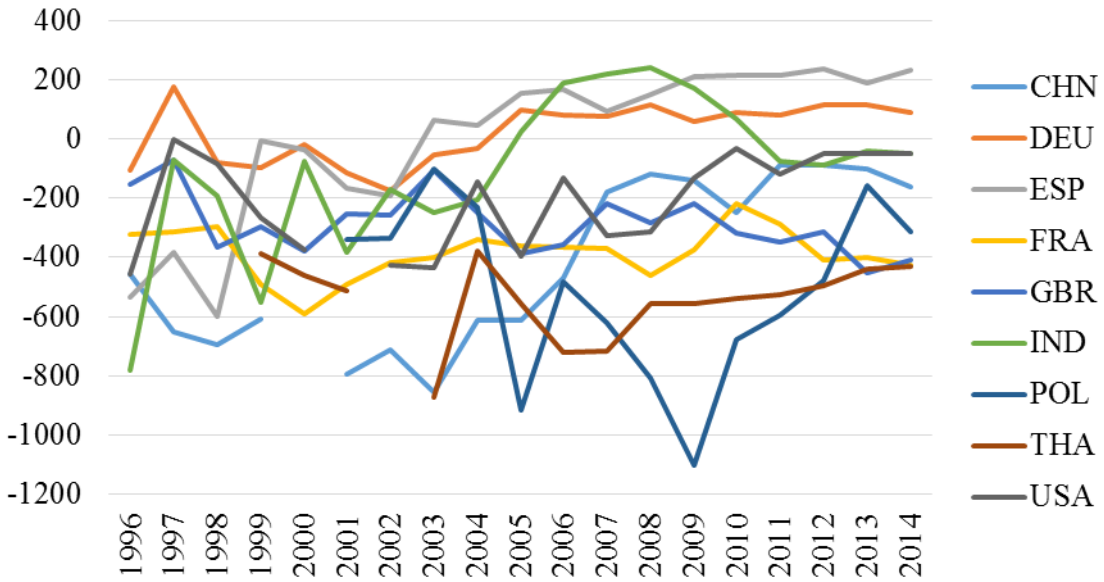
Für ein genaueres Bild der Rolle Deutschlands auf den Weltmärkten für erneuerbare Energien wird im Folgenden die Struktur der Exporte untersucht. Um den Schwächen der absoluten Welthandelsanteile zu begegnen, wird die Exportspezialisierung der betrachteten Länder untersucht und damit die Frage, welche Rolle die einzelnen Gütergruppen der erneuerbaren Energien relativ zum verarbeitenden Gewerbe insgesamt spielen. Konkret kann so untersucht werden, welche Rolle eine bestimmte Gütergruppe für den Außenhandel eines Landes spielt und ob ein Land dementsprechend bei den untersuchten Gütergruppen auf den Exportmärkten stärker vorgedrungen ist als bei anderen Gütergruppen des verarbeitenden Gewerbes.

Im Folgenden werden jeweils die oben bereits verwendeten Gütergruppen der erneuerbaren Technologien Wind, Photovoltaik und Wasserkraft untersucht. Neben den Exportzahlen für die einzelnen Gütergruppen werden als Bezugsgröße für die Berechnungen jeweils die weltweit getätigten Exporte des verarbeitenden Gewerbes herangezogen (Datenquelle: World Trade Organization, WTO). Die folgende Gleichung stellt dar, wie in Anlehnung an BMU 2011 die Exportspezialisierung berechnet wird:

$$RXA_{i,j} = 100 \ln\left[\left(a_{i,j} / \sum_i a_{i,j}\right) / \left(\sum_j a_{i,j} / \sum_{i,j} a_{i,j}\right)\right]$$

In Analogie zur Gleichung für die Welthandelsanteile stehen die Indizes *i* und *j* jeweils für die Länder bzw. die einzelnen Gütergruppen. Die Güte der berechneten Spezialisierungsmaße ist dabei abhängig von der jeweiligen Datenverfügbarkeit in den beiden genannten Quellen. Während bei den UN-Daten alle berichtenden Länder in die Berechnung der Summe mit aufgenommen werden, wird bei den WTO-Daten vereinfachend der von der WTO ausgewiesene weltweite Export insgesamt für das verarbeitende Gewerbe herangezogen. Nach UBA (2011) bietet die logarithmische Darstellung den Vorteil, dass das Maß kontinuierlich, ungebunden und symmetrisch ist. Ein positiver RXA-Wert bedeutet, dass das jeweilige Land Exportspezialisierungsvorteile bei den Gütern der jeweiligen Gütergruppe (z.B. 850231 Windkraftgeneratoren) hat, weil das Land bei dieser Gütergruppe relativ stärker auf Auslandsmärkte vorgedrungen ist im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe.(UBA 2011)

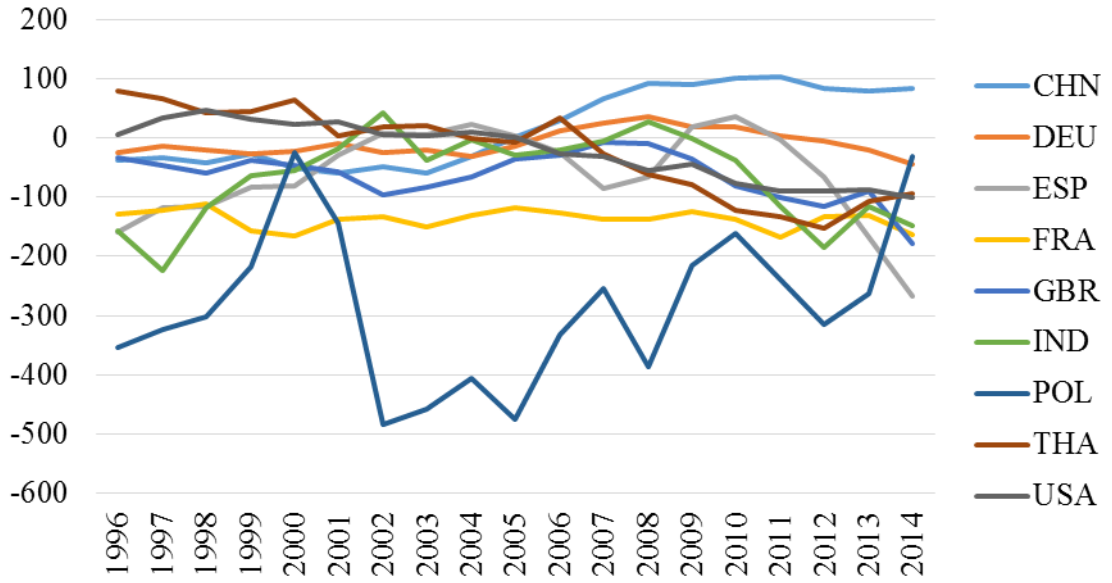
Abbildung 29: Spezialisierung ausgewählter Länder (RXA-Werte) bei Windkraftgeneratoren



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Abbildung 29 verdeutlicht die RXA-Werte für Windkraftgeneratoren für ausgewählte Länder. Windkraftgeneratoren stellen für Deutschland und Spanien ein wichtiges Exportgut dar. Insbesondere Deutschland hat in seiner Vorreiterrolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien einen Industriezweig für Windkraftanlagen aufgebaut, der auch auf den Exportmärkten aktiv ist. Seit 2004 weist Deutschland durchgehend eine positive Exportspezialisierung bei Windkraftgeneratoren auf und liegt damit bei den betrachteten Ländern an zweiter Position. Lediglich Spanien und zwischenzeitlich auch Indien haben eine größere positive Exportspezialisierung in diesem Segment vorzuweisen. In Indien ist mit Suzlon Energy eines der größten Unternehmen der Windkraftanlagenproduktion ansässig. Suzlon hat weltweit einen Marktanteil von über 6 % und ist der Hauptlieferant für den indischen Markt. In China haben Windkraftgeneratoren in den vergangenen Jahren an Bedeutung für den Export zugenommen, die Werte für die Exportspezialisierung sind aber durchweg negativ. Andere chinesische Exportgüter des verarbeitenden Gewerbes haben ein größeres Exportpotenzial als die Windkraftgeneratoren. Die USA hatten in den vergangenen Jahren einen steigenden Trend aufzuweisen, konnten mit den RXA-Werten aber nicht in den positiven Bereich gelangen.

Abbildung 30: Spezialisierung ausgewählter Länder (RXA-Werte) bei Solarzellen und Halbleitern

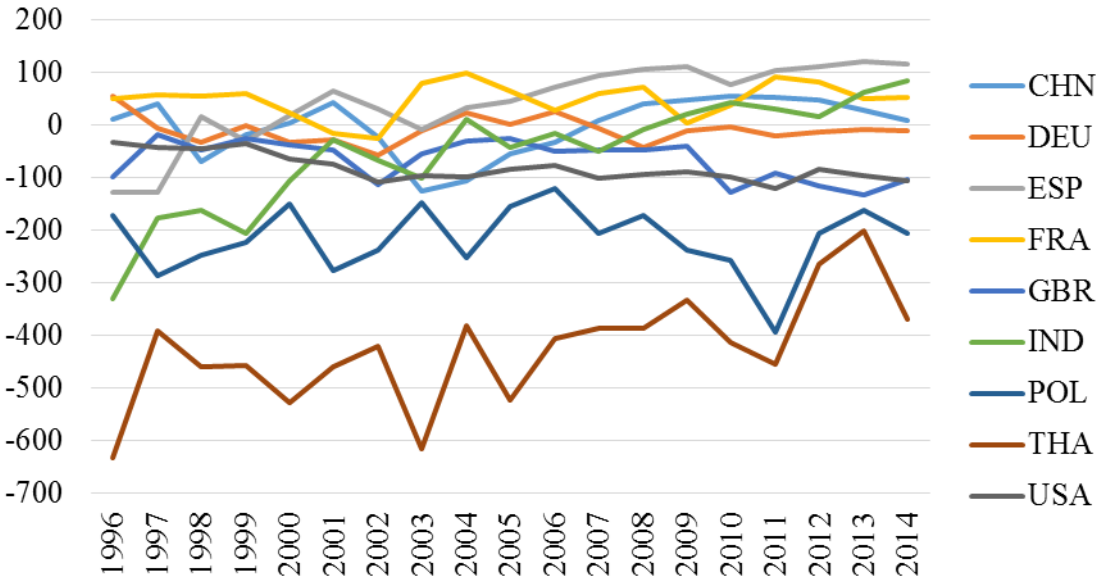


Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Abbildung 30 verdeutlicht die RXA-Werte für Solarzellen und Halbleiter. Im Vergleich zur Windenergie ergeben sich beim Handel mit Photovoltaik-Zellen deutliche Unterschiede. Im Jahr 2013 weist mit China nur ein Land einen positiven RXA-Wert und damit Exportspezialisierungsvorteile auf. Der Abstand zu den übrigen betrachteten Ländern ist dabei deutlich und hat sich in den vergangenen Jahren weiter vergrößert. Ab dem Jahr 2003 kann für China ein positiver Trend für die Exportspezialisierung erkannt werden, ab dem Jahr 2005 sind die Werte im positiven Bereich, zuletzt aber wieder mit einer leicht fallenden Tendenz. Für Deutschland können für die Jahre 2006 bis 2011 ebenfalls positive RXA-Werte identifiziert werden, seit 2008 hat jedoch ein negativer Trend eingesetzt, der die Exportspezialisierungsvorteile Deutschlands hat sukzessive bis in den negativen Bereich sinken lassen. Die Exportspezialisierung Spaniens hat einen deutlich unsteteren Verlauf genommen. Einer positiven Entwicklung der Exportspezialisierung zwischen 1996 und 2004 folgte ein Einbruch mit erneutem Anstieg bis zum Jahr 2010, ehe sich in den vergangenen Jahren wieder eine negative Tendenz mit einer negativen Exportspezialisierung eingestellt hat. Die USA haben im gesamten betrachteten Zeitraum eine negative Entwicklung bei der Exportspezialisierung zu verzeichnen, die die RXA-Werte ab 2005 in den negativen Bereich geführt hat. Polen verzerrt das gesamte Bild und liegt als einziges Land deutlich im negativen Bereich. Mit dem Wachstum Chinas bei der Herstellung von Photovoltaikmodulen sind die Exporte der übrigen Länder insgesamt deutlich gesunken, wodurch die Exportspezialisierung bei fast allen Ländern in den vergangen Jahren einen negativen Trend aufweist.

Für Wasserkraft nimmt relativ zum übrigen verarbeitenden Gewerbe der Export von Wasserkraftturbinen für Deutschland nur eine unbedeutende Rolle ein. Die RXA-Werte für Wasserturbinen und -räder verlaufen für Deutschland im betrachteten Zeitraum fast immer im negativen Bereich. Die Länder mit positiven RXA-Werten sind Spanien, Indien, Frankreich und China. Insbesondere Spanien konnte in den vergangenen Jahren mit wenigen Ausnahmen jeweils die größte Exportspezialisierung bei den hier betrachteten Ländern realisieren.

Abbildung 31: Spezialisierung ausgewählter Länder (RXA-Werte) bei Wasserturbinen und -rädern



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Analog zur Exportspezialisierung kann die Importspezialisierung eines Landes berechnet und dementsprechend interpretiert werden, worauf an dieser Stelle aber verzichtet wird.

Als weitere Kenngröße zur Beurteilung der Außenhandelsstruktur eines Landes kann die Außenhandelsspezialisierung betrachtet werden. Diese Kennzahl macht eine Aussage über die komparativen Vorteile einer Volkswirtschaft, indem sie die strukturelle Zusammensetzung des Exportangebots auf der einen Seite und der Importnachfrage auf der anderen Seite gegenüberstellt.(UBA 2011)

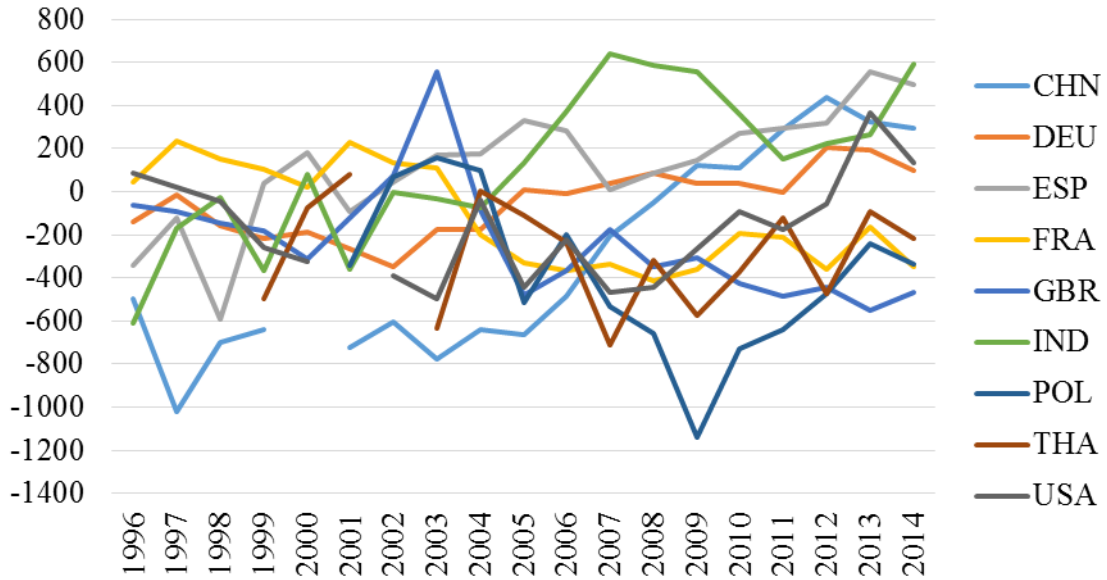
$$RCA_{i,j} = 100 \ln\left[\left(a_{i,j}/e_{i,j}\right)/\left(\sum_j a_{i,j} / \sum_j e_{i,j}\right)\right]$$

Der RCA stellt dafür die Ausfuhr-Einfuhr-Relation einer einzelnen Gütergruppe der Ausfuhr-Einfuhr-Relation der jeweiligen Obergruppe (hier: verarbeitendes Gewerbe) gegenüber. Ein positiver RCA-Wert für eine Gütergruppe deutet auf komparative Vorteile hin: inländische Produzenten konnten sich bei der betrachteten Gütergruppe besser auf den ausländischen Märkten etablieren als es die ausländischen Produzenten auf dem heimischen Markt tun konnten. Bei einem positiven RCA-Wert kann die entsprechende Gütergruppe somit als besonders wettbewerbsfähig angesehen werden.(UBA 2011)

Deutschland hat sich in der Vergangenheit komparative Vorteile im Außenhandel mit Windkraftgeneratoren erarbeitet. Während der deutsche RCA-Wert bis zum Jahr 2004 negative Werte aufweist, konnte Deutschland seine Position im Außenhandel verbessern, sodass der RCA-Wert seit 2005 im positiven Bereich verläuft. Eine deutliche Steigerung bei den komparativen Vorteilen im Außenhandel hat China zu verzeichnen. Der RCA-Wert hat sich im Verlauf der letzten 15 Jahre aus dem deutlich negativen Bereich in den positiven Bereich entwickelt. Neben China konnte auch die USA eine kontinuierlich wachsende Spezialisierung realisieren. Im Unterschied zur Exportspezialisierung weisen neben China auch die USA und Indien eine größere Außenhandelsspezialisierung als Deutschland auf. Indien war im Jahr 2014 das Land

mit der stärksten Außenhandelsspezialisierung. Für Großbritannien lässt sich für die vergangenen zehn Jahr eine eher nachlassende Außenhandelsspezialisierung erkennen. Mit Ausnahme der Jahre 2002 bis 2004 bewegen sich die RCA-Werte mit einer fallenden Tendenz im negativen Bereich.

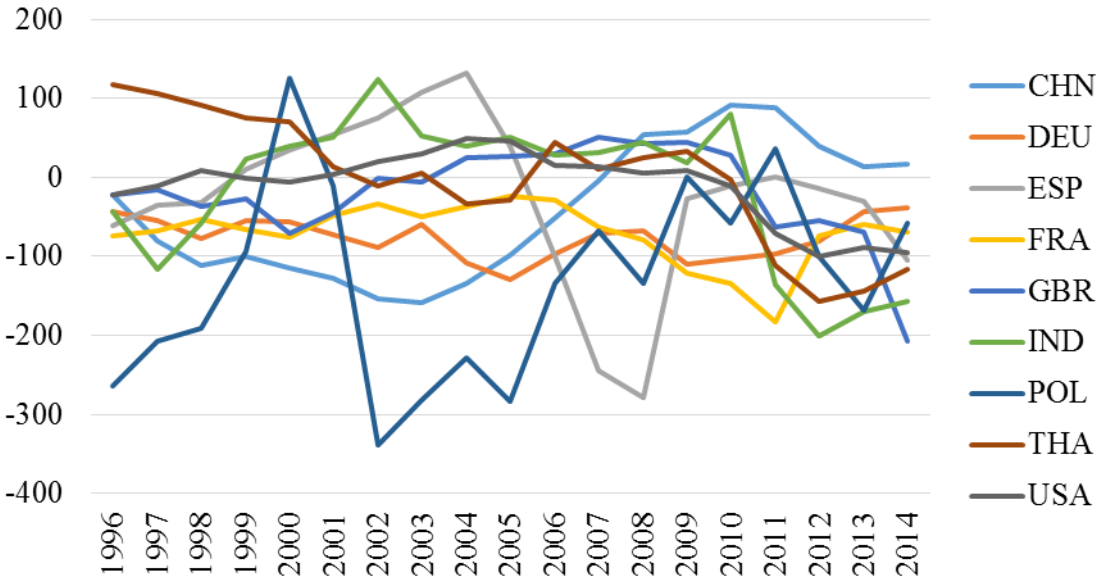
Abbildung 32: Spezialisierung ausgewählter Länder (RCA-Werte) bei Windkraftgeneratoren



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Anders als bei der Windenergie konnte Deutschland bei Solarzellen und Halbleitern in der Vergangenheit keine komparativen Vorteile auf dem Weltmarkt erzielen. Der RCA-Wert für Deutschland verläuft im betrachteten Zeitraum durchgängig im negativen Bereich, zuletzt mit einer leicht ansteigenden Tendenz. China wiederum ist das einzige Land, welches zuletzt positive RCA-Werte aufweisen konnte. Die Entwicklung der Rolle Chinas auf dem Weltmarkt für Photovoltaik-Produkte lässt sich ebenfalls an den RCA-Werten in Abbildung 33 erkennen. In der Zeit von 2003 bis 2011 hat China seine komparativen Vorteile auf dem Weltmarkt Solarzellen und Halbleitern ausbauen können. Die komparativen Vorteile Spaniens weisen einen ähnlich sprunghaften Verlauf auf wie bei der Exportspezialisierung. Seit 2009 befinden sich die RCA-Werte nur noch knapp im negativen Bereich.

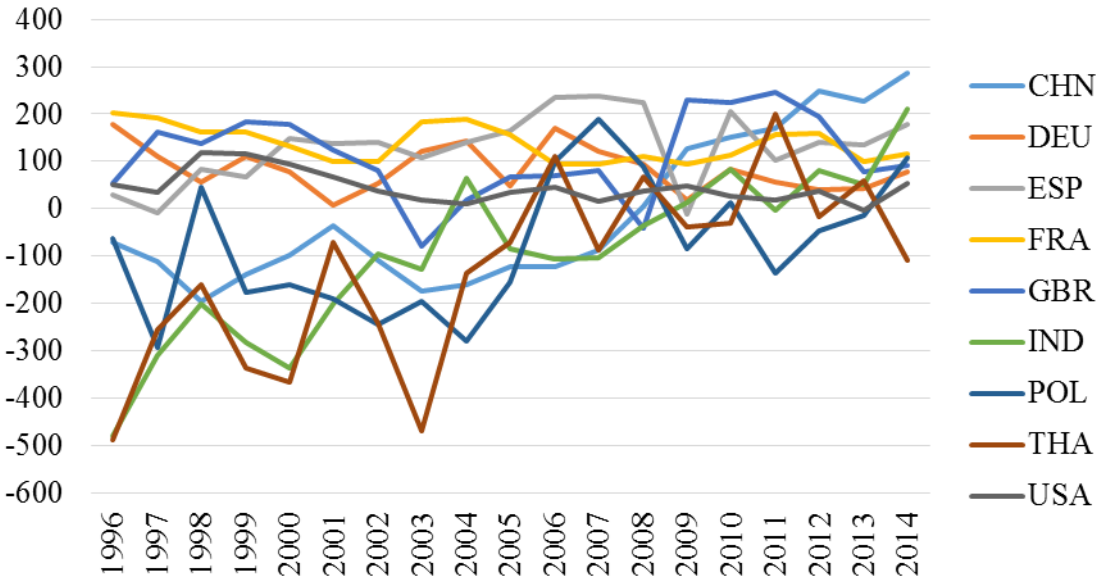
Abbildung 33: Spezialisierung ausgewählter Länder (RCA-Werte) bei Solarzellen und Halbleitern



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Für Wasserturbinen und –räder ergibt sich bei der Außenhandelsspezialisierung ein deutlich differenzierteres Bild im Vergleich zu den zuvor betrachteten Technologien. Bei der Betrachtung der RCA-Werte zur Beurteilung der Außenhandelsspezialisierung fällt auf, dass diese in den vergangenen Jahren fast für alle betrachteten Länder im positiven Bereich verlaufen. Der Logik dieses Indikators folgend haben somit die meisten der hier betrachteten Länder komparative Vorteile auf dem Weltmarkt. Lediglich Polen liegt im Jahr 2013 als einziges Land im negativen Bereich. Deutschland liegt bei der Außenhandelsspezialisierung eher im unteren Mittelfeld der beobachteten Länder, hat aber in den vergangenen Jahren stets einen positiven RCA-Wert vorzuweisen, der aber seit dem Jahr 2006 eher eine fallende Tendenz aufweist. Analog zu den oben bereits betrachteten Technologien Wind und PV hat China auch bei der hier betrachteten Gütergruppe komparative Außenhandelsvorteile.

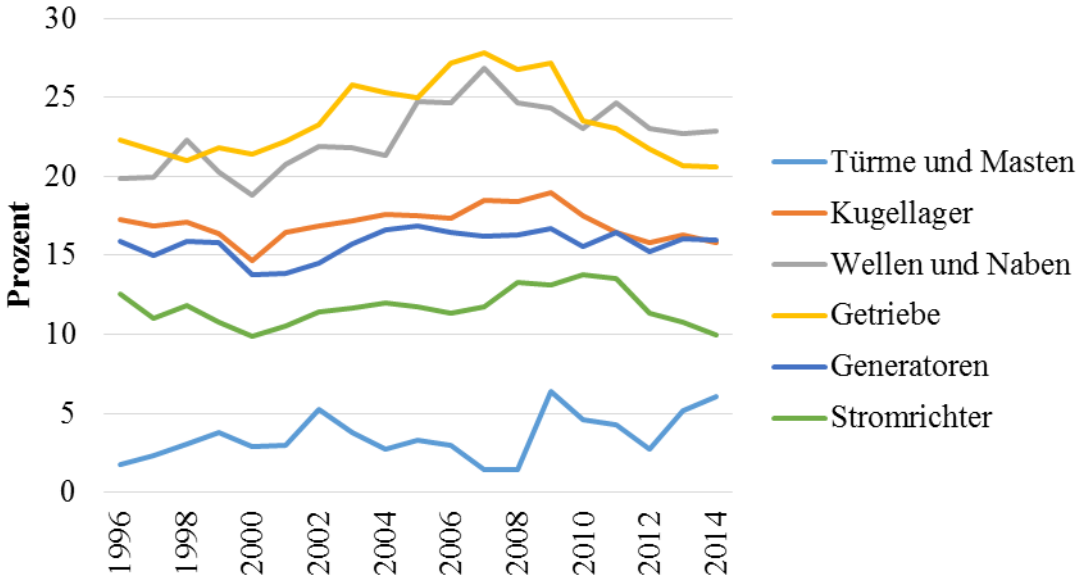
Abbildung 34: Spezialisierung ausgewählter Länder (RCA-Werte) bei Wasserturbinen und -rädern



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Nach der Einführung der Indikatoren und deren Anwendung auf die wichtigsten Komponenten der betrachteten EE-Technologien, werden im Folgenden die Handelsdaten für weitere Hauptkomponenten, die für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien benötigt werden, für Deutschland analysiert. Dabei handelt es sich um Gütergruppen, welche nicht trennscharf einzelnen Technologien zugeordnet werden können, sondern vielmehr allgemein Deutschlands Rolle bei der Produktion bzw. beim Handel mit diesen Gütern darstellen. Konkret handelt es sich dabei um die Gütergruppen für Kugellager, Wellen und Naben, Getriebe und Transformatoren. Die Indikatoren dienen dazu, die zukünftige Rolle Deutschlands beim Handel mit Hauptkomponenten und Vorleistungen besser einschätzen zu können.

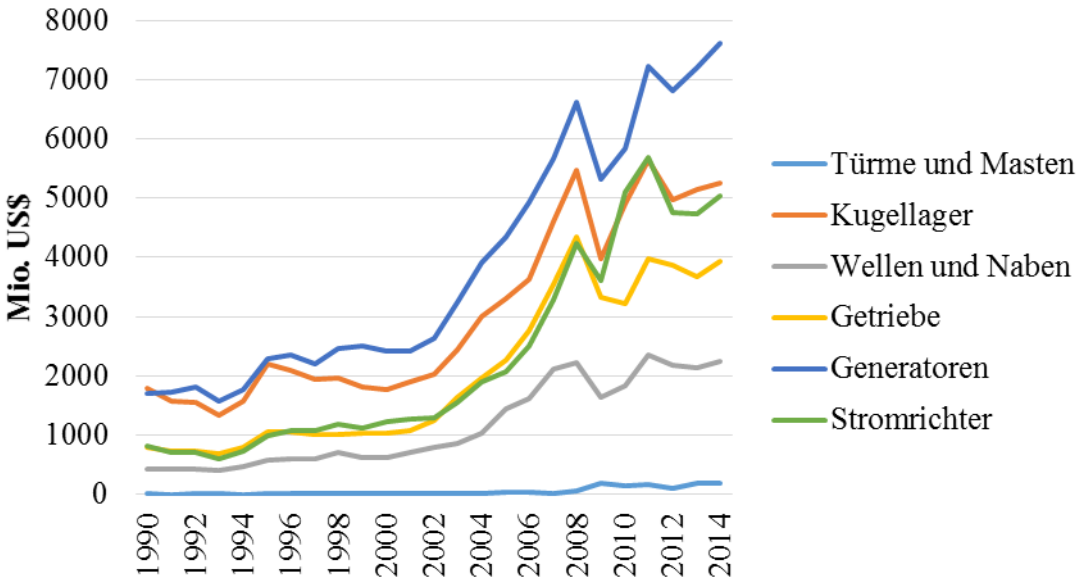
Abbildung 35: Welthandelsanteile Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Abbildung 35 verdeutlicht die Welthandelsanteile Deutschlands für einige weitere oben nicht genannte EE-komponentennahe Gütergruppen. Die Gütergruppen enthalten z.B. alle aus Deutschland exportierten Kugellager oder Generatoren, und nicht nur diejenigen, welche sich eindeutig den jeweiligen EE-Technologien zuordnen lassen. Die hier dargestellten Kennzahlen und Indikatoren verdeutlichen somit lediglich Deutschlands Wettbewerbsposition bei den jeweiligen Gütergruppen. Im weiteren Verlauf muss daher analysiert werden, inwiefern die Marktposition Deutschlands bei den genannten Gütergruppen sich positiv oder negativ auf den Export von deutschen EE-Technologien und deren Komponenten auswirkt. Die Idee dahinter ist, dass ein Unternehmen, welches stark beim Export von z.B. Getrieben ist, diese durch leichte technische Anpassungen auch für Windkrafträder produzieren und exportieren kann. Deutschlands starke Exportaktivitäten spiegeln sich auch bei den hier gewählten Gütergruppen wider, die sich dem Stahlbau, dem Maschinenbau sowie der Elektrotechnik zuordnen lassen. Die Anteile am Welthandel liegen bei den genannten Gütergruppen zwischen 10 und 25 %. Lediglich bei Türmen und Masten liegt der Welthandelsanteil im Zeitablauf jeweils unter 5 %. Dies hängt damit zusammen, dass es ökonomisch sinnvoller ist, bei Bedarf vor Ort neue Produktionsanlagen zu errichten, um vor Ort produzieren zu können, als die großen und schweren Turmkonstruktionen zu transportieren und zu exportieren. In der Gütergruppe der Stromrichter sind u.a. die Wechselrichter enthalten. Tabelle 3 hat bereits verdeutlicht, dass der Marktanteil von SMA als Weltmarktführer in den vergangenen Jahren deutlich gesunken ist und immer mehr kleinere Produzenten aus Asien auf dem Markt für Wechselrichter aktiv wurden. Wechselrichter sind darüber hinaus nur ein Bestandteil der Gütergruppe. Dementsprechend kann der Anteil Deutschlands am Welthandel von ca. 10 % im Zeitablauf nicht eindeutig den Wechselrichtern zugeordnet werden.

Abbildung 36: Exporte Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen



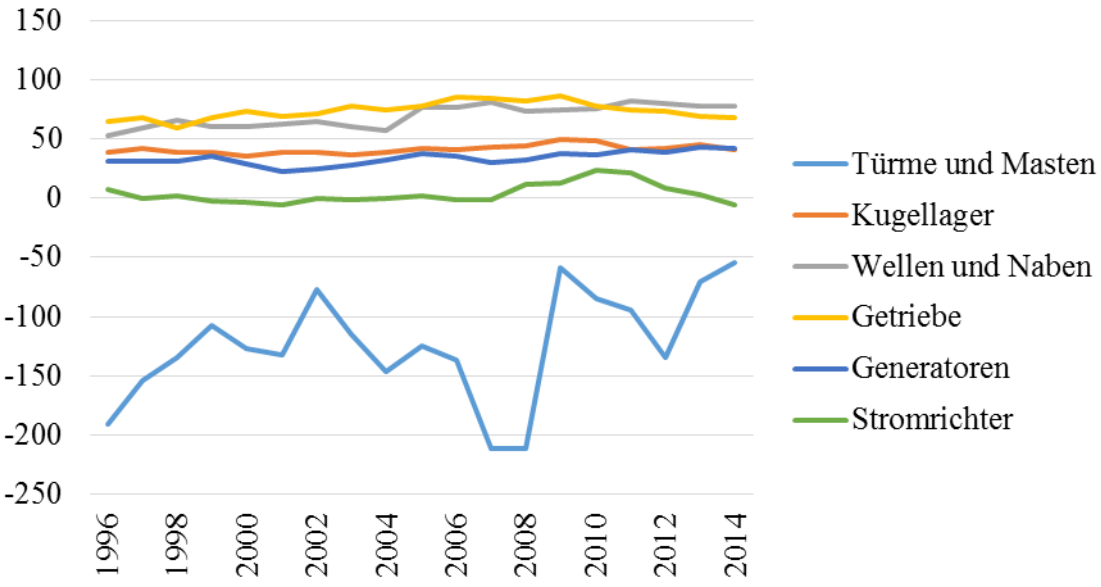
Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Abbildung 36 verdeutlicht die absoluten Exporte für die komponentennahen Gütergruppen. Durch die gröbere Abgrenzung der Gütergruppen fallen die Exporte bei diesen Gütergruppen im Vergleich zu den oben teilweise genannten technologiespezifischen Hauptkomponenten deutlich größer aus. Interessanterweise hat Deutschland bei den für sich exportstärksten Gü-

tergruppen jeweils die geringsten Anteile am Welthandel bei den hier betrachteten Gütergruppen. Im Vergleich zum exportstärksten Sektor Deutschlands, dem Export von Kraftfahrzeugen zur Personenbeförderung mit einem Exportvolumen von über 160 Mrd. US$ im Jahr 2014, haben die untersuchten Gütergruppen durchaus eine nennenswerte Größenordnung für Deutschlands Exporte. Die Expertise und die Höhe der Exporte deutscher Unternehmen können zu dem Schluss führen, dass die deutschen Unternehmen in Zukunft auch Exporte von Komponenten für EE-Technologien ermöglichen können, vorausgesetzt, dass die Komponenten für EE-Technologien sich technisch nicht allzu weit von den in den Gütergruppen enthaltenen Gütern unterscheiden.

Eine solche Einschätzung bedarf jedoch weiterer Indikatoren, insbesondere die oben bereits eingeführten Indikatoren für die Exportspezialisierung und die Außenhandelsspezialisierung können diese Einschätzung relativieren. Die Welthandelsanteile finden Eingang bei der Berechnung der Exportspezialisierung eines Landes und führen zu einem ähnlichen Verlauf der RXA-Werte. Abbildung 37 verdeutlicht für die komponentennahen Gütergruppen, in welchen Gütergruppen Deutschland Exportspezialisierungsvorteile hat und in welchen nicht. Relativ zum verarbeitenden Gewerbe insgesamt ist Deutschland insbesondere bei Türmen und Masten aus den oben genannten Gründen sowie bei Stromrichtern schlechter auf Auslandsmärkte vorgedrungen. Bei den weiteren komponentennahen Gütergruppen werden positive RXA-Werte realisiert, insbesondere bei Wellen und Getrieben.

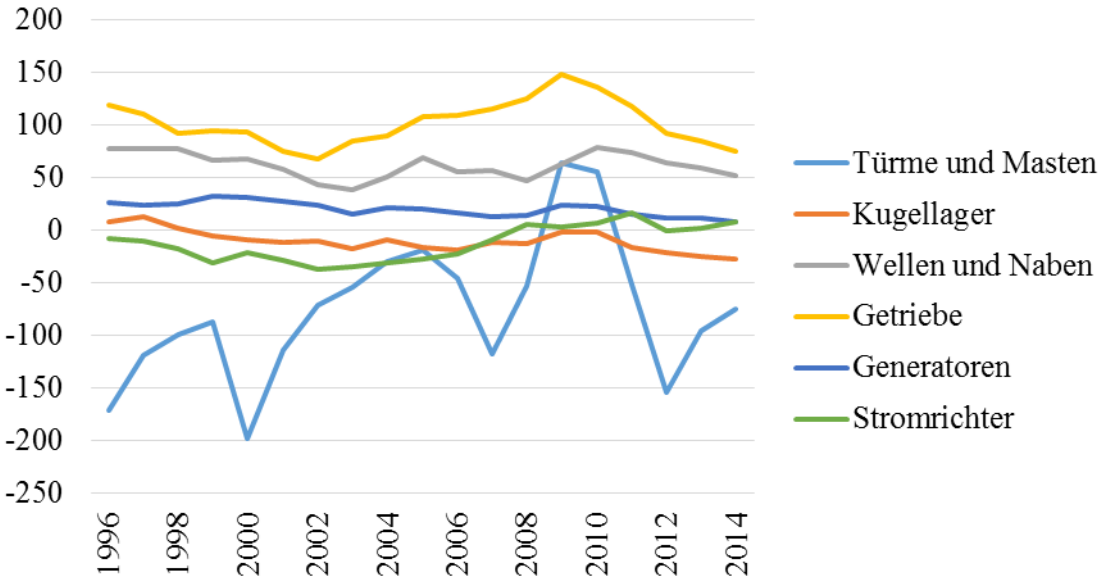
Abbildung 37: Exportspezialisierung (RXA-Werte) Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Die Außenhandelsspezialisierung Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen ist in Abbildung 38 dargestellt. Insbesondere bei Getrieben und Wellen hat Deutschland komparative Wettbewerbsvorteile und konnte relativ zum verarbeitenden Gewerbe insgesamt besser im Ausland Fuß fassen als es ausländischen Unternehmen in Deutschland gelungen ist. Bei Stromrichtern, Kugellagern und Türmen und Masten hingegen können keine komparativen Wettbewerbsvorteile erkannt werden. Die RCA-Werte verlaufen um einen Wert von Null bzw. darunter.

Abbildung 38: Außenhandelsspezialisierung (RCA-Werte) Deutschlands bei komponentennahen Gütergruppen

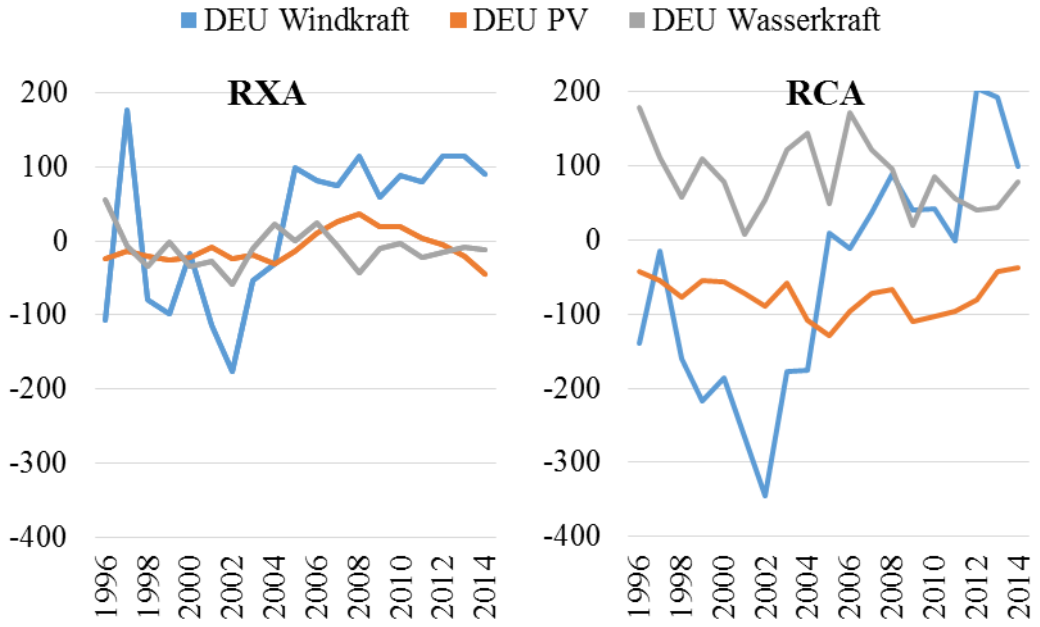


Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

6.4 WETTBEWERBER IM VERGLEICH – RXA VS. RCA

Für eine fokussierte Länderbetrachtung werden im Folgenden nochmals die Export- und Außenhandelsspezialisierungen für einzelne Länder für die eingangs untersuchten Gütergruppen Windkraftgeneratoren, Solarzellen und Wasserkrafträder gegenübergestellt. Zum einen können so die technologischen Stärken der einzelnen Länder besser identifiziert werden, zum anderen können technologiespezifisch Rückschlüsse auf die Entwicklung des jeweiligen Spezialisierungsgrad veranschaulicht werden.

Abbildung 39: Spezialisierung Deutschlands bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien

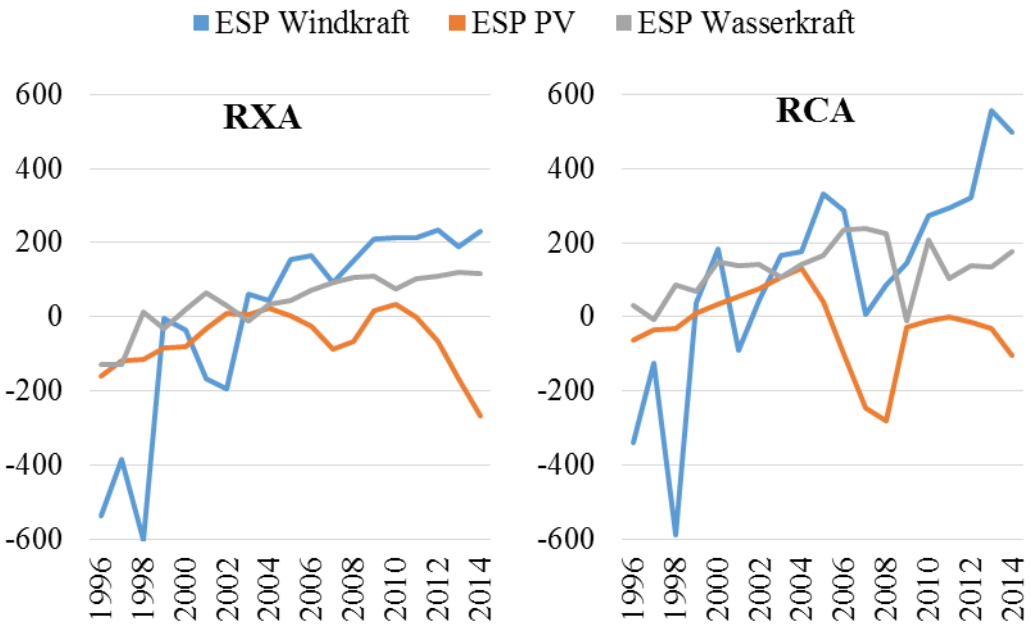


Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Wie bereits in der obigen Diskussion herausgestellt, ist Deutschland insbesondere bei der Windenergie gut im Markt positioniert. Die positiven RXA-Werte seit dem Jahr 2004 bedeuten, dass der Anteil der Gütergruppe am Welthandel höher ist als bei der verarbeitenden Industrie insgesamt. Für Photovoltaik kann diese Einschätzung nur für die Jahre 2006 bis 2011 abgegeben werden. Bei Wasserkraft kann in der untersuchten Gütergruppe keine Spezialisierung festgestellt werden. Die EEG-bedingte Förderung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen hat dafür gesorgt, dass es zu einem starken Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland gekommen ist. So hat insbesondere der Zubau an Windenergieleistung im Zeitraum von 2000 bis 2005 für eine hohe Inlandsnachfrage und damit einhergehend sogar zu Importen von Windkraftanlagen oder deren Teile geführt. Dieser Effekt kann auch als Import-Sog bezeichnet werden: um die heimische Nachfrage decken zu können, werden die entsprechenden Anlagen importiert; entsprechend fallen die Exporte in diesen Zeiten gering aus. Die leichte Abschwächung des inländischen Zubaus in den Jahren 2006 bis 2011 hat schließlich das Exportgeschäft deutlich angekurbelt, um die in Deutschland vorhandenen Produktionskapazitäten auch weiterhin auslasten zu können. Dementsprechend fallen die RXA-Werte seit 2005 positiv aus, die Export-Import-Relation verläuft bedingt durch die Exportüberschüsse seit 2005 auch im positiven Bereich. Gedämpft wurden die Exporte der kapitalintensiven Windkraftanlagen durch die Wirtschaftskrise. Die komparativen Vorteile auf dem Weltmarkt für Windkraftanlagen konnte Deutschland jedoch auch nach der Wirtschaftskrise wahren. Der starke Ausbau der Photovoltaik konnte im betrachteten Zeitraum nicht alleine durch die inländische Produktion gedeckt werden, sodass Deutschland auf Importe angewiesen war und sich keine dauerhaften komparativen Vorteile auf dem Weltmarkt für Solarzellen erarbeiten konnte.

Analog zur guten deutschen Marktposition bei Windkraft ist auch Spanien ein großer Anbieter von Windkraftanlagen auf dem Weltmarkt. Die Exportspezialisierung ist seit dem Jahr 2003 im positiven Bereich. Windenergie wurde in Spanien deutlich früher gefördert und ausgebaut als Photovoltaik. Spanien zählt heute zu einem der größten Windstromproduzenten weltweit. Durch die attraktiven Förderbedingungen sowie der Einführung von Local-Content-Regelungen hat Spanien eine umfangreiche Windindustrie aufbauen können, die sämtliche Aspekte der Wertschöpfungskette abdeckt. Der Großteil der Windkraftanlagen wurde durch einheimische Produzenten hergestellt, die auch auf den ausländischen Märkten aktiv sind. Analog zu Deutschland konnten so komparative Vorteile auf dem Markt für Windkraftanlagen generiert werden. Die RXA-Werte und die RCA-Werte verlaufen seit Anfang 2000 jeweils im positiven Bereich. Durch geänderte Förderbedingungen in Spanien und die Kappung der Einspeisevergütung ist die Investitionstätigkeit rückläufig und wird auch in Zukunft weiter sinken. Die gute Position spanischer Anbieter auf dem Weltmarkt wird also in Zukunft entscheidend dafür sein, ob durch das starke Exportgeschäft die schrumpfende Nachfrage im Inland kompensiert werden kann.

Abbildung 40: Spezialisierung Spaniens bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien



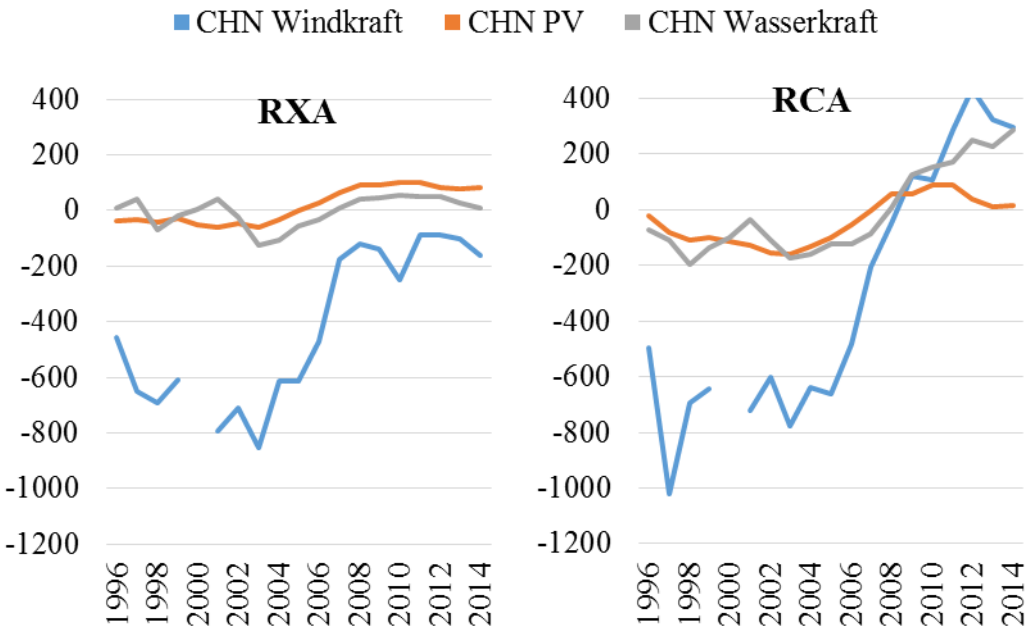
Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Die Kürzung der Förderungssätze sowie die Einführung eines Zubaudeckels für Photovoltaik nach der Finanzkrise im Jahr 2008 hatte insbesondere Auswirkungen auf die Photovoltaik-Industrie in Spanien und auch weltweit. Nach Jahren des starken Zubaus der Photovoltaik, der auch Importe von Photovoltaik-Produkten nötig gemacht hat, brach der Markt nach 2008 ein. Der Zubau an Photovoltaik ist seitdem sehr begrenzt und beschränkt sich auf Projekte zur Eigenversorgung oder auf bereits genehmigte Altprojekte. Die in 2008 noch leicht vorhandene Exportspezialisierung brach daraufhin ein, der im Vergleich zur verarbeitenden Industrie stärkere Importüberschuss für Solarzellen hat sich nach 2008 neutralisiert, da Im- und Exporte drastisch zurückgegangen sind. Durch zu hohe Fördersätze konnte zwar die Photovoltaik-Leistung stark ausgebaut werden, eine Marktentwicklung wie bei der Windindustrie konnte aber nicht realisiert werden.

Die Rolle Chinas auf den Weltmärkten für erneuerbare Energien ist so dominant wie eindrucksvoll. Die Entwicklungen Chinas bei den unterschiedlichen Technologien wurden oben bereits erläutert. Obwohl China bei der Produktion von Solarzellen und auch bei der Herstellung von Windkraftanlagen zu einem der größten Anbieter weltweit zählt, fallen die Export- und Außenhandelsspezialisierungen eher gering aus. Ein wesentlicher Grund für diese Erkenntnis ist die starke Position Chinas auf dem Weltmarkt in der verarbeitenden Industrie insgesamt. China zeichnet sich für den größten Anteil an der weltweiten industriellen Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe verantwortlich, vor Ländern wie den USA und Deutschland. Die Stärke Chinas im verarbeitenden Gewerbe insgesamt lässt so die Bedeutung der erneuerbaren Energien für China, ausgedrückt durch die RXA- und RCA-Kennzahlen, etwas nachrangig erscheinen. Die Photovoltaik weist eine positive Exportspezialisierung auf, die im Vergleich zu den übrigen Ländern weltweit die größte ist. Auch für Wasserkraft konnten positive Exportspezialisierungsvorteile erarbeitet werden. Bei der Windkraft ist die Exportspezialisierung im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe eher unterdurchschnittlich. Die Außenhandelsspezialisierung fällt hingegen für die Windenergie am größten aus und weist zusammen mit der Wasser-

kraft in den vergangenen Jahren einen deutlichen positiven Trend auf. Im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe insgesamt können alle betrachteten Technologien als international wettbewerbsfähig eingestuft werden.

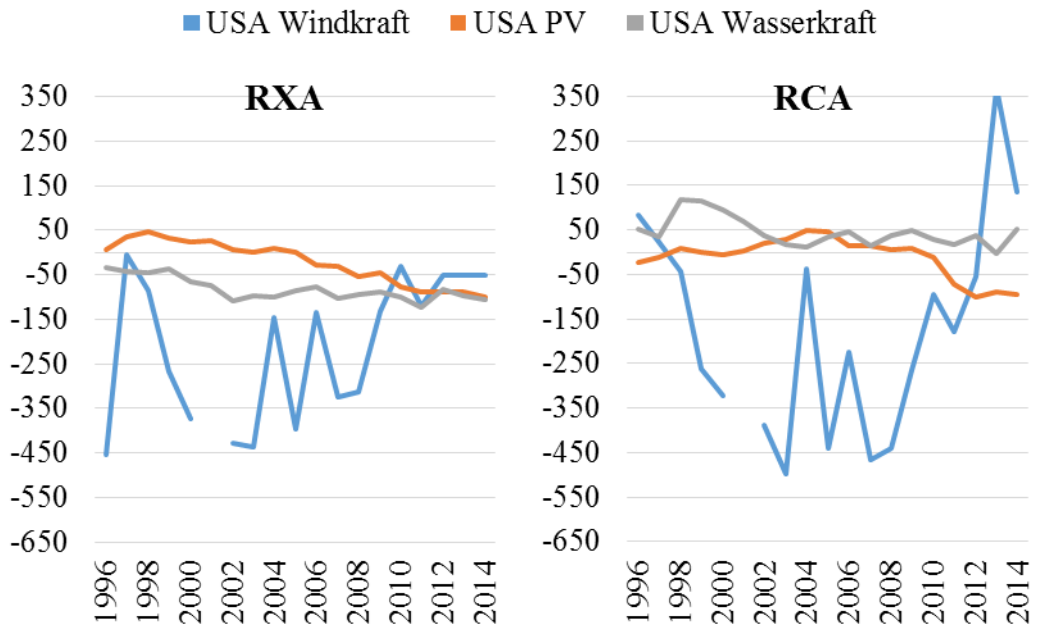
Abbildung 41: Spezialisierung Chinas bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Die USA sind nach China das Land mit der größten installierten Windleistung. Der Markt zählt zu den größten der Welt. Dennoch haben es die USA in der Vergangenheit bislang verpasst, eine entsprechende heimische Windindustrie wie in Deutschland, Dänemark oder Spanien aufzubauen und zu etablieren. Der RXA-Wert für Windkraftgeneratoren in den USA liegt im gesamten betrachteten Zeitraum im negativen Bereich, eine Exportspezialisierung konnte bislang nicht stattfinden. Vielmehr wurden die Windkraftanlagen in den USA auch mit Hilfe von Importen realisiert. Erst in den vergangenen zehn Jahren haben die großen Hersteller von Windkraftanlagen Produktionsstätten in den USA errichtet. Der Ausbau der Produktionsstätten in den USA hatte zur Folge, dass sich auch Exportmöglichkeiten ergeben haben. Die RXA-Werte für Windenergie weisen dementsprechend in den vergangenen Jahren einen leichten positiven Trend auf, befanden sich aber auch im Jahr 2013 noch im negativen Bereich. Die Export-Import-Relation weist lediglich im Jahr 2013 einen positiven Wert auf. Die USA konnte sich somit in der Vergangenheit keine komparative Außenhandelsspezialisierung im Bereich der Windenergie erarbeiten. Die Exportspezialisierung bei Solarzellen und Halbleitern in den USA war maßgeblich getragen durch die Halbleiterindustrie. Insgesamt konnte in der Vergangenheit für Photovoltaik und Wasserkraft keine große Außenhandelsspezialisierung realisiert werden.

Abbildung 42: Spezialisierung der USA bei Gütergruppen der erneuerbaren Energien



Quelle: UN-Comtrade, WTO, eigene Berechnungen

Diese Überlegungen und Darstellungen lassen sich auf die Märkte entlang der Wertschöpfungskette ausdehnen. Während in Kapitel 5.3 die Märkte entlang der PV Wertschöpfungskette bereits untersucht wurden und Deutschlands Rolle auf diesen Märkten bereits aufgrund der einfachen Handelsanteile als wenig zukunftssicher eingeschätzt werden konnte, sieht es bei den Vorleistungen für die Windindustrie ein wenig anders aus. Sowohl bei den modernen Carbon- und Verbundwerkstoffen als auch in der Spezialstahlproduktion hat Deutschland bislang Wettbewerbsvorteile.

Ein weiterer wichtiger Markt ist der Anlagenbau, die Produktion von Fertigungsanlagen für EE-Technologien. Allerdings hat es sich gezeigt, dass die Konzentration auf diese – der eigentlichen Produktion vorgelagerte – Wertschöpfungsstufe nach dem Aufbau einer erfolgreichen Industrie im Ausland von dieser auch weitergeführt wird. Die PV Industrie ist das beste Beispiel. Während zunächst der Aufbau der chinesischen PV Industrie zu vollen Auftragsbüchern bei den deutschen Herstellern von sogenannten PV-Fertigungsstraßen führte, werden derzeit neue Anlagen unter Local Content Auflagen errichtet.

Zu den Materialvorleistungen und den Fertigungsanlagen speziell im EE-Bereich liegen keine detaillierten Daten vor. Daher wurde die Abschätzung von Wettbewerbsvorteilen auf die Diskussion zukünftiger Märkte, unter anderem gestützt durch die Untersuchung „Green Tech Made in Germany“ in die Szenarienbildung integriert.

6.5 DEUTSCHLANDS POSITION BEI VORLEISTUNGEN FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN

Für die Produktion der verschiedenen Anlagen zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energien kommen Vorleistungen zum Einsatz, die auf den jeweiligen vorgelagerten Stufen der Produktion für Nachfrageimpulse sorgen. Die einzelnen Technologien haben dabei einen unterschiedlichen Bedarf an verschiedenen Vorleistungen. Die obige Analyse der Wertschöp-fungs-

ketten hat bereits einen Überblick über die Komponenten und Vorleistungen gegeben. Im Folgenden wird der Welthandel für die wesentlichen zum Einsatz kommenden Vorleistungen kurz analysiert und so die Rolle Deutschlands bei den Vorleistungen charakterisiert. Im weiteren Verlauf kann die Analyse herangezogen werden, um Chancen und Möglichkeiten Deutschlands für den Export von Vorleistungen für Anlagen zur Stromproduktion aus erneu-erbaren Energien besser abschätzen zu können.

Für die drei hier näher untersuchten Technologien Wind, Photovoltaik und Wasserkraft wurde oben bereits eine Analyse der Export- und Handelsaktivitäten für die Hauptkomponenten geliefert. Neben diesen Hauptkomponenten kann es in Zukunft aber für die deutsche Industrie auch Möglichkeiten geben, einzelne Vorleistungen und Bestandteile von z.B. Windkraftanlagen in Abhängigkeit der weltweiten Entwicklung beim Ausbau der erneuerbaren Energien vermehrt auf dem Weltmarkt anzubieten. Die Hauptkomponenten einer Windkraftanlage sind der Turm aus Stahl, die Rotorblätter aus glas- und kohlenstofffaserverstärkten Verbundstoffen sowie windgetriebene Stromerzeugungsaggregate, welche die innerhalb der Gondel befindlichen Teile wie Welle, Getriebe, Kupplung, Bremse, Generator und Leitungen enthalten. Für den Bau der Hauptkomponenten werden Vorleistungen aus unterschiedlichen Wirtschaftszweigen und Sektoren eingesetzt. Für die Rotorblätter werden Matten aus Glas- bzw. Kohlenstofffaser verarbeitet, die in Laminierklebevorrichtungen zusammen mit z.B. Epoxidharzen in die entsprechende Form gebracht werden. Auf Grundlage der Erfahrungen aus der Luft- und Raumfahrt, die seit Jahrzehnten Bauteile aus Faserverbundstoffen beim Bau von Flugzeugen einsetzt, findet ein Technologietransfer statt. Die Bauteile in der Flugzeugindustrie bestehen dabei zumeist aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, diejenigen der Windindustrie aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. (Apmann 2011) Wegen der Höhe von Windkraftanlagen werden diese mit Blitzableiter-Vorrichtungen ausgestattet. Zur Überwachung der Stromproduktion kommen Messgeräte zum Einsatz. Beim Bau der Windkraftanlagen werden darüber hinaus Schrauben, Bolzen, Muttern etc. eingesetzt, um die Konstruktion zu fixieren und aufzubauen. Für die Gondel bzw. die windgetriebenen Stromerzeugungsaggregate werden die oben genannten einzelnen Komponenten als Vorleistungen nachgefragt. Zu nennen ist insbesondere die Welle, welche die Rotationsbewegung des Rotors über ein Getriebe an den Generator weiterleitet. Aber auch Kugellager werden nachgefragt, um z.B. die Gondel auf dem Turm drehbar zu machen, damit eine jederzeitige optimale Ausrichtung zum Wind stattfinden kann. Auch der Rotor bedarf geeigneter Kugellager, damit die Drehbewegung gelagert stattfinden kann.

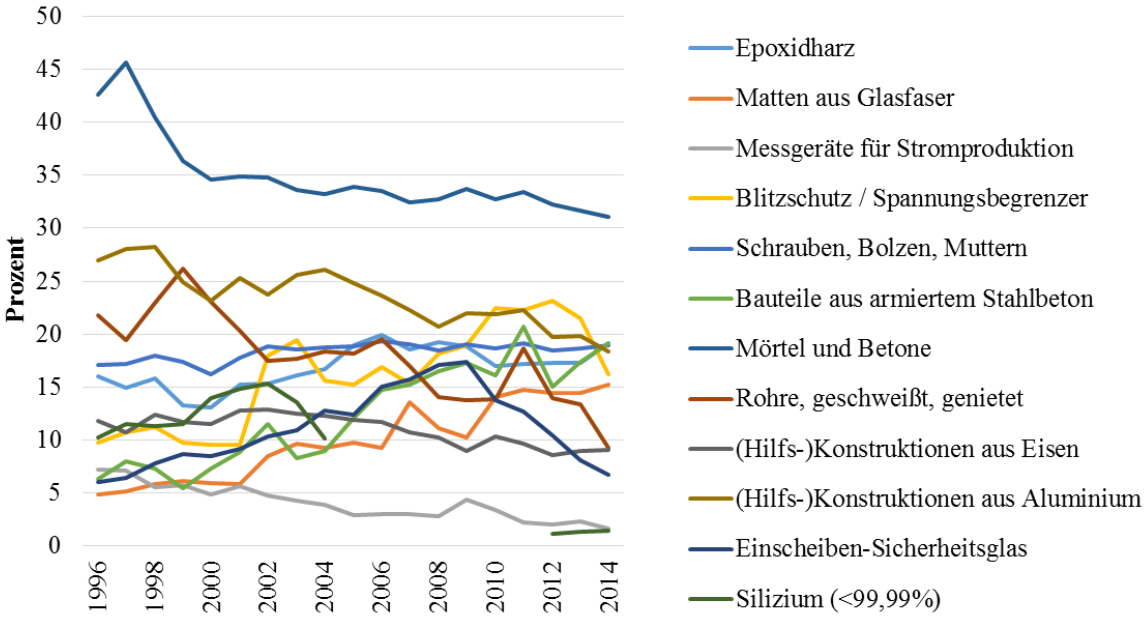
Einige der genannten Vorleistungen von Windkraftanlagen finden in entsprechend anderer Form auch Eingang beim Bau von Wasserkraftwerken. Wichtige Komponenten sind z.B. Rohrleitungen, die bei Stauwasser-Kraftwerken das Wasser vom oberen Reservoir gezielt nach unten zur Turbine leiten. Es können Druckrohre und Saugrohre unterschieden werden. Auch die Konstruktion einer Staustufe bzw. eines Dammes findet als Vorleistung Eingang bei der Konstruktion von Wasserkraftanlagen. Da ein Damm kein beweglicher Gegenstand ist, wird diese Konstruktion auch nicht in der UN Comtrade Datenbank im HS-System geführt. Die Literatur nimmt für die Konstruktion von Staudämmen die Gütergruppe von vorgefertigten Strukturbauteilen an, welche als bewegliche Gegenstände in der Statistik enthalten sind. Diese Bauteile aus armiertem Stahlbeton und Zement werden zusammen mit der Gütergruppe der entsprechend benötigten Bindemittel und Chemikalien für die Konstruktion eines Dammes angenommen. Die Wasserturbinen bzw. –räder wurden oben bereits näher untersucht und bilden das Element, welches die Kraft des Wassers über entsprechende Wellen und Lager an den

Generator weiterleitet. Diese Kraftübertragung geschieht in sog. Spiralgehäusen, in die das Wasser einläuft und über die Schaufeln das Laufrad in Drehung versetzt. Der produzierte Strom wird mit einem Transformator schließlich für den Stromtransport vorbereitet. Auch Schrauben und Muttern kommen bei Wasserkraftwerken zum Einsatz. Ein wesentlicher Kostenpunkt von Wasserkraftwerken sind Baudienstleistungen, welche im Rahmen dieser Analyse jedoch nicht behandelt werden. Die Konstruktion eines Dammes aus den besagten Bauteilen bei Großprojekten stellt die größte technische Herausforderung dar.

Bei Photovoltaik bilden die Solarmodule die wesentliche und sichtbare Komponente einer Photovoltaikanlage. Vorleistungen betreffen hier insbesondere die Gewinnung und Verarbeitung von Silizium sowie die Produktion von Glas, da die Solarzellen zum Schutz mit Glas überdeckt sind. Eine weitere wesentliche Hauptkomponente ist der Wechselrichter, welcher die Gleichspannung aus den Solarmodulen in Wechselspannung richtet, damit der Strom in das Stromnetz eingespeist werden kann. Als weitere Komponenten werden Modulmontagegestelle benötigt, mit deren Hilfe die Solarmodule auf dem jeweiligen Dach bzw. Untergrund montiert und fixiert werden können. Diese können z.B. aus Metall oder aus Aluminium hergestellt werden. Wie bei den bereits genannten Technologien erfordert auch die Photovoltaik einen Netzanschluss mit entsprechenden Kabeln sowie eine Überwachung der Anlage mit Messgeräten.

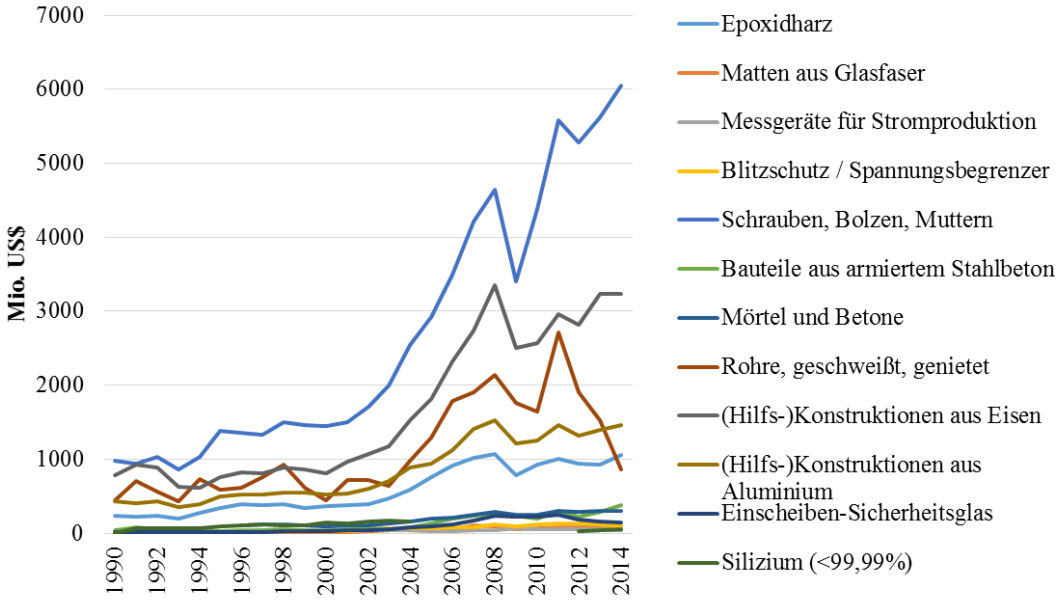
Da die genannten Hauptkomponenten und Vorleistungen nicht alle trennscharf einer einzigen Technologie zugeordnet werden können, werden diese im Folgenden stellvertretend für die behandelten Technologien zusammen dargestellt und analysiert. Abbildung 43 verdeutlicht die Position Deutschlands bei den Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft anhand der Welthandelsanteile. Deutschland hat bei einem Großteil der Vorleistungen für die genannten Technologien einen Welthandelsanteil zwischen 10 und 20 %. Lediglich beim Handel mit dem oben bereits genannten Silizium sowie beim Handel von Sicherheitsglas, welches als Schutz vor Witterungseinflüssen auf den Solarmodulen installiert wird, hat Deutschland nur kleine Anteile am Welthandel. Auch bei Messgeräten für die Überwachung der Stromproduktion hat Deutschland nur einen kleinen Anteil am Welthandel. Bei Mörtel und Betonen liegen die Welthandelsanteile dafür bei über 30 %. Die weiteren Gütergruppen mit Welthandelsanteilen von ca. 20 % sind Epoxidharz, Bauteile aus armiertem Stahlbeton sowie Schrauben und Bolzen. Entscheidend für die Beurteilung der Bedeutung der jeweiligen Gütergruppen für die deutsche Volkswirtschaft ist aber die Einordnung der genannten Gütergruppen zum verarbeitenden Gewerbe insgesamt sowie die absolute Höhe der Exporte.

Abbildung 43: Welthandelsanteile Deutschlands bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft



Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

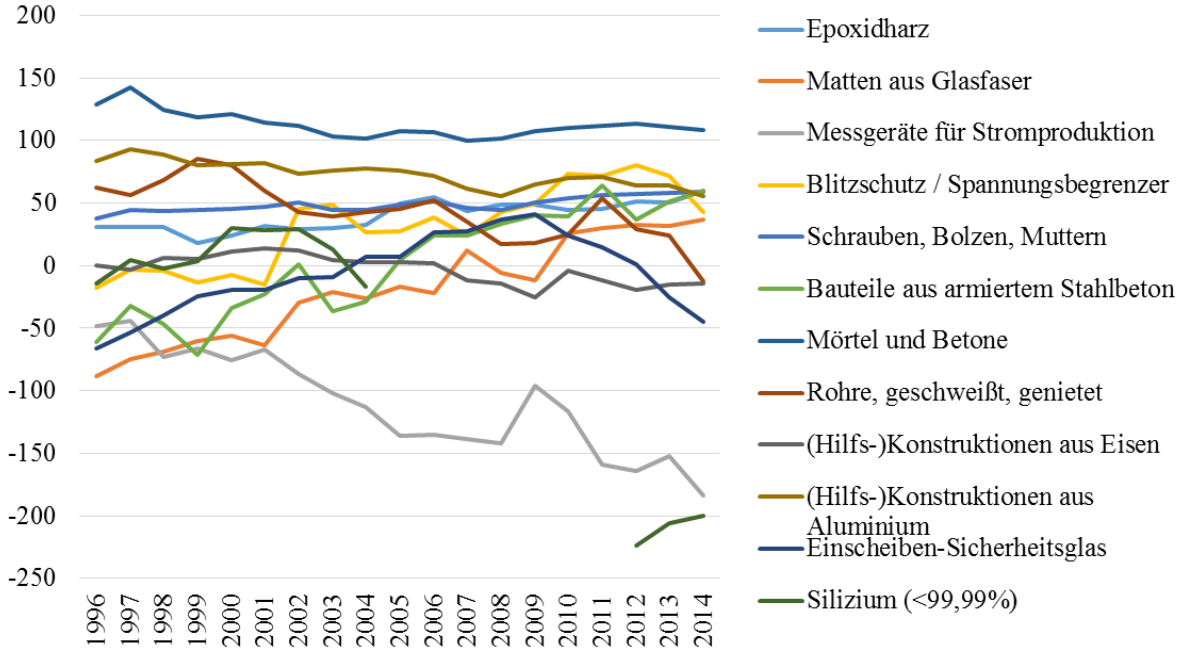
Abbildung 44: Exporte Deutschlands bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft



Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

Abbildung 44 verdeutlicht die Exporte Deutschlands bei den genannten Vorleistungen für die Technologien. Insgesamt können nur wenige Gütergruppen in einem größeren Umfang exportiert werden. Schrauben, Bolzen, Muttern etc. tragen bei den Vorleistungen mit großem Abstand am meisten zu den deutschen Exporten bei. Im Jahr 2014 lagen die Exporte in dieser Gütergruppe bei über 6 Mrd. €. Rohre aus Eisen sowie Epoxidharz konnten im Jahr 2014 jeweils im Wert von ca. 1 Mrd. € exportiert werden. In den weiteren hier betrachteten Gütergruppen lagen die Exporte jeweils unter 300 Mio. €.

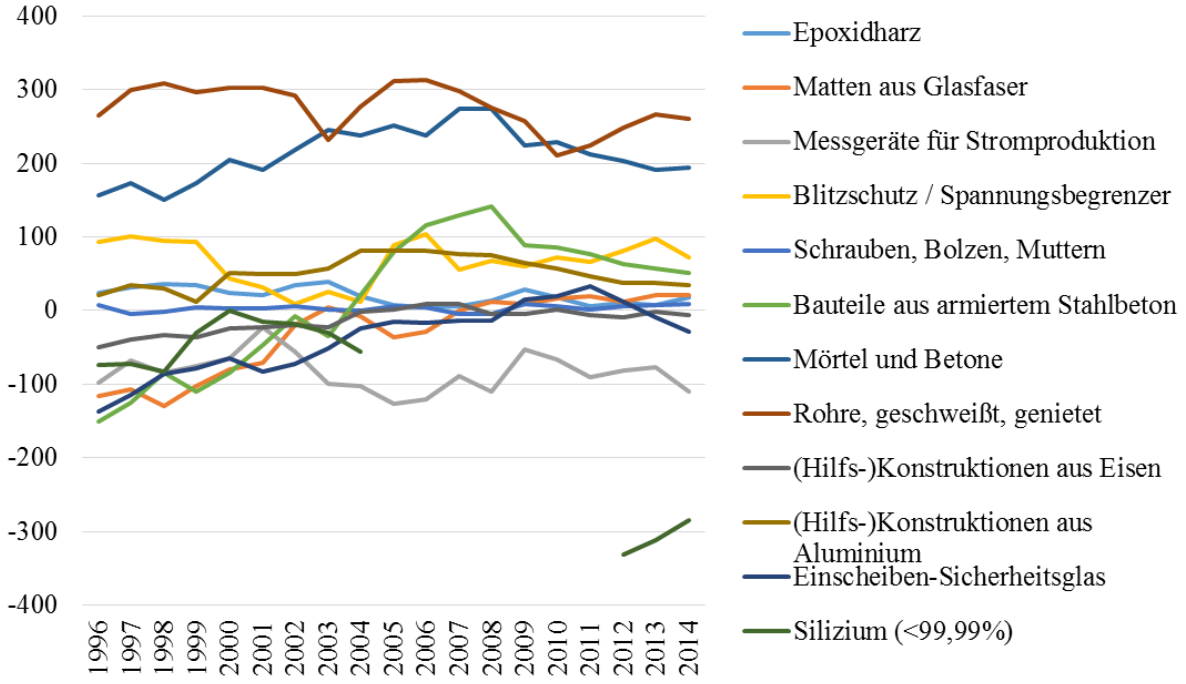
Abbildung 45: Exportspezialisierung (RXA-Werte) für Deutschland bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft



Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

Mit den oben bereits eingeführten Indikatoren wird im Folgenden untersucht, bei welcher Gütergruppe Deutschland Exportspezialisierungsvorteile aufweist und wo Deutschland komparative Vorteile hat. Abbildung 45 verdeutlicht die Exportspezialisierung bei den genannten Gütergruppen relativ zum verarbeitenden Gewerbe. Bei den Gütergruppen mit nur geringem Anteil am Welthandel liegt keine Exportspezialisierung vor. Die RXA-Werte bei Silizium, Einscheiben-Sicherheitsglas und Messgeräten für die Stromproduktion sind negativ. Bei den übrigen betrachteten Gütergruppen kann relativ zum verarbeitenden Gewerbe eine Exportspezialisierung erkannt werden. Die RXA-Werte verlaufen im positiven Bereich. Während diese Spezialisierung z.B. bei Rohren im Zeitverlauf rückläufig ist, haben sich die RXA-Werte für einige Gütergruppen im Zeitverlauf aus dem negativen Bereich in den positiven Bereich entwickelt. Zu nennen sind Matten aus Glasfaser, Blitzschutz sowie Bauteile aus armiertem Beton, bei denen Deutschland im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe einen größeren Anteil am Welthandel zu verzeichnen hat.

Abbildung 46: Außenhandelsspezialisierung (RCA-Werte) für Deutschland bei Vorleistungen für Wind, Photovoltaik und Wasserkraft



Quelle: UN-Comtrade, eigene Berechnungen

Abbildung 46 verdeutlicht die Außenhandelsspezialisierung Deutschlands bei den genannten Vorleistungen. Starke komparative Vorteile haben deutsche Unternehmen bei Rohren sowie bei Mörtel und Betonen. Auch bei den weiteren abgebildeten Vorleistungen haben deutsche Unternehmen leichte komparative Vorteile. Lediglich bei den Messgeräten und beim Silizium liegen die RCA-Werte im negativen Bereich. In diesen beiden Bereichen konnten ausländische Unternehmen relativ zum verarbeitenden Gewerbe in einem größeren Umfang Waren nach Deutschland liefern, als deutsche Unternehmen exportieren konnten.

7 ZWISCHENFAZIT

In diesem ersten Teil wurde die Wertschöpfungskette der erneuerbaren Energien zunächst retrospektiv in einer ex-post Analyse aufgearbeitet. Im Anschluss wurden die Wertschöpfungsketten unter dem Gesichtspunkt des internationalen Handels beleuchtete und mögliche Wettbewerbsvorteile der deutschen Industrie aus den bestehenden internationalen Handelsdaten abgeleitet.

Die Wertschöpfungskette erneuerbarer Energien umfasst die Phasen der Planung, der Herstellung von Anlagen, der Installation von Anlagen und des Betriebs von Anlagen. In jeder dieser Phasen tragen Aktivitäten des verarbeitenden Gewerbes und aus Dienstleistungssektoren bei, die ihrerseits unterschiedliche Vorleistungen aus weiteren Bereichen des verarbeitenden Gewerbes und der Dienstleistungen nachfragen.

Wie bei vielen anderen Gütern auch, haben sich die Wertschöpfungsketten bei den EE-Technologien in den letzten zehn Jahren stark internationalisiert. Zum einen investieren mehr und mehr Länder in den Ausbau erneuerbarer Energien und fragen EE-Technologien nach, wenn sie nicht über heimische Fertigung verfügen. Zum anderen verschiebt sich der regionale Schwerpunkt des Ausbaus und Erweiterungen von internationalen Fertigungskapazitäten folgen dem Ausbau in gewissem Umfang.

Deutschland hat sich auf den internationalen Märkten einiger Technologien als wettbewerbsfähig erwiesen, hier sticht die Windindustrie hervor. Die ex-post Analyse zeigt aber auch, dass die Länder, in denen der Ausbau erneuerbarer Energien frühzeitig oder systematisch gefördert wurde, es in der Windindustrie geschafft haben, ihre Wettbewerbsvorteile bis heute zu halten.

China ist zunehmend erfolgreich auf den EE-Märkten. Allerdings ist China ohnehin zunehmend erfolgreich mit zunehmend anspruchsvollen Maschinenbauprodukten auf den globalen Märkten, sodass sich die Produktion von EE-Gütern nicht von der Entwicklung anderer Güter wesentlich unterscheidet. Für Spanien, Indien und auch Deutschland sieht das anders aus, hier weist der Indikator für die Exportspezialisierung im Bereich der Windenergie deutlich positive Werte auf. Die Indikatoren der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands bei der Windkraft weisen in dieselbe Richtung.

Der Ausbau erneuerbarer Energien hat in den letzten Jahren Investitionen in Höhe von 200 bis 300 Milliarden US$ weltweit ausgelöst. Fasst man die Ausbaupläne verschiedener Regionen und Länder zusammen, so sind in den nächsten Jahren Investitionen in ähnlicher Höhe zu erwarten. Der WWF veröffentlichte 2011 ein globales 100% EE-Szenario, das mit weitergehenden Investitionen verbunden ist. *„But significant capital investment is needed first. The world needs to install renewable energy on a massive scale, modernise electricity grids, transform public transport infrastructure, and improve the energy efficiency of existing buildings. Global capital expenditure of € 1 trillion a year is needed, growing to around € 3.5 trillion a year over the next 25 years."* (WWF 2011)

Die Signale im weltweiten Ausbau der erneuerbaren Energien sind durchaus ermutigend. Wenngleich die in Paris (COP21) getroffenen Vereinbarungen den Charakter von Selbstverpflichtungen haben, enthalten doch die meisten dieser unabhängigen individuellen Zielsetzungen (Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)) Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energien.

Wenn diese globalen Ausbauraten erfüllt werden, ergeben sich Chancen für die deutsche Industrie entlang der vollständigen Wertschöpfungskette. Was dies gesamtwirtschaftlich bedeutet, wird unter Anwendung verschiedener Szenarien in den folgenden Kapiteln dargestellt.

8 ABLEITUNG DEUTSCHER EXPORTE BEIM INTERNATIONALEN EE-AUSBAU

8.1 VORGEHENSWEISE UND DATENGRUNDLAGE

Für eine Abschätzung der Rolle Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien gilt es zu untersuchen, inwieweit deutsche Exporte beim internationalen Ausbau in Anspruch genommen werden. Dabei liegt der Fokus der Untersuchung nicht nur auf ganzen Anlagen und Komponenten, sondern berücksichtigt auch Vorleistungen. In der Literatur finden sich hierzu bislang wenig Arbeiten, die einen derart umfassenden Ansatz wählen.

Durch die Vorreiterrolle Deutschlands beim Ausbau der erneuerbaren Energien haben sich auch die entsprechenden Industrie-zweige in der Vergangenheit in Deutschland entwickelt. Entlang der Wertschöpfungskette haben sich Unternehmen etabliert, welche die verschiedenen Komponenten und Anlagen planen, produzieren und errichten (vgl. Lehr et al. 2015). Je nach Entwicklung der internationalen Märkte mussten einige Unternehmen bereits wieder schließen, weil z.B. die Konkurrenz auf den internationalen Märkten günstiger produzieren kann (zur Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland vgl. auch Lehr et al 2015). Ein Beispiel hierfür ist insbesondere die Zell- und Modulproduktion für Photovoltaik-Anlagen in China, welche zu einem großen Teil exportiert wird und die chinesischen Exportraten hat stark steigen lassen (vgl. Cao und Groba 2013). Während der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bereits weit vorangeschritten ist, gibt es international noch ein großes Ausbau-Potenzial, an dem Deutschland mit Exporten in Form von Vorleistungen, Komponenten und Anlagen partizipieren kann. So lag im Jahr 2014 die Exportquote von Windanlagen aus Deutschland bei über 60 Prozent (Quelle: Bundesverband Windenergie). Deutsche Anbieter konnten im Jahr 2013 EE-Anlagen und Komponenten im Wert von 10,2 Mrd. Euro exportieren (vgl. Lehr et al. 2015). Ziel dieses Kapitels ist es daher, unter verschiedenen Annahmen für die weltweite Entwicklung, den globalen Handel sowie Deutschlands Rolle auf den Weltmärkten die gesamtwirtschaftlichen Effekte durch die Exporte Deutschlands bei Komponenten und Vorleistungen von erneuerbaren Energien abzuschätzen. Neben Effekten auf das Bruttoinlandsprodukt werden weitere Kenngrößen wie die Beschäftigung oder der Konsum analysiert.

Um konkrete Szenarien zu den Exporten Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien bestimmen zu können, bedarf es einiger Vorarbeiten. Kapitel 5 hat einen ersten Überblick über die internationalen Wertschöpfungsketten bei erneuerbaren Energien gegeben. In Kapitel 5.1 wurde dazu zunächst die historische Entwicklung beim globalen Ausbau der erneuerbaren Energien dargestellt. Anschließend wurde für Windkraft und Photovoltaik jeweils die Wertschöpfungskette dargestellt und die Marktstruktur analysiert. Dabei wurden insbesondere auch die sog. Zweitrundeneffekte berücksichtigt. Neben der Wertschöpfung, die unmittelbar auf der ersten Stufe bei der Produktion einer Windkraft- oder Photovoltaik-Anlage generiert wird, wird auch durch die Nachfrage nach Komponenten und weiteren Vorleistungen zusätzliche Wertschöpfung angestoßen (vgl. Abbildung 9). Anhand verschiedener Kennzahlen konnte in Kapitel 6 die Marktposition Deutschlands bei Komponenten und Vorleistungen für erneuerbare Energien näher beleuchtet werden.

Die Ausführungen in Kapitel 6 haben verdeutlicht, dass Deutschland zu den führenden Exportnationen weltweit zählt. Die Bedeutung von Exporten ist dabei für Deutschland deutlich wichtiger als für die europäischen Nachbarländer oder Länder wie China oder die USA, was in

Abbildung 23 anhand der Exporte in $/Kopf verdeutlicht werden konnte. Deutschland hat bei wesentlichen Komponenten für erneuerbare Energietechnologien jeweils hohe Welthandelsanteile zu verzeichnen, was auf eine gute Handelsposition Deutschlands beim Handel mit erneuerbaren Energietechnologien hinweist. Die hohen Handelsanteile Deutschlands resultieren aber auch aus der Zugehörigkeit Deutschlands zur EU und den damit einhergehenden vereinfachten Handelsmöglichkeiten mit dem benachbarten europäischen Ausland. Die Kennzahlen zur Exportspezialisierung haben verdeutlicht, dass insbesondere die Windkraft für Deutschland im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe insgesamt für den Export eine wichtige Rolle spielt (positive Exportspezialisierung). Eine positive Exportspezialisierung lag in der Vergangenheit auch für Solarzellen und –module vor. Durch die günstigen Produkte aus China ist der deutsche Export von Solarzellen und –modulen jedoch eingebrochen, sodass diese für die deutschen Exporte nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die komponentennahen Gütergruppen spielen im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe überwiegend eine bedeutende Rolle für die deutschen Exporte. Insgesamt können die erneuerbaren Energietechnologien somit für die deutschen Exporte als wichtig eingestuft werden. Deutschland konnte sich in der Vergangenheit komparative Vorteile erarbeiten, die auch für die zukünftigen Handelsaktivitäten von Bedeutung sind. Lehr et al. (2015) zeigen auf, dass das Exportniveau der Hersteller und Zulieferer stark zwischen den einzelnen erneuerbaren Energietechnologien und Branchen variiert.

Tabelle 5: Exporte von Herstellern und Zulieferern ausgewählter Technologien im Jahr 2012

	Exporte Hersteller	Produktionsexport Zulieferer
Wind Onshore	61%	47%
Photovoltaik	47%	43%
Wasserkraft	58%	61%
Biomasse Heiz-/Kraftwerke	74%	58%

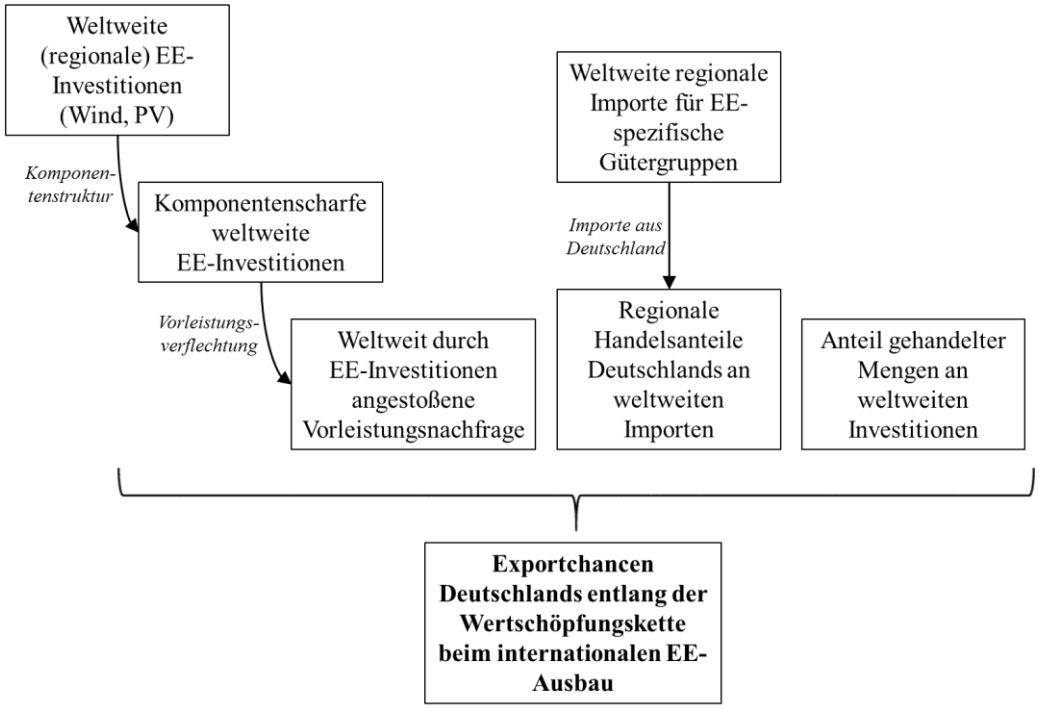
Quelle: Lehr et al. (2015)

Tabelle 5 enthält die Exportquoten von Herstellern und Zulieferern ausgewählter EE-Technologien für das Jahr 2012, die aus einer Unternehmensbefragung in der EE-Branche resultieren. Die Werte untermauern die Bedeutung der Exporte für die EE-Branche und somit für das verarbeitende Gewerbe insgesamt. Bei Wind Onshore hatten die Hersteller im Jahr 2012 einen Exportanteil von 61 % zu verzeichnen, bei den Zulieferern lag der Exportanteil bei 47 %. Ähnlich hohe Exportraten konnten die Hersteller und Zulieferer für Wasserkraft erreichen. Insbesondere Anbieter von großen Wasserkraftanlagen hatten hohe Exportraten zu verzeichnen, bei kleinen Anlagen fiel die Exportrate deutlich niedriger aus. Die höheren Exportraten bei Biomasse Heiz- und Kraftwerken resultierte laut Lehr et al. aus der Tatsache, dass die Hersteller dieser Anlagen auch im konventionellen Kraftwerksbau tätig waren und somit auch auf bestehende Außenhandelsverbindungen zurückgreifen konnten. Die Exporte der Photovoltaik-Branche waren im Jahr 2012 bereits geringer als bei den anderen Technologien und sind bis heute weiter gesunken.

Das zukünftige deutsche Exportpotenzial bei erneuerbaren Energien ist abhängig vom internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien insgesamt. Die Investitionen in erneuerbare Energien fielen in der Vergangenheit regional unterschiedlich aus (vgl. Abbildung 7). Für den

zukünftigen Ausbau an erneuerbaren Energien existieren verschiedene Szenarien und Studien, die jeweils unter verschiedenen Annahmen einen möglichen Ausbaukorridor für die einzelnen Technologien skizzieren. Im Folgenden gilt es, unter Berücksichtigung der oben hergeleiteten Informationen Deutschlands Rolle und Anteil an diesem internationalen Ausbau zu untersuchen.

Abbildung 47: Ableitung der Exporte Deutschlands entlang der Wertschöpfungskette beim internationalen EE-Ausbau



Quelle: eigene Darstellung.

Abbildung 47 gibt einen Überblick über das Vorgehen zur Bestimmung der Exporte Deutschlands beim internationalen EE-Ausbau, welche in verschiedenen Szenarien zur Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Effekte für Deutschland eingesetzt werden. Konkret werden für die Berechnung drei verschiedene Datengrundlagen benötigt:

1. Die weltweiten Investitionen in erneuerbare Energien werden nach Regionen aufgeschlüsselt für unterschiedliche Szenarien prognostiziert. Dazu werden verschiedene Ausbauszenarien aus der Literatur (Greenpeace 2015, IEA 2015) herangezogen und monetär bewertet. Für die Bestimmung der Exporte Deutschlands erfolgt eine Umrechnung der EE-Investitionen auf Komponenten und Vorleistungen.
2. Die Handelsaktivitäten Deutschlands sind regional und nach Gütergruppen unterschiedlich stark ausgeprägt (vgl. Destatis 2015). Um dies auch für den internationalen Handel bei erneuerbaren Energien zu berücksichtigen, müssen die regionalen Handelsanteile Deutschlands an den weltweiten Importen nach Gütergruppen bestimmt und angewendet werden.
3. Bestimmte politische Rahmenbedingungen können es verhindern, dass Produkte international gehandelt werden. Sog. Local Content Regelungen schreiben vor, dass

ein bestimmter Anteil beim Ausbau der erneuerbaren Energien aus heimischer Produktion und Fertigung des jeweiligen Landes kommen muss (vgl. BMWi 2014). Des Weiteren werden nicht alle Komponenten für EE-Anlagen international gehandelt, da z.B. die Transportkosten zu hoch sein können. Dementsprechend muss der Anteil an den weltweit getätigten EE-Investitionen bestimmt werden, der tatsächlich über internationale Märkte bezogen wird.

8.1.1 SZENARIEN FÜR DEN INTERNATIONALEN EE-AUSBAU

Um Deutschlands Rolle beim zukünftigen weltweiten Ausbau der erneuerbaren Energien analysieren zu können, müssen zunächst entsprechende Daten gesammelt, aufbereitet und analysiert werden.

Die weltweite Entwicklung lässt sich nur unter Unsicherheit abschätzen. Eine mögliche Methode im Umgang mit Unsicherheit ist die Szenariotechnik, bei der ein Möglichkeitsraum durch die Abbildung verschiedener in sich konsistenter Entwicklungen eingegrenzt wird. Innerhalb dieses Möglichkeitsraums lassen sich nun beobachtete Abweichungen ökonomischer Größen eindeutig auf Abweichungen bei den Modelltreibern zurückführen. Letztlich erhält man somit eine Bandbreite von „wenn-dann“-Aussagen: Wenn der weltweite Ausbau erneuerbarer Energien sich der 100 % Marke nähert und unter bestimmten Preisannahmen damit Investitionen in bestimmter Höhe fällig werden, entsteht weltweit ein Markt für Windenergie- oder Solarenergietechnik von einem bestimmten Ausmaß, auf dem sich dann deutsche Unternehmen mit ihren Exporttätigkeiten beweisen können.

Zur Bestimmung der möglichen zukünftigen weltweit getätigten Investitionen in erneuerbare Energien werden somit verschiedene Szenarien zum weltweiten Ausbau herangezogen. Je nach unterstelltem Ausbau der erneuerbaren Energien fällt auch das mögliche Potenzial für deutsche Exporte unterschiedlich aus. Zur Abbildung einer Bandbreite an möglichen Ausbaupfaden werden hier das Energy-Revolution-Szenario von Greenpeace (Greenpeace 2015) sowie als Alternative dazu das Current-Policy-Szenario und das 450ppm-Szenario der IEA (IEA 2015) näher betrachtet. Das Energy-Revolution-Szenario wird seit dem Jahr 2005 in regelmäßigen Abständen von Greenpeace in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt veröffentlicht und enthält in der aktuellen Fassung ein Szenario, in welchem die erneuerbaren Energien im Jahr 2050 einen Anteil von 100 Prozent am Endenergieverbrauch haben sowie ein Basis-Szenario, welches von einem Anteil von 83 Prozent im Jahr 2050 ausgeht. Es werden jeweils die notwendigen Schritte und Maßnahmen zur Erreichung der genannten Ausbauziele dargestellt. Im Gegensatz dazu stellt das Current-Policy-Szenario der IEA eine Untergrenze für einen möglichen Ausbau von erneuerbaren Energien dar. Es wird davon ausgegangen, dass es in Zukunft zu keiner Änderung bei den politischen Rahmenbedingungen kommen wird. Die Projektion für einen zukünftigen Ausbau der erneuerbaren Energien findet somit unter dem im Erscheinungsjahr geltenden politischen Rahmen statt. Das 450ppm-Szenario der IEA gibt einen möglichen Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien vor, welcher den globalen Temperaturanstieg auf 2 °C limitiert. Um dieses Ziel zu erreichen, darf die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre den Wert von 450 CO_2-Teilchen pro Million Luftteilchen nicht überschreiten. Im Folgenden liegt der Fokus bei der Auswertung der entsprechenden Daten auf den Technologien Wind und Photovoltaik.

Für diese und weitere EE-Technologien werden vom Energy-Revolution-Szenario 2012 bei Lehr et al. 2015 bereits Exportszenarien abgeleitet. Die hier vorgelegte Untersuchung unter-

scheidet sich in zweierlei Hinsicht von jenen Ergebnissen. Zum einen werden Exportmöglichkeiten entlang der vollständigen Wertschöpfungskette hier einbezogen und zum anderen wird das neuste vorgelegte Energy-Revolution-Szenario eingesetzt. Da die weltweiten Investitionen das Weltmarktvolumen direkt bestimmen, wir nachfolgend kurz auf die Unterschiede zwischen diesen beiden Szenariovarianten eingegangen.

Exkurs: Vergleich der Energy-Revolution-Szenarien von 2012 und 2015

Das Energy-Revolution-Szenario aus dem Jahr 2015 ist ein Update des Energy-Revolution-Szenarios aus dem Jahr 2012. Das Energy-Revolution-Szenario von 2012 hatte zwei grundlegende Ziele, die im Szenario berücksichtigt wurden: zum einen sollten die weltweiten energiebedingten CO_2-Emissionen auf ein Niveau von 4 Gigatonnen pro Jahr bis zum Jahr 2050 reduziert werden, damit der globale Anstieg der Temperatur 2 °C nicht überschreitet. Zum anderen wurde unterstellt, dass es weltweit zu einem Auslaufen der Kernenergie kommt. Im aktuellen Energy-Revolution-Szenario wurde das Jahr 2012 als neues Basisjahr gewählt (Energy-Revolution-Szenario 2012: Basisjahr 2009). Entsprechend des neuen Basisjahres konnten auch die Entwicklungen zwischen den beiden Basisjahren im neuen Energy-Revolution-Szenario berücksichtigt werden. So hat beispielsweise der Ölpreis in den letzten Jahren starke Schwankungen erlebt und ist von einem Rekordhoch im Jahr 2008 von 140 $/bbl auf Werte zwischen 40 und 60 $/bbl im Jahr 2015 gesunken. Allein die entsprechende Projektion der zukünftigen Ölpreise ist nur ein Grund für eine veränderte Entwicklung beim Ausbau der erneuerbaren Energietechnologien. Eine Grundlage für das Energy-Revolution-Szenario bildet das Referenzszenario von Greenpeace, welches auf dem Current-Policy-Szenario des World Energy Outlooks von 2014 von der International Energy Agency (IEA) aufbaut. Durch die rasante Entwicklung sowohl der technischen Möglichkeiten als auch der Kosten für erneuerbare Energien in den vergangenen Jahren, führte die Berücksichtigung der entsprechenden Größen im Energy-Revolution-Szenario zu veränderten Ausbaupfaden und einem veränderten Technologiemix im Vergleich zum Referenzszenario. Vergleicht man die Ausbaupfade für die installierten Leistungen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien der beiden letzten Versionen des Energy-Revolution-Szenarios miteinander, so erkennt man leicht veränderte Ausbaupfade für die einzelnen erneuerbaren Energietechnologien. Die folgenden Abbildungen und Tabellen stellen die Änderungen für die zukünftigen Ausbaupfade von Wind und Photovoltaik im Energy-Revolution-Szenario von 2012 und 2015 gegenüber.

Tabelle 6: Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den Energy-Revolution-Szenarien von 2012 und 2015

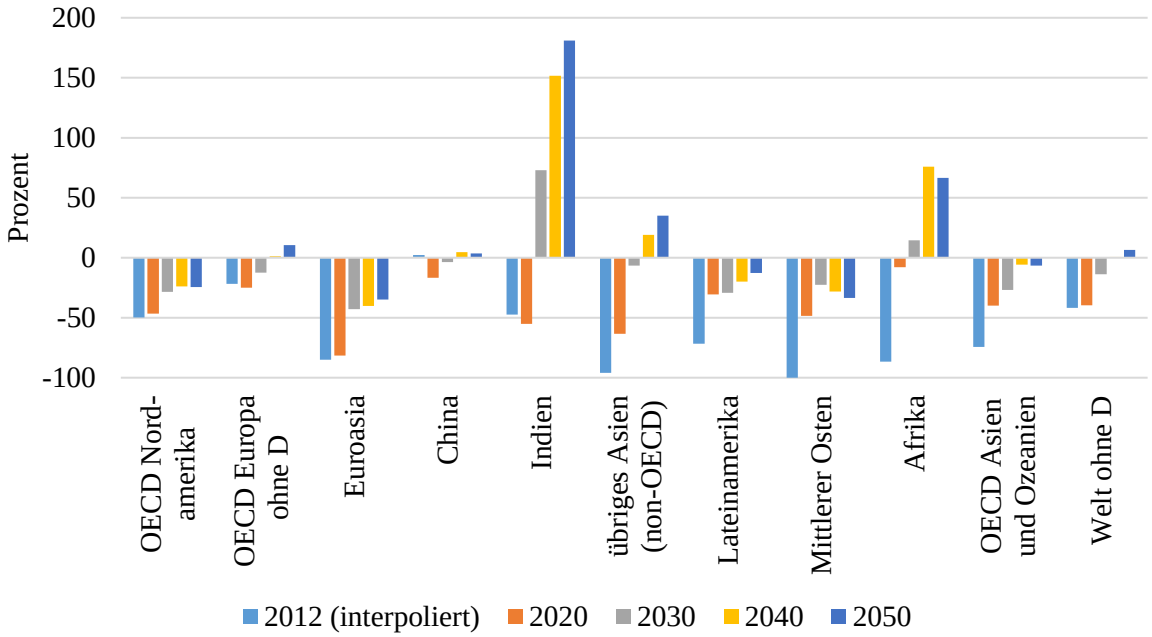
in GW	2009/2012	2020	2030	2040	2050
Installierte EE-Leistung ER 2012	1.224	3.724	7.392	11.594	15.088
Installierte EE-Leistung ER 2015	1.575	3.132	7.774	12.934	17.079

Quelle: Greenpeace.

Insgesamt fällt die globale Projektion der installierten Leistung an erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung zwischen den beiden Szenarien leicht unterschiedlich aus. In der fünften Version des Energy-Revolution-Szenarios ist die installierte Leistung an erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung mit Ausnahme des Jahres 2020 jeweils größer als in der vierten Version. Im Jahr 2050 beträgt der Unterschied knapp 2.000 GW. Dabei ist der Anteil der Windenergie an der installierten EE-Leistung in der aktuellen Version jeweils geringer als in der Vorversion.

Dieser Umstand wird auch in der folgenden Abbildung deutlich: der Vergleich der installierten Wind-Leistung zwischen den beiden Energy-Revolution-Szenarien aus 2012 und 2015 zeigt, dass der prognostizierte Ausbau der Wind-Leistung in den meisten Regionen in der 2015er-Version jeweils nach unten korrigiert wurde. In der 2015er-Version liegen die Ausbaupfade in vielen Regionen um bis zu 50 % und teilweise auch weiter unterhalb der Ausbaupfade der 2012er-Version. Lediglich für Indien, Asien und Afrika wurde der Ausbaupfad der Wind-Energie für die Jahre 2030, 2040 und 2050 nach oben korrigiert. Für Indien wird in der 2015er-Version im Jahr 2050 eine installierte Wind-Leistung von über 940 GW erwartet, was einer Steigerung gegenüber der 2012er-Version um über 180 % entspricht.

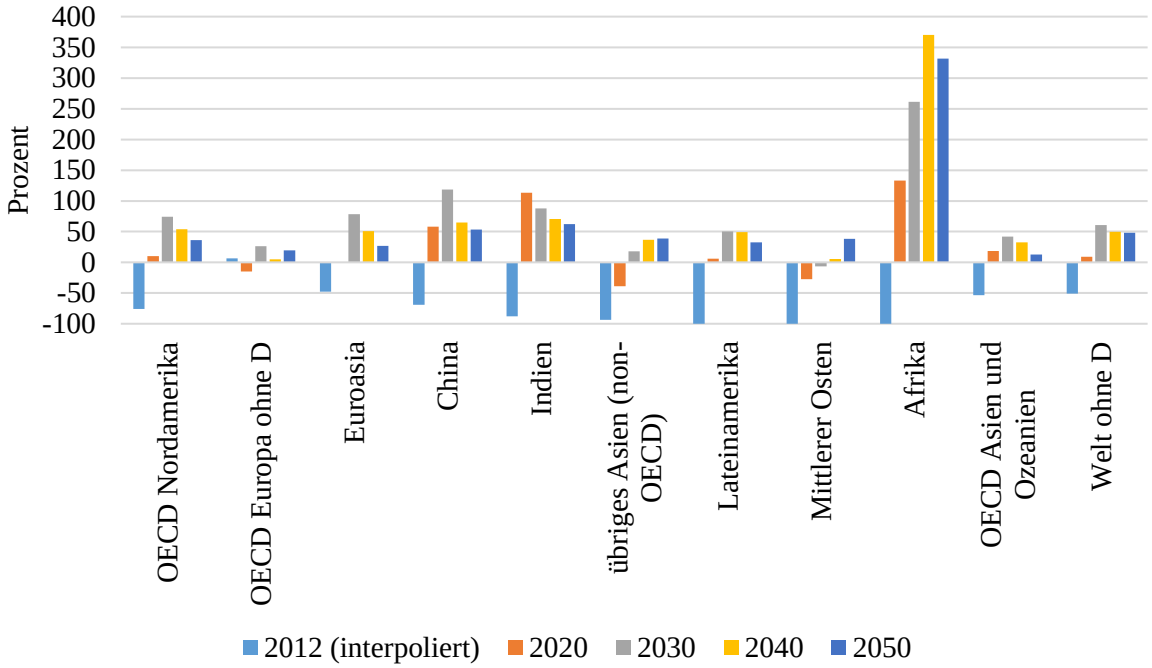
Abbildung 48: Prozentuale Abweichung der Ausbaupfade von Windkraft zwischen dem Energy-Revolution-Szenario von 2012 und 2015



Quelle: eigene Berechnungen.

Anders als bei der Windenergie wurde der Ausbau der Photovoltaik in der 2015er-Version des Energy-Revolution-Szenario für die meisten Regionen nach oben korrigiert. Absolut und relativ gesehen haben Afrika, China und Indien die größten Zuschläge bei der Projektion zu verzeichnen. Bei den meisten Regionen beträgt der Zuwachs bei der installierten PV-Leistung zwischen der 2012er-Version und der 2015er-Version bis zu 50 %. Insbesondere für Afrika wurde der Ausbaupfad für PV jedoch deutlich angehoben, sodass der Zuwachs für die Jahre 2020, 2030 und 2040 jeweils über 250 % im Vergleich zur vorherigen Version des Energy-Revolution-Szenarios liegt.

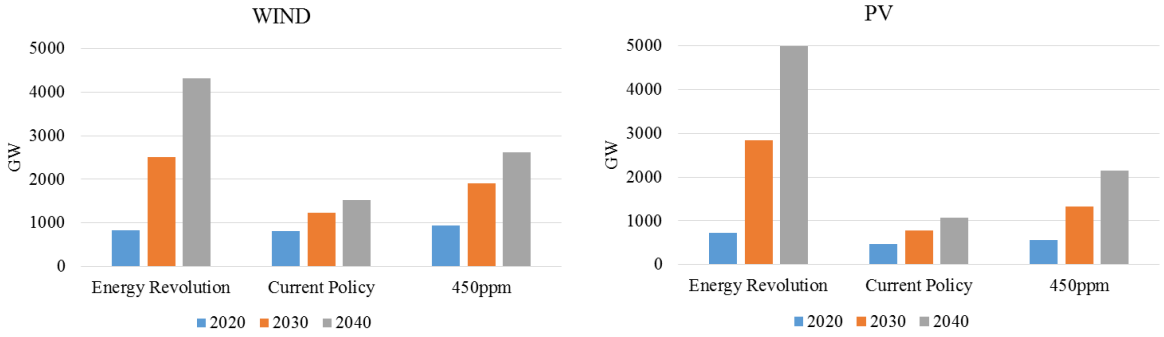
Abbildung 49: Prozentuale Abweichung der Ausbaupfade von Photovoltaik zwischen dem Energy-Revolution-Szenario von 2012 und 2015



Quelle: eigene Berechnungen.

Die Anpassungen in der 2015er-Version des Energy-Revolution-Szenarios liegen im sehr dynamischen Wachstum der erneuerbaren Energien begründet. Greenpeace (2015) stellt heraus, dass ein Großteil der in der Vergangenheit von namhaften Instituten und Forschungseinrichtungen veröffentlichten Ausbauszenarien für erneuerbare Energien den tatsächlichen Ausbau der erneuerbaren Energien teilweise deutlich unterschätzt hat, während das Energy-Revolution-Szenario trotz der teilweise optimistischen Ausbaupfade nah am tatsächlichen Ausbau lag. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist in Zukunft weiter abhängig von vielen politischen, technischen und diversen weiteren Faktoren, sodass auch die heutigen Projektionen mit hoher Unsicherheit verbunden sind. Das neue Greenpaece Szenario von 2015 stellt die Obergrenze unserer Betrachtung internationaler Entwicklungen dar.

Abbildung 50: Zusammenschau der Ausbauszenarien für Wind Onshore und Photovoltaik



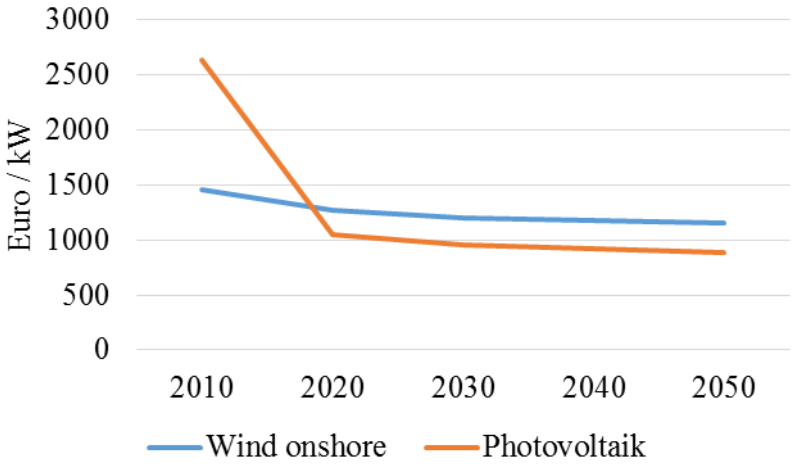
Quelle: Greenpeace (2015), IEA (2015), eigene Darstellung.

Abbildung 50 verdeutlicht die Ausbaupfade der genannten Szenarien für Wind und Photovoltaik. Das Energy-Revolution-Szenario stellt das optimistischste der drei Szenarien für den Ausbau der erneuerbaren Energien dar. Für Windenergie geht das Energy-Revolution-Szenario

davon aus, dass die weltweit installierte Leistung bis zum Jahr 2040 auf über 4300 GW ansteigen wird. Das Current-Policy-Szenario bildet eine untere Grenze und geht davon aus, dass die installierte Wind-Leistung im Jahr 2040 nur 1500 GW betragen wird, was im Vergleich zum Energy-Revolution-Szenario um 65 % geringer ist. Dazwischen liegt das 450ppm-Szenario, welches von einer installierten Wind-Leistung im Jahr 2040 von ca. 2600 GW ausgeht. Ähnliche Größenordnungen werden für die weltweit installierte Photovoltaik-Leistung angenommen. Während das Energy-Revolution-Szenario im Jahr 2040 von einer installierten PV-Leistung in Höhe von 5000 GW ausgeht, beträgt diese im Current-Policy-Szenario ca. 1000 GW und im 450ppm-Szenario ca. 2100 GW.

Regional verteilt sich der angenommene Ausbau bei den erneuerbaren Energien sehr unterschiedlich (vgl. Greenpeace 2015 und IEA 2015). Insbesondere für China wird jedoch in allen Szenarien der größte Zubau sowohl für Wind als auch für Photovoltaik prognostiziert. Unterschiedlich werden die Ausbaupfade für die weiteren asiatischen Länder sowie für Nordamerika bewertet. Während das Energy-Revolution-Szenario von einem starken Zuwachs der erneuerbaren Energien für Nordamerika ausgeht und Nordamerika so als zweitwichtigsten Markt nach China bewertet, sieht das Current-Policy-Szenario und das 450ppm-Szenario den Ausbaupfad für Nordamerika eher pessimistischer. Dafür wird dem übrigen asiatischen Raum sowie Indien ein starker Zuwachs bei der installierten Leistung von erneuerbaren Energien zugetraut. Der geringste Zubau wird jeweils im Mittleren Osten sowie in Afrika prognostiziert. Auch Lateinamerika hat eher einen geringen Ausbau zu erwarten. Aus den oben skizzierten möglichen Ausbaupfaden der jeweils installierten Leistung lassen sich die jährlichen Zuwachsraten für Wind und Photovoltaik ableiten. Zusammen mit einer möglichen Kostenentwicklung für die zu installierende Leistung ergeben sich die regionalen monetären Investitionen in erneuerbare Energien.

Abbildung 51: Kosten der Installation von Wind Onshore und Photovoltaik in Euro pro kW

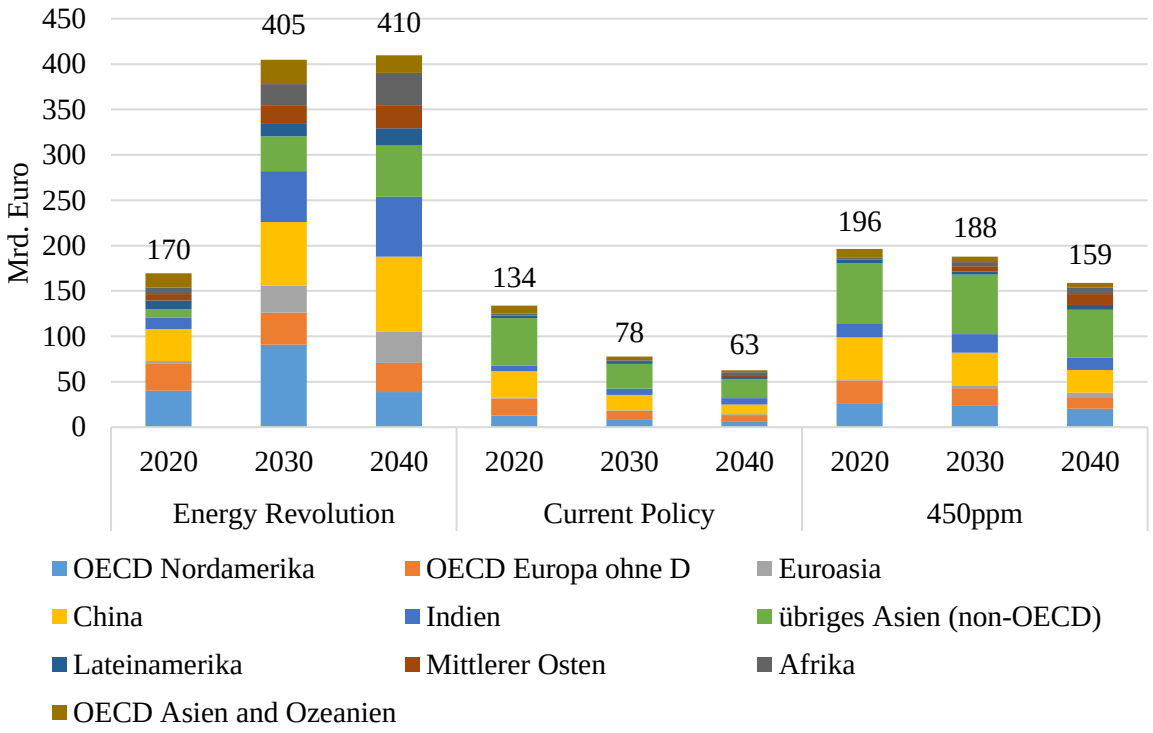


Quelle: eigene Darstellung.

Die Kostenentwicklungen in Euro pro installiertem Kilowatt für die Technologien Wind Onshore und Photovoltaik sind in Abbildung 51 dargestellt. Insgesamt wird für die Zukunft ein sinkender Verlauf für die Kosten erwartet. Insbesondere die Kosten für Photovoltaik-Anlagen sind bereits in den vergangenen Jahren stark gesunken: von über 2.600 Euro pro installiertem Kilowatt-Peak im Jahr 2010 sind die Kosten durch immer günstiger gewordene Solarzellen und –module bis zum Jahr 2015 um mehr als die Hälfte gesunken und betrugen nur noch ca.

1.200 Euro pro Kilowatt-Peak. Für den weiteren zeitlichen Verlauf wird angenommen, dass sich die Kosten weiter reduzieren werden und bis zum Jahr 2050 auf ca. 900 Euro pro Kilowatt-Peak absinken. Für Windenergie an Land wird ebenfalls mit sinkenden Kosten pro installiertem Kilowatt gerechnet. Von ca. 1.500 Euro im Jahr 2010 sind die Kosten bereits bis zum Jahr 2015 auf ca. 1.400 Euro pro Kilowatt leicht gesunken. Bis zum Jahr 2050 wird mit einer weiteren Reduktion der Kosten auf dann ca. 1.150 Euro gerechnet.

Abbildung 52: Jährliche Investitionen für die Technologien Wind Onshore und Photovoltaik im Energy-Revolution-Szenario, Current-Policy-Szenario und 450ppm Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Fügt man die Ausbauszenarien aus Abbildung 50 und die Kosten der Installation aus Abbildung 51 zusammen, ergeben sich die jährlichen Investitionen für erneuerbare Energien für die Szenarien Energy Revolution, Current Policy und 450ppm. Abbildung 52 stellt die regionalen Investitionen für die hier untersuchten Technologien Wind Onshore und Photovoltaik für die drei betrachteten Szenarien gegenüber. Im optimistischen Energy-Revolution-Szenario steigen die jährlichen Investitionen in Wind Onshore und Photovoltaik von 170 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf über 400 Mrd. Euro in den Jahren 2030 und 2040. Regional gesehen wird insbesondere in Nordamerika, in Europa und in Asien mit den stärksten Ausbau bei erneuerbaren Energien gerechnet. Für China werden die größten Investitionen prognostiziert. Im pessimistischen Current-Policy-Szenario fallen die zukünftig erwarteten Investitionen deutlich geringer aus und folgen einem fallenden Trend. Von ca. 130 Mrd. Euro im Jahr 2020 sinken die erwarteten Investitionen um die Hälfte auf knapp 60 Mrd. Euro im Jahr 2040. Insbesondere dem asiatischen Raum wird der größte Anteil an den Investitionen zugesprochen. Auch im 450ppm-Szenario wird mit einem fallenden Verlauf der Investitionen in Wind Onshore und Photovoltaik gerechnet. Die Investitionen sinken von ca. 200 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf ca. 160 Mrd. Euro im Jahr 2040.

8.1.2 VERTEILUNG DER WELTWEITEN EE-INVESTITIONEN AUF KOMPONENTEN UND VORLEISTUNGEN

Zur Bestimmung der Exporte Deutschlands entlang der Wertschöpfungskette werden die dargestellten weltweiten regionalen EE-Investitionen auf die einzelnen Komponenten verteilt. Neben dem Export von kompletten Anlagen kann die Bedeutung des Handels mit einzelnen Komponenten, welche für Windkraft- oder Photovoltaik-Anlagen benötigt werden, in Zukunft weiter wachsen. Ein Grund hierfür stellen z.B. die bereits erwähnten Local-Content-Regelungen dar. Bei Ländern mit Local-Content-Regelungen können dementsprechend nur einzelne Komponenten oder Vorleistungen von Deutschland geliefert werden. Durch den Handel mit Komponenten und Vorleistungen verbleibt aber ein Teil der Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland.

Tabelle 7: Kostenstruktur der Technologien Windkraft und Photovoltaik

Komponenten für Windkraftanlage	Kostenanteil (in %)	Wirtschaftszweig	Komponenten für Photovoltaikanlage	Kostenanteil (in %)	Wirtschaftszweig
Getriebe mit Kupplung	18,1	Maschinen	Solarmodul und Zellen	25,0	DV-Geräte, elektr. Bauel.
Rotorblätter	23,6	Sonst. Fahrzeuge	Wafer	25,0	Chemische Erzeugnisse
Turm	23,6	Metallerzeugnisse	Wechselrichter	15,9	Elektrische Ausrüstungen
Generator/ Steuerung	10,2	Elektr. Ausrüstungen	Modul-Montagegestelle	9,9	Metallerzeugnisse
Maschinenträger/Lager	5,5	Maschinen	Modulanschlussleitungen	4,0	Elektrische Ausrüstungen
Nabe und Hauptwelle	6,3	Maschinen	Mess- & Regelungstechnik	4,0	Mess-, und Kontrollinstr.
Haube	2,8	Metallerzeugnisse	Netzanschluss	4,0	Elektr. Ausrüstungen
Kabel und Sensorik	2,8	Elektr. Ausrüstungen	Akkumulatoren	4,0	Elektr. Ausrüstungen
Hydraulik	2,4	Maschinen	Planung & Projektierung	4,0	Dienstleistg. v. Architektur- u. Ing.büros
Drehsystem	1,6	Maschinen	Installation	4,0	Hochbauarbeiten
Zusammenbau	3,2	Hochbauarbeiten			

Quelle: eigene Darstellung.

Die Kostenstruktur für die Technologien Windkraft Onshore und Photovoltaik gibt einen Überblick darüber, welche Komponenten welchen Kostenanteil an den Gesamtkosten einer kompletten Anlage haben. Die obige Tabelle enthält die Kostenanteile aller notwendigen Komponenten. Die teuersten Komponenten einer Windkraftanlage sind der Turm und die Rotorblätter, welche jeweils über 20 % der Kosten verursachen. Das Getriebe mit Kupplung verursacht 18 % der Kosten, der Generator 10 %. Die weiteren Komponenten für den Bau einer Windkraftanlage wie z. B. Nabe, Welle, Kabel, Sensorik, Hydraulik und Drehsystem haben jeweils Kostenanteile im einstelligen Prozentbereich. Bei einer Photovoltaik-Anlage sind die Solarmodule bzw. Wafer mit ca. 25 % die teuersten Komponenten. Der Wechselrichter hat einen Kostenanteil von 16 %. Die weiteren Kostenpunkte umfassen die Montage, den Anschluss und die

Installation. Werden in einem Land beispielsweise eine Million Euro in den Ausbau der Windenergie investiert, so entfallen davon ca. 230.000 Euro auf die Türme, ebenfalls 230.000 Euro auf die Rotorblätter, 180.000 Euro auf Getriebe, und 100.000 Euro auf Generatoren und Steuerung. Die übrigen 25 % entfallen auf die restlichen oben genannten Komponenten.

Die Entscheidung, wo die Komponenten produziert werden und ob sie weltweit gehandelt werden hängt von einer Vielzahl von Faktoren wie der Transportfähigkeit, dem technischen Know-how im Land, Skaleneffekten und den politischen Rahmenbedingungen ab. Manche Bauteile können kostengünstiger in dem jeweils investierenden Land produziert werden. Aber auch Wechselkursschwankungen beeinflussen die Wettbewerbsposition einer Wirtschaft. Eine reale Aufwertung der eigenen Währung beeinträchtigt die Absatzchancen der Exportwirtschaft auf den Auslandsmärkten und verschiebt die Wettbewerbslage im Inland zugunsten ausländischer Importgüter. Die oben ermittelten länderspezifischen Investitionen in erneuerbare Energien werden somit nicht vollständig über den internationalen Handel bezogen, sondern je nach Komponente auch vor Ort produziert, was die Exportmöglichkeiten Deutschlands einschränkt.

Zur Herstellung der Komponenten werden Vorleistungen aus verschiedenen Wirtschaftszweigen benötigt. Auch wenn die einzelnen Komponenten im investierenden Land vor Ort hergestellt werden, besteht für Deutschland noch die Möglichkeit, dafür benötigte Vorleistungen in das jeweilige Land zu exportieren. Zur Bestimmung der benötigten Vorleistungen für die einzelnen Komponenten einer Windkraft- bzw. Photovoltaik-Anlage wird vereinfachend eine konstante Inputstruktur für den jeweiligen Wirtschaftszweig angenommen, dem die Komponenten jeweils zugeordnet werden können. Die Zuordnung der einzelnen Komponenten der beiden Technologien Wind und Photovoltaik zu Wirtschaftszweigen kann der obigen Tabelle entnommen werden. Die Kostenstrukturen und Produktionsprozesse der beiden Technologien unterscheiden sich deutlich, woraus sich eine unterschiedlich starke Inanspruchnahme der einzelnen Wirtschaftszweige ergibt (vgl. auch Lehr et al. 2015). Bei Windkraftanlagen entstammen die kostenseitig relevanten Komponenten insbesondere den Wirtschaftszweigen „Metallerzeugnisse“, „Elektrische Ausrüstungen“, „Maschinen“ sowie hilfsweise den „sonstigen Fahrzeugen“, wenn man unterstellt, dass die Fertigung von Rotorblättern ähnlich zur Fertigung von z.B. Flugzeugtragflächen ist (vgl. Staiß et al. 2006). Für die Komponenten einer Photovoltaik-Anlage kommt ein Großteil der Vorleistungen aus den Wirtschaftszweigen „DV-Geräte, elektron. Bauelem. u. Erzeugn. f. Telekomm. u. Unterhaltg.“, „Chemische Erzeugnisse“ sowie „Elektrische Ausrüstungen“. Die genannten Wirtschaftszweige beziehen zur Fertigung ihrer Produkte Vorleistungen aus verschiedenen anderen Wirtschaftszweigen. Die Bestimmung der Exportmöglichkeiten für Vorleistungen beschränkt sich dabei jeweils nur auf die Sektoren, die sich mit den größten Kostenanteilen verbinden lassen.

Tabelle 8: Vorleistungsnachfrage der Wirtschaftszweige “Elektrische Ausrüstungen” und “Maschinen”

Elektrische Ausrüstungen		Maschinen	
	Inputstruktur (in %)		Inputstruktur (in %)
Elektrische Ausrüstungen	21,2	Maschinen	20,1
Großhandelsleistungen	6,0	Metallerzeugnisse	7,0
DV-Geräte, elektr. Bauelem.	2,9	Großhandelsleistungen	4,0
Metallerzeugnisse	2,8	Roheisen, Stahl	3,4
DL Architektur- u. Ing.büros	2,7	Kraftwagen, Kraftwagenteile	2,4
DL Rechts-, Steuerberatung	2,3	Elektrische Ausrüstungen	2,4
NE-Metalle und Halbzeug	2,1	DL Rechts-, Steuerberatung	2,4
Roheisen, Stahl	2,0	Gießereierzeugnisse	2,2
Reparatur, Instandh. Maschinen	1,7	Gummi- und Kunststoffwaren	2,1
Gummi- und Kunststoffwaren	1,3	Reparatur, Instandh. Maschinen	1,5

Quelle: eigene Darstellung.

Tabelle 8 zeigt beispielhaft die Vorleistungsnachfrage nach den zehn größten Inputs für die Wirtschaftszweige „Elektrische Ausrüstungen“ und „Maschinen“. Die beiden Wirtschaftszweige beziehen mit jeweils über 20 % den Großteil der benötigten Inputs aus dem eigenen Wirtschaftszweig. Zur Fertigung von elektrischen Ausrüstungen werden des Weiteren Vorleistungen an Großhandelsleistungen (6,0 %), elektronischen Bauelementen (2,9 %), Metallerzeugnissen (2,8 %) und weiteren Dienstleistungen und Gütern nachgefragt. Zur Fertigung von Maschinen werden neben der Nachfrage nach Maschinen zusätzlich Vorleistungen an Metallerzeugnissen (7,0 %), Großhandelsleistungen (4,0 %), Roheisen bzw. Stahl (3,4 %) sowie diversen weiteren Dienstleistungen und Gütern nachgefragt. Die zehn jeweils dargestellten Wirtschaftszweige der Vorleistungsverflechtung entsprechen ca. 50 % der insgesamt nachgefragten Vorleistungen in dem jeweiligen Wirtschaftszweig. Für die weiteren Wirtschaftszweige kann ebenfalls eine solche Vorleistungsverflechtung bestimmt werden.

8.1.3 HANDELSANTEILE DEUTSCHLANDS NACH GÜTERN UND REGIONEN

Für die Bestimmung der Exporte Deutschlands entlang der Wertschöpfungskette beim internationalen EE-Ausbau ist es erforderlich, sich einen Überblick über die Handelsbeziehungen Deutschlands mit den ausländischen Märkten zu verschaffen. Insbesondere für die EE-relevanten Wirtschaftszweige (z. B. elektrische Ausrüstungen, Metallerzeugnisse, chemische Erzeugnisse) sind die Handelsanteile Deutschland an den Importen der jeweiligen Güter in den betrachteten Regionen von Bedeutung. Mit diesen Handelsanteilen kann im weiteren Verlauf abgeschätzt werden, welcher Anteil der regionalen EE-Investitionen von Deutschland geliefert werden kann.

Dahinter liegt auch die Überlegung, dass bestehende Handelsverflechtungen mit einer Region, die durch Zugehörigkeit zur EU oder zum Euroraum, Handelsabkommen, historische Beziehungen oder regionale Nähe geprägt sein können, sich auf den Handel mit innovativen Technologiegütern wie den EE-Technologien übertragen.

Für die Bestimmung der Handelsanteile Deutschlands können verschiedene Datenquellen herangezogen werden (u.a. Comtrade-Datenbank der UN, bilaterale Handelsmatrizen der

OECD). Für diese Studie wurde auf die bilateralen Handelsmatrizen der OECD zurückgegriffen. Von den 31 dort abgebildeten handelbaren Gütergrupen werden diejenigen genauer untersucht, die für die erneuerbaren Energien von Bedeutung sind. Deutschland gehört zu den größten Exportländern weltweit und war lange Zeit Exportweltmeister. Zu den wichtigsten Exportgütern Deutschlands zählen insbesondere Automobile, Maschinen, Chemieerzeugnisse und elektrische Geräte. Im Jahr 2015 wurden Kraftwagen und Kraftwagenteile im Wert von 225 Milliarden Euro exportiert, was einen Anteil von 18,9 % an den deutschen Gesamtexporten ausmacht. Maschinen folgten im Jahr 2015 auf Rang zwei mit 169 Milliarden Euro (14,1 %) und chemische Erzeugnisse waren das drittwichtigste Exportgut mit 107 Milliarden Euro Exportvolumen (9,0 %). Aus diesen Wirtschaftszweigen werden ebenfalls Komponenten oder Vorleistungen für die Herstellung von Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen exportiert.

Tabelle 9: Aufbau einer bilateralen Handelsmatrix

		Importierende Länder			
		Land A	Land B	…	Summe
Exportierende Länder	Land A				
	Land B				
	Land C				
	…				
	Summe				

Quelle: eigene Darstellung.

Eine bilaterale Handelsmatrix bildet die Import- und Exportbeziehungen zwischen verschiedenen Ländern für eine bestimmte Gütergruppe systematisch ab. Die Dimensionierung einer solchen Handelsmatrix ist dabei abhängig von der Anzahl an berichtenden Import- bzw. Exportländern und der Anzahl an betrachteten Gütern. Typischerweise werden die Exportländer in den Zeilen und die Importländer in den Spalten geführt. Für jedes betrachtete Gut kann zur besseren Übersicht eine eigene Matrix aufgestellt werden. Die Spaltensumme einer solchen Handelsmatrix gibt die gesamten Importe eines Landes für das jeweils dargestellte Gut an. Die Zeilensumme gibt die gesamten Exporte eines Landes für das jeweilige Gut an. Zur Bestimmung der regionalen Handelsanteile Deutschlands für die einzelnen Gütergruppen werden die entsprechenden Importe der zur jeweiligen Region gehörenden Länder aufsummiert und im Verhältnis zu den Exporten Deutschlands in die jeweilige Region betrachtet. Der Anteil der deutschen Exporte an der Summe der regionalen Importe wird benötigt, um den Teil der weltweiten EE-Investitionen zu bestimmen, der potenziell aus Deutschland geliefert werden könnte. Im Folgenden werden die internationalen Handelsbeziehungen Deutschlands bei EE-nahen Gütergruppen kurz analysiert. Insgesamt wurden die Handelsbeziehungen von 80 Ländern für 18 Gütergruppen untersucht. Die 80 Länder wurden dabei zu zehn Regionen zusammengefasst, die von der International Energy Agency (IEA) im World Energy Outlook und auch von Greenpeace im Energy-Revolution-Szenario verwendet werden (OECD Nordamerika, OECD Europa, Euroasia, China, Indien, übriges Asien (non-OECD), Lateinamerika, Mittlerer Osten, Afrika, OECD Asien und Ozeanien).

Tabelle 10: Regionale Importe und Anteile deutscher Exporte an den regionalen Importen für ausgewählte Gütergruppen im Jahr 2012

	Chemische Erzeugnisse	Gummi- und Kunststoffwaren	Metall-erzeugnisse	Elektrische Ausrüstungen	Maschinen	Kraftwagen und Kraftwagenteile
	INTERNATIONALE IMPORTE [in Mrd. Euro]					
OECD Nordamerika	165,784	82,626	66,59	138,117	255,5	365,676
OECD Europa ohne D	427,447	149,623	128,903	179,328	374,728	397,201
Euroasia	30,677	12,888	12,471	16,096	56,258	54,27
China	164,562	30,701	17,5	105,782	122,677	75,456
Indien	37,378	3,503	5,792	10,08	28,729	7,294
übriges Asien (non-OECD)	127,435	27,148	26,605	59,208	130,255	54,344
Lateinamerika	43,638	9,409	7,613	13,588	42,048	42,88
Mittlerer Osten	38,082	13,902	15,724	25,919	66,632	64,283
Afrika	20,326	7,282	6,476	10,773	29,957	30,801
OECD Asien und Ozeanien	95,258	29,32	24,371	49,807	106,428	66,415
Welt o. D	1150,587	366,402	312,045	608,698	1213,212	1158,62
	ANTEIL DEUTSCHER EXPORTE AN DEN INTERNATIONALEN IMPORTEN [in %]					
OECD Nordamerika	4,8	3,8	5,1	5,7	8,7	10,8
OECD Europa ohne D	19,0	26,5	26,0	25,0	27,7	33,9
Euroasia	17,3	16,3	16,9	21,3	24,2	22,6
China	3,4	6,0	12,9	7,4	17,9	34,4
Indien	4,3	7,6	7,0	11,7	13,4	13,9
übriges Asien (non-OECD)	3,6	2,5	2,9	4,0	5,9	7,3
Lateinamerika	7,3	6,4	8,1	11,3	12,2	8,2
Mittlerer Osten	7,7	5,8	5,6	9,2	10,8	9,7
Afrika	10,3	10,0	6,9	14,3	11,4	19,0
OECD Asien und Ozeanien	8,4	10,6	14,0	15,8	20,8	59,6
Welt o. D	10,7	14,4	15,3	13,3	17,4	23,5

Quelle: OECD, eigene Berechnungen.

Die Tabelle enthält im oberen Teil die absoluten Importe der jeweiligen Regionen für die ausgewählten Gütergruppen sowie im unteren Teil die Anteile deutscher Exporte an den oben dargestellten Importen. Zu den international handelsintensivsten Gütergruppen zählen insbesondere diejenigen, in denen Deutschland auch hohe Exportraten aufzuweisen hat (vgl. Destatis 2015). Insbesondere bei Maschinen, Kraftwagen und chemischen Erzeugnissen wurden im Jahr 2012 weltweit jeweils Importe für über 1.000 Mrd. US-Dollar getätigt. Bei allen drei genannten Gütergruppen hat Europa bei den hier betrachteten Regionen jeweils die höchste Importnachfrage. Aber auch der asiatische Raum (bestehend aus China, Indien, OECD Asien und übriges Asien) hat eine hohe Nachfrage nach den genannten Gütergruppen und dementsprechend eine hohe Importnachfrage.

China hat sich in den vergangenen 25 Jahren zu einem der bedeutendsten Abnehmer für deutsche Exporte entwickelt und lag im Jahr 2015 mit einem abgenommenen Exportvolumen in Höhe von über 71 Mrd. Euro auf Rang 5 der deutschen Handelspartner im Außenhandel. Wichtigster Abnehmer von deutschen Exporten waren im Jahr 2015 die Vereinigten Staaten von Amerika mit einem abgenommenen Exportvolumen von über 113 Mrd. Euro. Der deutsche Außenhandel ist trotz der hohen amerikanischen und chinesischen Nachfrage weiterhin stark europageprägt. Mit 67 % entfiel der Hauptanteil der deutschen Exporte im Jahr 2015 auf Europa (ca. 800 Mrd. Euro). 57 % der deutschen Exporte gingen an EU-Mitgliedsstaaten. Nach Asien wurden im Jahr 2015 Güter und Waren im Wert von 196 Mrd. Euro exportiert, was einem Anteil von 16 % an den deutschen Exporten entspricht. Zu den wichtigsten europäischen Handelspartnern und Abnehmern von deutschen Exporten zählen Frankreich, Großbritannien, Niederlande, Italien, Österreich, Polen, Schweiz und Belgien.

Bei den deutschen Exportgütern z.B. im Bereich der Maschinen und Kraftwagen handelt es sich typischerweise um hoch spezialisierte, wissensintensive Investitionsgüter (vgl. Destatis 2015). Dabei ist der deutsche Außenhandel stark intraindustriell geprägt: rund 70 % der deutschen Ausfuhren stehen Einfuhren von Gütern der gleichen Produktgruppe gegenüber, was eine typische Handelsstruktur zwischen Ländern auf einem ähnlichen Entwicklungsniveau (z.B. Länder innerhalb der Europäischen Union) ist (vgl. Hauschild et al. 2015). Anders verhält es sich z.B. beim Handel mit China: den spezialisierten Maschinen, die Deutschland exportiert, stehen auf der anderen Seite kostengünstige Konsumgüter wie z.B. T-Shirts gegenüber.

Bedingt durch die einfachen Transportmöglichkeiten und die einheitliche Währung wird ein Großteil der deutschen Exporte an das europäische Ausland geliefert. Im Jahr 2012 wurden 34 % der europäischen Importe (ohne Deutschland) an Kraftfahrzeugen und Kraftwagenteilen aus Deutschland importiert, bei Maschinen waren es knapp 28 %, bei Metallerzeugnissen 26 % und bei elektrischen Ausrüstungen 25 %. Bei Gummi- und Kunststoffwaren sowie chemischen Erzeugnissen haben deutsche Exporte ebenfalls einen hohen Anteil an den europäischen Importen. Auch in den osteuropäischen Ländern sind die Handelsanteile Deutschlands bei den dargestellten Gütergruppen jeweils im zweistelligen Bereich. Die wichtige Rolle von Kraftwagen und Kraftwagenteilen als deutsches Exportgut spiegelt sich auch weltweit in den Anteilen der deutschen Exporte wider. Bezogen auf die weltweiten Importe kamen 23,5 % der Kraftwagen und Kraftwagenteile aus Deutschland. Neben Europa hat Nordamerika die zweithöchsten Importe bei Kraftfahrzeugen zu verzeichnen. Im Jahr 2012 hat Nordamerika Kraftfahrzeuge im Wert von 365 Mrd. US-Dollar importiert, wovon 10,4 % aus Deutschland kamen. Damit ist der amerikanische Markt wertmäßig ein wichtiger Absatzmarkt für deutsche Fahrzeuge. Auch die Absatzmärkte in Asien und insbesondere China, wo der Anteil der deutschen Exporte sehr hoch ist, sind bedeutend für die deutschen Exporte, jedoch sind die internationalen Importe von Fahrzeugen im asiatischen Raum wertmäßig insgesamt niedriger als in Europa und Nordamerika.

Die wichtige Rolle des Maschinenbaus für die deutschen Exporte spiegelt sich auch in hohen Handelsanteilen Deutschlands an den internationalen Importen wider, welche regional größtenteils zweistellig sind und weltweit im Jahr 2012 einen Anteil von 17,4 % an den Importen ausmachten. Hier haben der asiatische Markt und der nordamerikanische Markt ebenfalls eine hohe Bedeutung. Der deutsche Handelsanteil liegt zwischen 18 % bei chinesischen Importen und 21 % bei asiatischen Importen. Obwohl die chemischen Erzeugnisse eine wichtige Säule für die deutschen Exporte bilden, ist der Anteil der deutschen Exporte an den internationalen Exporten im Vergleich zu den anderen Gütergruppen etwas geringer. An den weltweiten Importen hatte Deutschland im Jahr 2012 nur einen Anteil von knapp 10 %. Mit chemischen Erzeugnissen im Wert von ca. 80 Mrd. Euro gingen die meisten Exporte nach Europa. Die Exporte nach Nordamerika und Asien waren nur etwa ein Zehntel so hoch. Diese im Vergleich geringeren Exporte führen zu geringen Anteilen der deutschen Exporte an den regionalen Importen. Insgesamt wurden die Handelsanteile Deutschlands für 18 Gütergruppen und 10 Regionen ermittelt.

Die Internationalisierung von Produktion und Wertschöpfungsketten lässt sich mit dem hier dargestellten Ansatz nur lückenhaft abbilden. Local Content Regelungen machen es beispielsweise erforderlich, dass ein bestimmter Anteil beim Ausbau der erneuerbaren Energien aus heimischer Produktion und Fertigung kommen muss. Daher kann es auch für deutsche Firmen attraktiv sein, sich in den jeweiligen Ländern anzusiedeln, um so die internationalen Märkte

vor Ort direkt beliefern zu können. Voraussetzung für einen derartigen Schritt ist eine entsprechende erwartbare Marktgröße. Letztlich lässt sich nur begrenzt abschätzen, welche Teile der Wertschöpfungskette dauerhaft von deutschen Unternehmen in Deutschland produziert werden und welcher Anteil sich vielleicht in das Ausland verlagert. Im Rahmen einer Sensitivität kann die Abnahme deutscher Marktanteile abgebildet werden, insgesamt wird jedoch eine zunehmende Globalisierung und Ausdehnung des Welthandels unterstellt.

8.1.4 ANTEIL DER WELTWEIT GEHANDELTEN MENGEN AN EE-RELEVANTEN GÜTERGRUPPEN

Zur Abschätzung des deutschen Anteils an den weltweiten Investitionen ist es erforderlich, die an den weltweiten Investitionen durch Importe beschaffte bzw. die überhaupt über internationale Märkte bezogene Menge an EE-Anlagen, Komponenten und Vorleistungen einzugrenzen. Nicht alle Teile der Wertschöpfungskette bei erneuerbaren Energietechnologien werden auch international gehandelt. Bei den Komponenten und Vorleistungen, die über internationale Märkte bezogen werden können, werden nicht alle Güter im gleichen Maße auf dem Weltmarkt gehandelt. Neben Dienstleistungen werden z.B. Komponenten mit regionalspezifischen Besonderheiten oder ortsgebundene Komponenten nur in geringem Umfang gehandelt (vgl. Lehr et al. 2015).

Wie oben bereits angesprochen, spielen auch Local Content-Regelungen eine wichtige Rolle beim internationalen Handel mit EE-Technologien. Die Forderungen nach lokaler Wertschöpfung für die Installation von EE-Anlagen sollen die heimische Industrie und Produktion stärken. Insbesondere in der Aufbauphase eines solchen Industriezweigs kann es durch Local Content Regelungen gelingen, dass sich die entsprechenden Industriezweige schneller entwickeln können. Eine dauerhafte Etablierung solcher Local Content-Regelungen hat aber zur Folge, dass sich Unternehmen nur dann auf dem jeweiligen regionalen Markt ansiedeln, wenn die zu erwartende Marktgröße groß genug ist (vgl. Lehr et al. 2015).

Die Anteile der über den internationalen Handel bezogenen EE-Anlagen, Komponenten und Vorleistungen an den weltweit getätigten Investitionen können für die einzelnen Gütergruppen bestimmt werden. Die Regionalisierung führt dazu, dass der Import eines Landes aus einem Land der gleichen Region nicht den Welthandel zwischen den Regionen beeinflusst. Für die Bestimmung der Exporte Deutschlands wird für „Gummi- und Kunststoffwaren“ ein Anteil der importierten Güter in Höhe von 40 % angenommen, für „Metallerzeugnisse“ ein Anteil von 30 %, für „elektrische Ausrüstungen“ ein Anteil von 40 % und für „Maschinen“ ein Anteil von 40 %.

Anhand der Komponentenstruktur, der Zuordnung der Komponenten zu den entsprechenden Wirtschaftszweigen sowie den Vorleistungsverflechtungen für diese Wirtschaftszweige ist es möglich, die durch die oben dargestellten regionalen Investitionen in erneuerbare Energien ausgelösten Nachfrageimpulse abzubilden. Wie bereits oben angedeutet, werden diese Investitionen nicht vollständig durch deutsche Exporte befriedigt. Vielmehr werden die Exportmöglichkeiten Deutschlands dadurch begrenzt, dass zum einen Deutschland nur ein möglicher internationaler Handelspartner ist und zum anderen nur ein bestimmter Anteil der Investitionen überhaupt aus internationalem Handel bezogen wird.

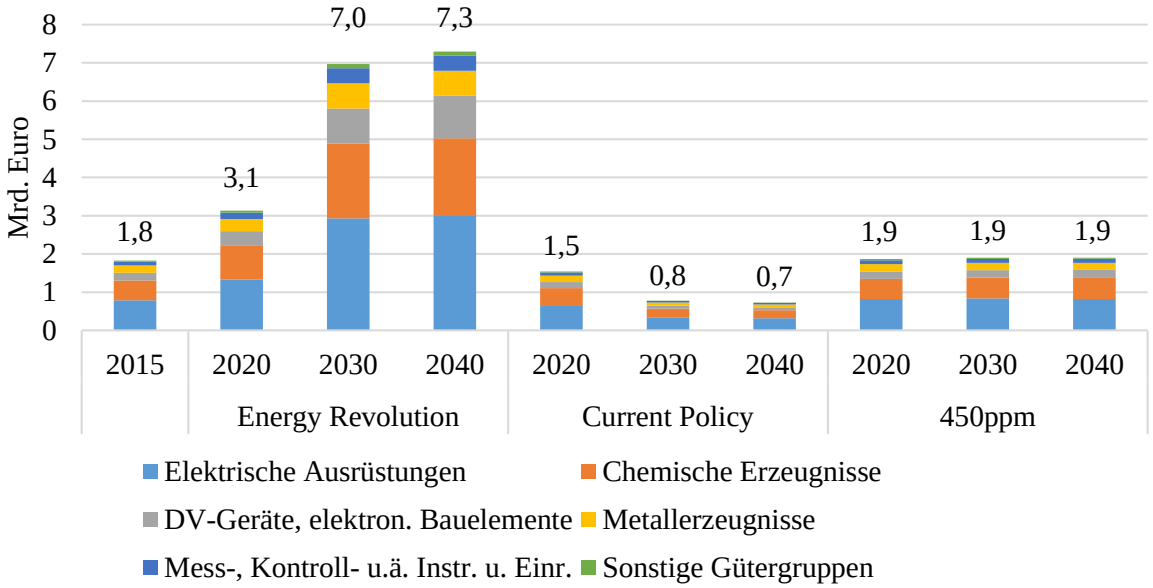
8.2 EXPORTE DEUTSCHLANDS BEIM INTERNATIONALEN EE-AUSBAU

Auf Basis der in Abbildung 47 vorgestellten Vorgehensweise wurden drei unterschiedliche Exportszenarien für mögliche deutsche Exporte im Bereich der erneuerbaren Energien entwickelt. Der Treiber des Exportszenarios ist der jeweilige Ausbau erneuerbarer Energien in installierter Leistung aus dem optimistischen Energy-Revolution-Szenario, dem Current-Policy-Szenario sowie dem 450ppm-Szenario. Die Exporte Deutschlands werden jeweils getrennt für die Technologien Wind und Photovoltaik ausgewiesen.

8.2.1 EXPORTE DEUTSCHLANDS IN DER PV-INDUSTRIE

Der weltweite Ausbau der Photovoltaik wurde in den letzten Jahren stark durch eine zunehmend dominantere Rolle Chinas bestimmt. Insbesondere die Zell- und Modulproduktion ist durch eine wachsende Produktionskapazität Chinas in den letzten Jahren stark gestiegen. In Folge der hohen Fertigungskapazitäten haben sich Überkapazitäten auf dem Weltmarkt aufgebaut (vgl. Abbildung 20). Für Produzenten muss davon ausgegangen werden, dass es nicht zu einem Aufbau größerer regionaler Wertschöpfung in anderen Weltregionen kommen wird und somit der asiatische Raum zukünftig seine Marktposition weiter ausbauen wird. Neben der Produktion von Solarzellen und Modulen konnten asiatische Hersteller auch bei Wechselrichtern ihre Marktanteile vergrößern (vgl. Abschnitt 5.3.3). Trotz der zunehmenden Stärke des asiatischen Raums können auch deutsche Unternehmen in Zukunft ihre Produkte auf den internationalen Märkten anbieten. Eine wettbewerbsstarke Position Deutschlands kann insbesondere durch die ursprüngliche Vorreiterrolle Deutschlands beim Ausbau der erneuerbaren Energien begründet werden. Zu nennen sind bspw. Produktionsanlagen und Wechselrichter, bei denen deutsche Unternehmen Wettbewerbsvorteile haben. Zur Wahrung einer starken Wettbewerbsposition muss das deutsche Knowhow jedoch auch in Zukunft weiter ausgebaut werden und z. B. durch Forschung und Entwicklung neue Wettbewerbsvorteile generiert werden. Gerade im optimistischen Energy-Revolution-Szenario muss durch die hohen internationalen EE-Investitionen und den damit einhergehenden neuen Produktionsstandorten in den jeweiligen Ländern davon ausgegangen werden, dass sich die Wettbewerbsvorteile bestehender Unternehmen schneller verringern werden und ausländische Unternehmen zunehmend an Knowhow gewinnen werden. Die Annahme eines konstanten Welthandelsanteils Deutschlands muss also differenziert für die einzelnen Szenarien kritisch hinterfragt werden.

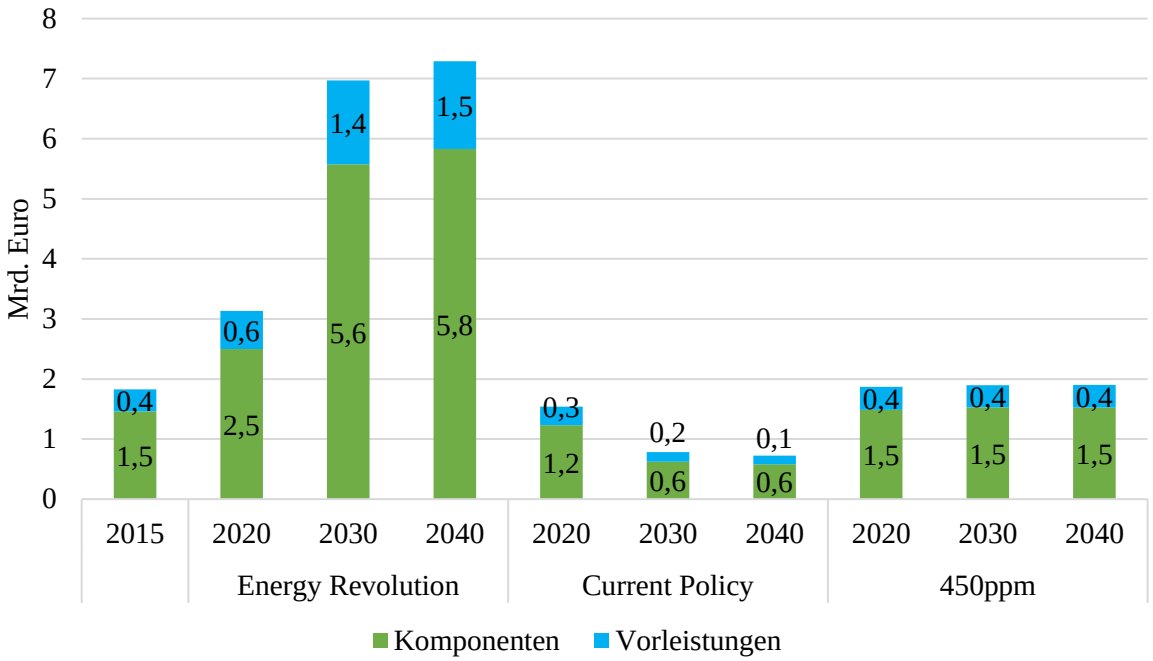
Abbildung 53: Exporte deutscher Unternehmen in der Photovoltaik-Branche nach Gütergruppen in Mrd. Euro



Quelle: eigene Berechnungen.

Die Exporte Deutschlands können differenziert nach Gütergruppen und Regionen für die drei Szenarien analysiert werden. Abbildung 53 verdeutlicht die Exporte Deutschlands für die Gütergruppen, die für die Herstellung von Photovoltaik-Anlagen relevant sind. Die abgebildeten Werte beinhalten dabei sowohl die Exporte an Komponenten als auch die Exporte an möglichen Vorleistungen. Im Energy-Revolution-Szenario sind die elektrischen Ausrüstungen und die chemischen Erzeugnisse diejenigen Wirtschaftszweige, in denen die höchsten Exportraten zu erwarten sind. Es wird angenommen, dass die Exporte an elektrischen Ausrüstungen bis zum Jahr 2040 auf 3 Mrd. Euro ansteigen und die Exporte an chemischen Erzeugnissen auf 2 Mrd. Euro ansteigen. Auch die elektronischen Bauelemente werden in nennenswertem Umfang exportiert (2040: 1,1 Mrd. Euro). In Summe wird erwartet, dass die zusätzlichen Exporte von 1,8 Mrd. Euro im Jahr 2015 auf 7,3 Mrd. Euro im Jahr 2040 ansteigen. Im Current-Policy-Szenario fallen die Exporte Deutschlands aufgrund der geringer angenommenen weltweiten EE-Investitionen sehr klein aus. Von 1,5 Mrd. Euro im Jahr 2020 fallen die möglichen Exporte Deutschlands auf 700 Mio. Euro im Jahr 2040 ab. Dominierend sind in diesem Szenario auch die Exportmöglichkeiten für elektrische Ausrüstungen und chemische Erzeugnisse. Im 450ppm-Szenario stellen sich für die Jahre 2020, 2030 und 2040 jeweils Exportmöglichkeiten in Höhe von knapp 2 Mrd. Euro ein.

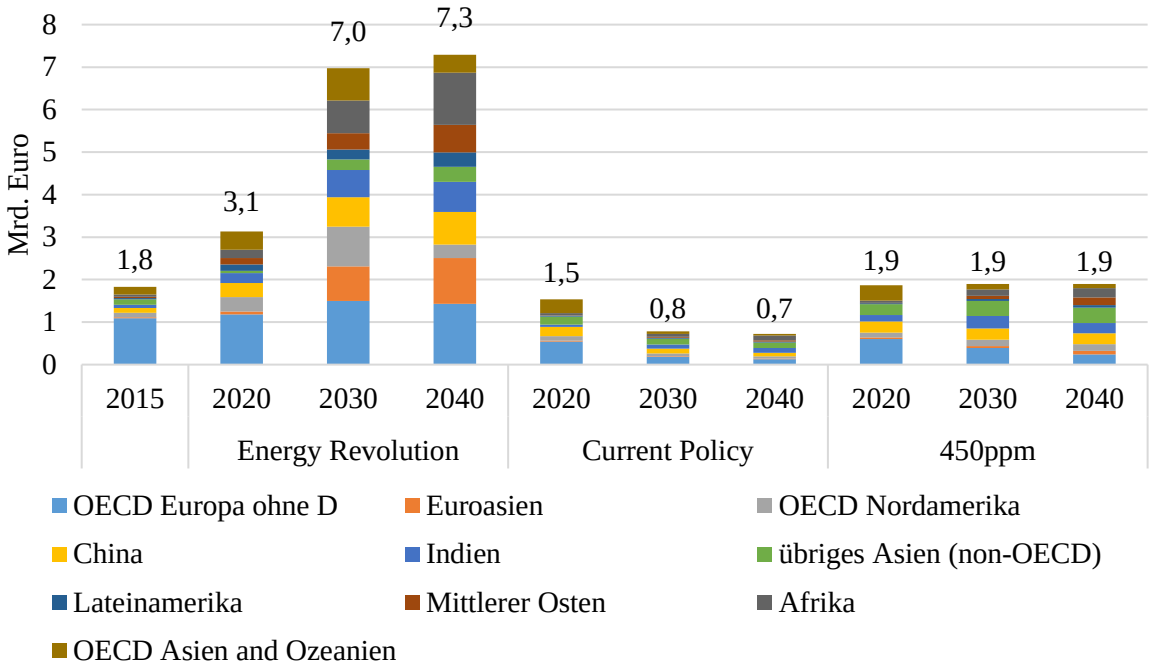
Abbildung 54: Aufteilung der Exporte in der Photovoltaik-Branche auf Komponenten und Vorleistungen in Mrd. Euro



Quelle: eigene Berechnungen.

Abbildung 54 verdeutlicht die Aufteilung der möglichen deutschen Exporte der Photovoltaik-Branche auf Komponenten und Vorleistungen. Komponenten haben einen deutlich größeren Anteil an den Exporten als die Vorleistungen. In den einzelnen Szenarien haben die Komponenten jeweils einen Anteil von rund 80 % und die Vorleistungen jeweils einen Anteil von 20 % an den Exporten.

Abbildung 55: Exporte deutscher Unternehmen in der Photovoltaik-Branche nach Regionen in Mrd. Euro



Quelle: eigene Berechnungen.

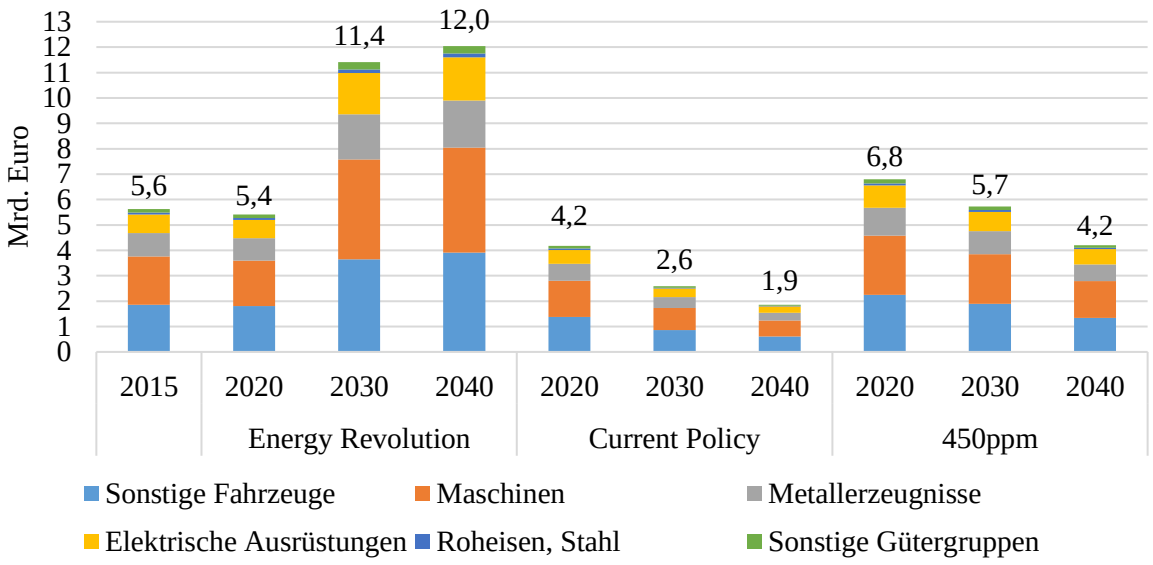
Regional aufgeschlüsselt erkennt man eine deutlich veränderte Exportstruktur für die zukünftigen Exporte. Im Jahr 2015 ist Europa mit über 1 Mrd. Euro der Hauptabnehmer von deutschen Exporten. Da sich das Exportvolumen für das europäische Ausland im Zeitverlauf im Energy-Revolution-Szenario nicht merklich erhöht, nimmt das Gewicht Europas für die deutschen Exporte insgesamt deutlich ab. Ausschlaggebend dafür sind die steigenden Investitionen in den übrigen Regionen. Insbesondere Nordamerika und Asien sind im Jahr 2030 neben Europa die größten Abnehmer deutscher Exporte für Photovoltaik. Nordamerika nimmt, wie weiter oben beschrieben, bereits bei einer Reihe von Exportgütern eine hervorragende Rolle als Handelspartner ein, ebenso wie China und andere asiatische Länder. Im Jahr 2040 nehmen die Importe Nordamerikas leicht ab und der asiatische Raum sowie Afrika gewinnen an zusätzlicher Bedeutung für deutsche Exporte. Auch in den weiteren zwei betrachteten Szenarien verliert Europa an Gewicht bei den deutschen Exporten und der asiatische Raum gewinnt an Bedeutung, jedoch in einem deutlich geringeren Umfang als im Energy-Revolution-Szenario.

8.2.2 EXPORTE DEUTSCHLANDS IN DER WIND-INDUSTRIE

Für die Exporte in der Wind-Branche ergibt sich für die Onshore- und Offshore-Industrie ein differenziertes Bild. Die Windenergie zu Land hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einer ausgereiften Technologie entwickelt, während die Offshore-Windenergie noch am Anfang der Entwicklung steht. Dementsprechend haben sich auch die Industrien unterschiedlich entwickelt. Insbesondere die marktführenden Unternehmen der Onshore-Branche haben sich in der Vergangenheit in den einzelnen Weltregionen niedergelassen und produzieren vor Ort die entsprechenden Anlagen. Lehr et al. (2015) stellen jedoch heraus, dass es trotz der etablierten Unternehmen vor Ort auch in Zukunft in vielen Regionen zu hohen Welthandelsanteilen

bei den Komponenten und Anlagen der Onshore-Windindustrie kommen wird. Als Grund hierfür werden starke Marktschwankungen und eine schwer abzuschätzende optimale Produktionsverteilung genannt. Bei Offshore-Windenergie steht durch die gerade erst begonnene Entwicklung der Technologie zurzeit noch die lokale Produktion und Wertschöpfung im Vordergrund, sodass die Welthandelsanteile für Offshore-Technologien in naher Zukunft eher gering ausfallen. Im Folgenden liegt der Fokus wieder auf der Onshore-Windkraft.

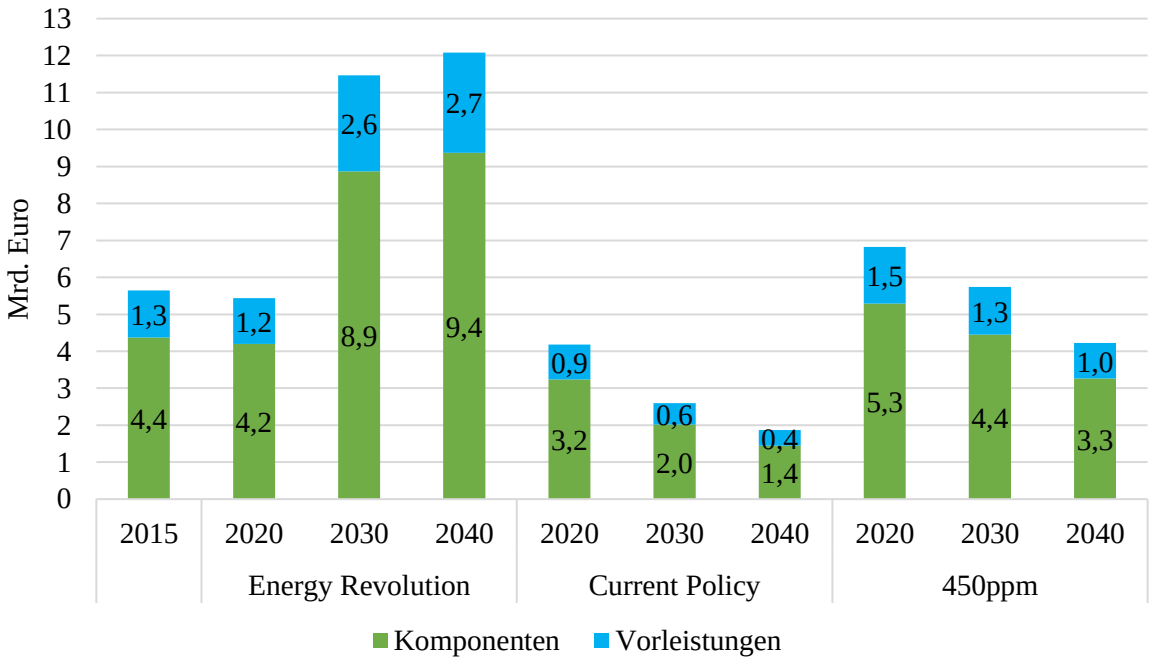
Abbildung 56: Exporte deutscher Unternehmen in der Wind-Branche nach Gütergruppen in Mrd. Euro



Quelle: eigene Berechnungen.

Abbildung 56 verdeutlicht die Exporte Deutschlands für diejenigen Gütergruppen, die für die Technologie Wind Onshore relevant sind. Insbesondere der Maschinenbau, die Metallerzeugnisse und die elektrischen Ausrüstungen erfahren durch den weltweiten Ausbau an Wind-Leistung neue Möglichkeiten zum Export ihrer Produkte. Ebenfalls relevant ist der sonstige Fahrzeugbau, dem z. B. die Rotorblätter zugeordnet werden können. Im Energy-Revolution-Szenario steigen die Exporte Deutschlands in der Wind-Branche von ca. 5,4 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf 12 Mrd. Euro im Jahr 2040 an. Im Jahr 2040 betragen die zusätzlichen Exporte an sonstigen Fahrzeugen ca. 4 Mrd. Euro, der Maschinenbau erfährt durch die weltweiten Investitionen in Windenergie zusätzliche Exporte in Höhe von 4 Mrd. Euro, die Metallerzeugnisse in Höhe von 1,8 Mrd. Euro und die elektrischen Ausrüstungen in Höhe von 1,7 Mrd. Euro. Im Vergleich zur Photovoltaik fallen die Exporte für die Wind-Branche insgesamt höher aus (+ 4,7 Mrd. Euro im Jahr 2040). Im Current-Policy-Szenario sinken die Exporte Deutschlands in der Wind-Branche von 4,2 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf 1,9 Mrd. Euro im Jahr 2040 (+ 1,2 Mrd. Euro im Jahr 2040 im Vergleich zur Photovoltaik). Im 450ppm-Szenario sinken die Exporte Deutschlands von 6,8 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf 4,2 Mrd. Euro im Jahr 2040 (+ 2,3 Mrd. Euro im Jahr 2040 im Vergleich zur Photovoltaik).

Abbildung 57: Aufteilung der Exporte in der Wind-Branche auf Komponenten und Vorleistungen in Mrd. Euro

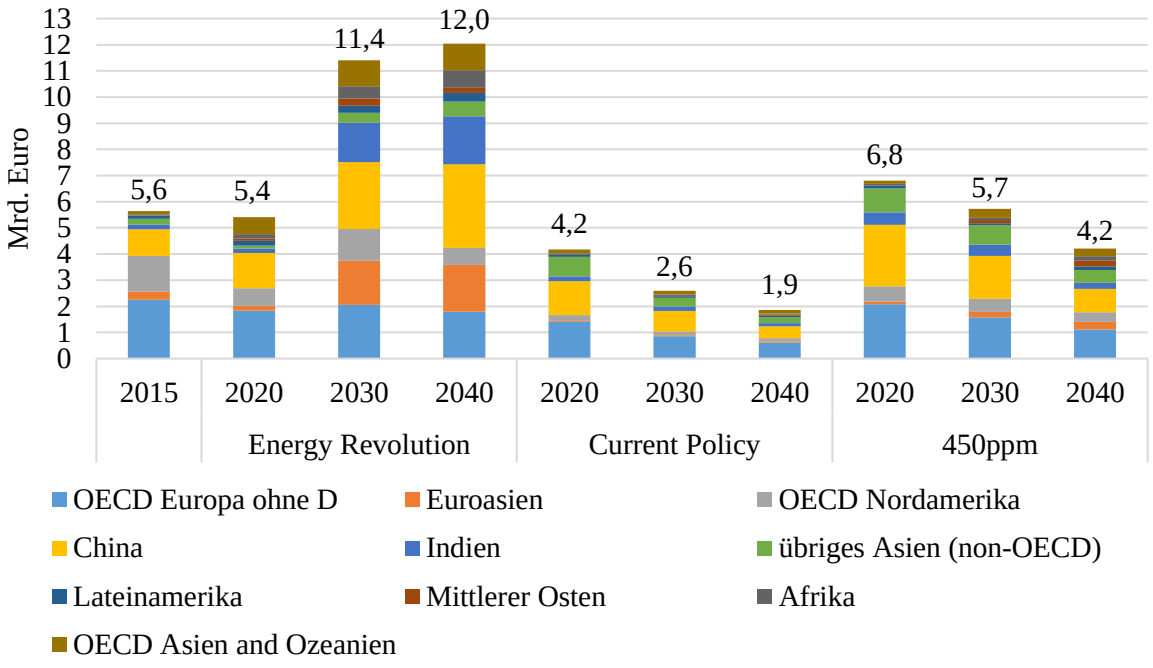


Quelle: eigene Berechnungen.

Im Vergleich zur PV-Branche fallen die Exportmöglichkeiten von Vorleistungen in der Wind-Branche ähnlich hoch aus. In den Szenarien beträgt der Anteil der Vorleistungen an den Exportmöglichkeiten jeweils ca. 22 %.

Ähnlich wie bei der Photovoltaik nimmt auch bei Wind Onshore die Bedeutung Europas für die deutschen Exporte ab. Vielmehr nimmt auch hier der asiatische Raum an Bedeutung zu. Insbesondere China (ca. 3 Mrd. Euro im Jahr 2040 im Energy-Revolution-Szenario) und Indien (ca. 1,8 Mrd. Euro im Jahr 2040 im Energy-Revolution-Szenario) sind Abnehmer für große Mengen an deutschen Exporten der Wind-Branche. Auch im Current-Policy-Szenario und im 450ppm-Szenario ist China jeweils der größte Abnehmer deutscher Exporte, gefolgt von Europa.

Abbildung 58: Exporte deutscher Unternehmen in der Wind-Branche nach Regionen in Mrd. Euro



Quelle: eigene Berechnungen.

8.2.3 EXPORTE DEUTSCHLANDS BEI ERNEUERBAREN ENERGIEN

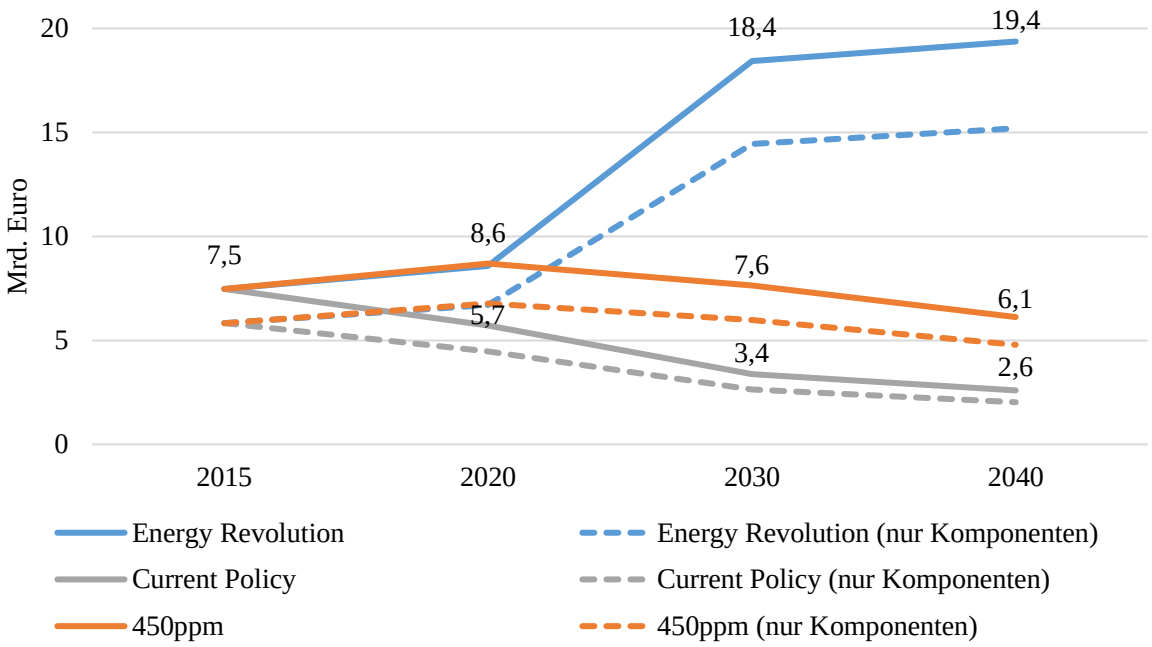
Summiert man die möglichen Entwicklungen für die Exporte für Photovoltaik und Wind Onshore auf, so erhält man die Pfade für die möglichen deutschen Exporte. Die gewählten drei Szenarien Energy Revolution, Current Policy und 450ppm verdeutlichen jeweils einen unterschiedlich starken weltweiten Ausbau der erneuerbaren Energien, womit eine gewisse Bandbreite an möglichem EE-Ausbau abgedeckt werden kann. In Abhängigkeit dieses Ausbaus stellen sich dementsprechend auch unterschiedliche Exportmöglichkeiten für die deutsche EE-Industrie ein. Die Bandbreite an Exportmöglichkeiten ergibt sich dabei ausschließlich aus den unterschiedlichen unterstellten Ausbauszenarien. Die übrigen Parameter zur Abschätzung der Exportmöglichkeiten (Anteil der gehandelten Mengen, Handelsanteil Deutschlands nach Regionen) werden im Rahmen einer Sensitivität verändert.

Bei einem starken globalen Ausbau der erneuerbaren Energien wie im Energy-Revolution-Szenario ergeben sich für Deutschland als exportorientierte Nation die größten Exporte für die PV- und Windindustrie. Von 8,6 Mrd. Euro im Jahr 2020 folgen die Exportmöglichkeiten einem positiven Trend und betragen im Jahr 2040 ca. 19,4 Mrd. Euro. Demgegenüber führen die Annahmen zum EE-Ausbau im Current-Policy- und im 450ppm-Szenario zu einem fallenden Trend und somit rückläufigen zusätzlichen deutschen Exporten, die jedoch immer noch positiv sind. Im pessimistischen Current-Policy-Szenario betragen die möglichen Exporte im Jahr 2020 5,7 Mrd. Euro und sinken bis zum Jahr 2040 auf 2,6 Mrd. Euro ab. Beim moderaten Verlauf des 450ppm-Szenarios sinken die Exporte von 8,6 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf 6,1 Mrd. Euro im Jahr 2040.

Wie bereits oben dargestellt, besteht ein Großteil der Exporte bei den Komponenten. Vorleistungen machen nur einen Anteil von ca. 20 % an den Exporten aus. Zur Veranschaulichung

sind die Exporte bei isolierter Betrachtung der Komponenten ebenfalls in Abbildung 59 dargestellt. Die Differenz zwischen den absoluten Exporten und den Exporten für Komponenten ergibt die Exporte für Vorleistungen.

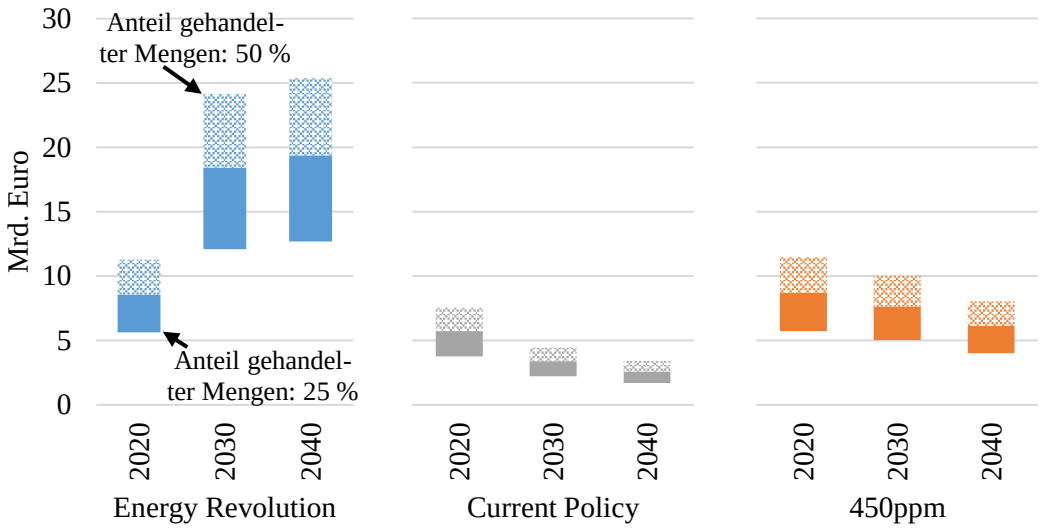
Abbildung 59: Summe deutscher Exporte (PV und Wind Onshore) in Mrd. Euro (reale Größen)



Quelle: eigene Berechnungen.

Zur Abbildung einer möglichen Bandbreite an Effekten kann insbesondere der über den internationalen Handel bezogene Anteil an Komponenten und Vorleistungen variiert werden. Zur Bestimmung einer Bandbreite an möglichen Exporten wurden diese Anteile in einer Sensitivitätsrechnung unterschiedlich hoch angesetzt. Für eine mögliche Untergrenze wurde angenommen, dass 25 % der weltweit getätigten EE-Investitionen über den internationalen Handel bezogen werden. Für eine mögliche Obergrenze wurde angenommen, dass der Anteil bei 50 % liegt. Die oben hergeleiteten Exporte basieren auf der Annahme, dass der Anteil in Abhängigkeit der einzelnen Gütergruppen zwischen 30 % und 40 % liegt. Die Handelsanteile Deutschlands an den international gehandelten Mengen verbleiben bei dieser Sensitivitätsanalyse jeweils auf dem oben angenommenen Niveau. Die daraus resultierenden Bandbreiten an Exporten sind in Abbildung 60 dargestellt.

Abbildung 60: Mögliche Bandbreiten der Exportvolumen Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien



Quelle: eigene Berechnungen.

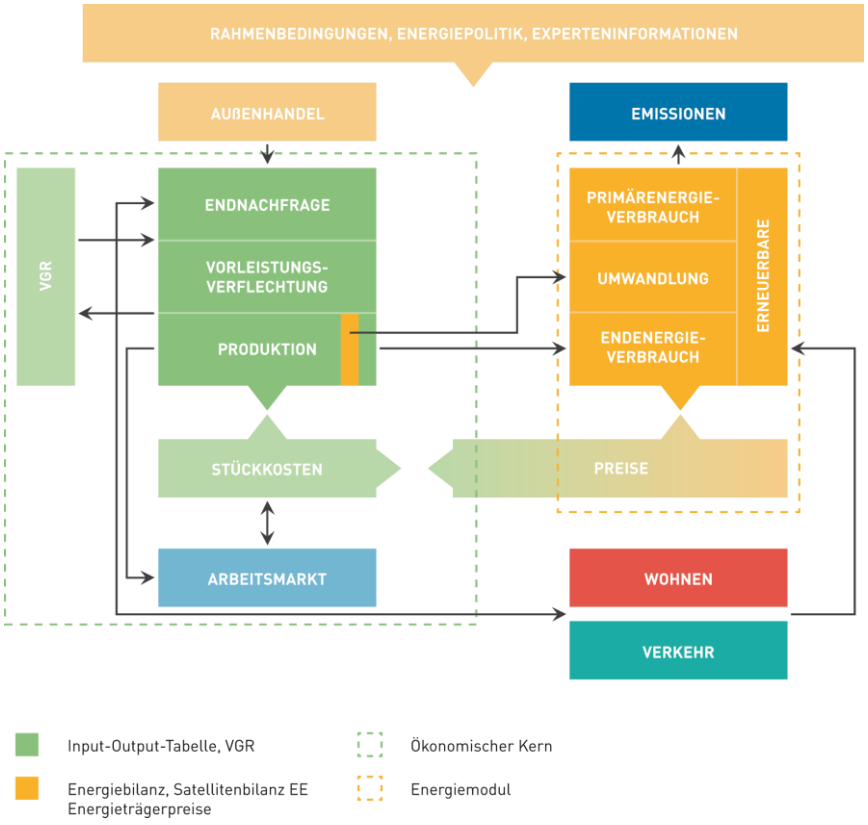
Der untere Rand der dargestellten Balken gibt jeweils die Exporte Deutschlands bei einem Anteil der über den internationalen Handel bezogenen EE-Investitionen von 25 % an. Die mittlere Trennung zwischen ausgefüllter und schraffierter Fläche gibt die Höhe der Exporte an, die oben hergeleitet wurden. Das obere Ende der schraffierten Fläche der Balken entspricht schließlich den Exporten bei einem gehandelten Anteil von 50 %. Im Energy-Revolution-Szenario variieren die Exporte im Jahr 2040 damit in Abhängigkeit des unterstellten Anteils an gehandelten Mengen in einem Bereich zwischen 14 und 27 Mrd. Euro. Im Current-Policy-Szenario und im 450ppm-Szenario fällt die Bandbreite entsprechend kleiner aus. Diese Bandbreite an möglichen Exporten wird im Folgenden auch zur Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Effekte eingesetzt.

9 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE EFFEKTE DURCH ZUSÄTZLICHE EE-EXPORTE

9.1 MODELLIERUNG

Die in Kapitel 8 hergeleiteten Exporte Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien werden im Folgenden genutzt, um die daraus resultierenden gesamtwirtschaftlichen Effekte sowie die Auswirkungen auf die Beschäftigung in Deutschland zu untersuchen. Dazu werden die drei oben genannten Szenarien mit den entsprechenden Werten und Annahmen in ein gesamtwirtschaftliches Modell eingestellt.

Abbildung 61: Schematische Darstellung des Modells PANTA RHEI



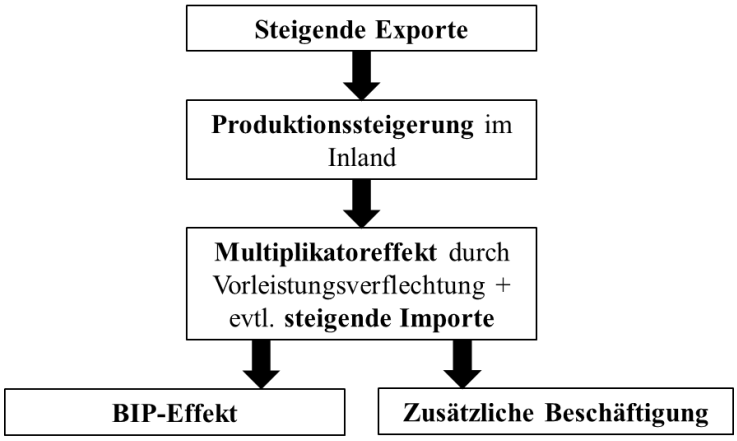
Quelle: GWS.

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 Luftschadstoffe“, „Verkehr“ sowie „Fläche und Wohnungen“. Als sog. 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. dass die Wirkungen einer Maßnahme auf alle Modellvariablen gleichzeitig erfasst werden und keine Effekte „verloren gehen“. Als Datengrundlage dienen insbesondere gesamtwirtschaftliche Größen auf Basis der amtlichen Statistik, vor allem Volkswirtschaftliche und Umweltökonomische Gesamtrechnungen inklusive Input-Output-Rechnung.

Das Modell PANTA RHEI besteht im Wesentlichen aus einem ökonomischen Kern sowie einem Energiemodul, in welchem die energetischen Zusammenhänge detailliert abgebildet werden. Neben den Energieverbräuchen werden im Energiemodul die Bereiche Wohnen, Verkehr und Luftschadstoffe explizit abgebildet. Die interdependente Lösung des Modells führt dazu, dass die einzelnen Modellteile sich gegenseitig beeinflussen: Der Verkehrsbereich liefert z. B. den Treibstoffverbrauch in Litern, der mit den Literpreisen multipliziert unmittelbar in die monetäre Vorleistungsnachfrage der Industrie und die Konsumnachfrage der Privaten Haushalte eingeht.

Die oben hergeleiteten möglichen Exporte für Deutschland durch den internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien werden exogen vorgegeben und in das Modell integriert. Durch die detaillierte Abbildung von 63 Wirtschaftszweigen im Modell können explizit diejenigen Wirtschaftszweige mit zusätzlichen Exporten angesprochen werden, die beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien von Bedeutung sind (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8). Die zusätzlichen Exportmöglichkeiten werden jeweils den Exporten der entsprechenden Wirtschaftszweige zugebucht. Die erhöhten Exporte lösen eine Wirkungskette aus, die sich wie folgt darstellen lässt:

Abbildung 62: Gesamtwirtschaftliche Wirkungen durch zusätzliche Exporte Deutschlands für den internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien



Quelle: eigene Darstellung.

Zusätzlich zum deutschen Ausbau der erneuerbaren Energien sorgen die Exporte Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien für eine Produktionssteigerung im Inland. Die zu exportierenden Güter, Komponenten und Vorleistungsprodukte werden in Deutschland gefertigt und sorgen somit für eine zusätzliche Nachfrage. Über die sog. Zweitrundeneffekte werden auch die entsprechend benötigten Vorleistungen zusätzlich nachgefragt. Je nach zu produzierenden Gütern gehen mit der Produktion auch steigende Importe von benötigten Vorleistungen einher. Insgesamt haben die zusätzlichen Exporte eine Auswirkung auf das Bruttoinlandsprodukt und sorgen für zusätzliche Beschäftigung. Die einzelnen Wirkungen werden im Folgenden näher erläutert.

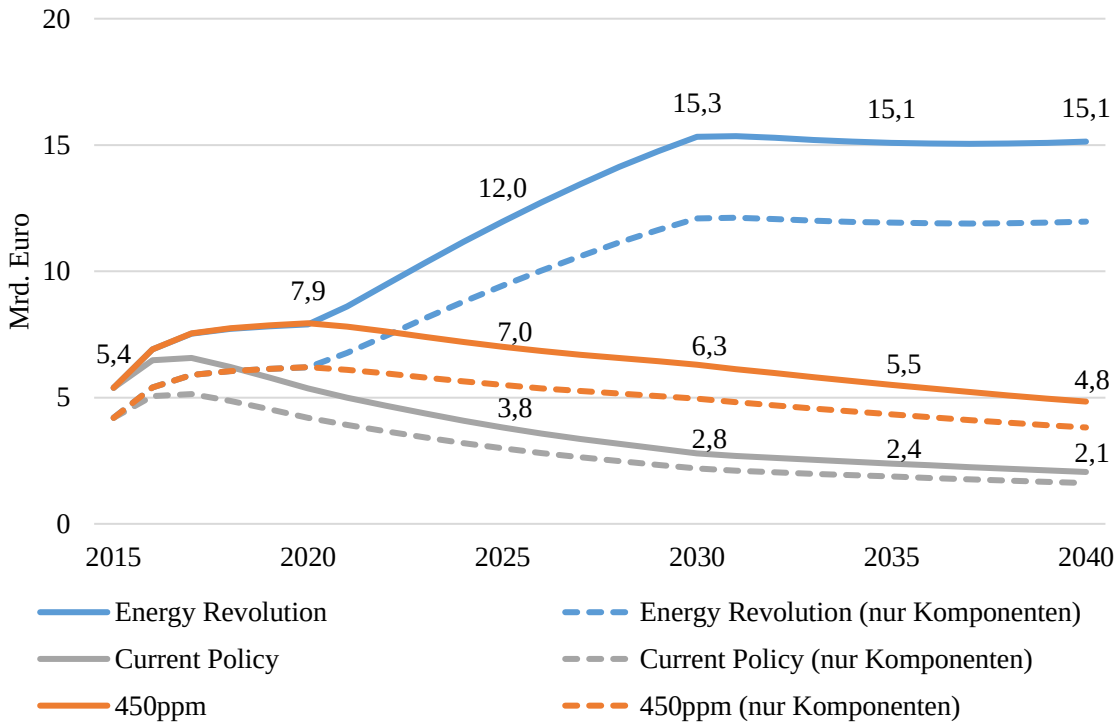
9.2 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE EFFEKTE

9.2.1 WIRKUNGEN AUF DAS BRUTTOINLANDSPRODUKT

Das Bruttoinlandsprodukt gibt den Wert aller Waren und Dienstleistungen an, die innerhalb eines Jahres innerhalb der Landesgrenzen einer Volkswirtschaft hergestellt wurden, nach Abzug aller Vorleistungen. Diese hergestellten Waren und Dienstleistungen werden dabei verschiedenen Verwendungen zugeführt, sodass das Bruttoinlandsprodukt auch über die Nachfrageseite berechnet werden kann und durch eine veränderte Nachfrage auch selbst Änderungen erfährt. Konkret ergibt sich die Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen aus den privaten Konsumausgaben, den staatlichen Konsumausgaben, den Bruttoinvestitionen sowie den Exporten. Da ein Teil dieser Nachfrage durch Importe befriedigt wird, reduzieren diese Importe die Höhe des Bruttoinlandsproduktes.

Durch die Einbeziehung der oben hergeleiteten möglichen Exporte für deutsche Unternehmen am internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien erhöhen sich die Exporte, wodurch sich ein direkter Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt einstellt. In Abhängigkeit der zur Herstellung der Exporte benötigten Vorleistungen können zusätzliche Importe erforderlich sein, was sich auf die Höhe des Effekts auf das Bruttoinlandsprodukt auswirkt. Abbildung 63 stellt die Wirkungen der Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt für die einzelnen Szenarien getrennt für Komponenten sowie für Komponenten plus Vorleistungen dar.

Abbildung 63: Vergleich der Wirkungen der möglichen Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt Deutschlands (reale Größen)



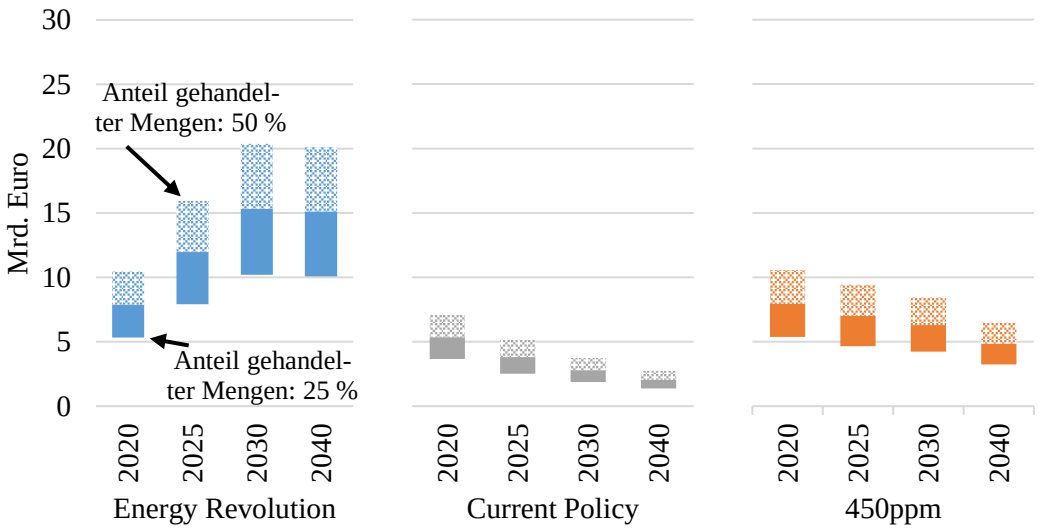
Quelle: eigene Berechnungen.

Die steigende Produktion zur Fertigung der Exporte hat eine positive Wirkung auf das Bruttoinlandsprodukt. Ein solcher Produktionsanstieg führt im Modell PANTA RHEI gleichzeitig auch zu einem Anstieg der Importe. Ein Anstieg der Produktion geht auch mit einem Anstieg der

Beschäftigung einher, wodurch die zusätzlichen neuen Beschäftigten ein erhöhtes verfügbares Einkommen erhalten, welches wiederum zu großen Teilen zu Konsumzwecken genutzt wird. Neben diesem steigenden privaten Konsum kommt es ebenfalls zu einem Anstieg des staatlichen Konsums sowie bei den Bauten und Ausrüstungen. In Summe stellt sich in den drei untersuchten Szenarien sowohl bei Komponenten und Vorleistungen als auch bei der isolierten Betrachtung von Komponenten jeweils ein positiver Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt ein, welcher in Abbildung 63 dargestellt ist.

Im Energy-Revolution-Szenario steigen die Exportmöglichkeiten bis zum Jahr 2040 auf über 20 Mrd. Euro an. Dementsprechend fällt auch der Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt am höchsten aus. Durch die zunehmenden Exportmöglichkeiten steigt der positive Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt von zusätzlichen 8 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf über 15 Mrd. Euro im Jahr 2030 und 2040 an. Von diesen 15 Mrd. Euro entfallen jeweils ca. 3 Mrd. Euro auf Vorleistungen und ca. 12 Mrd. Euro auf Komponenten. Im Current-Policy-Szenario und im 450ppm-Szenario ist der Effekt der zusätzlichen Exporte zwar positiv, aber jeweils von abnehmender Höhe. Im Current-Policy-Szenario sinkt der BIP-Effekt von 5,3 Mrd. Euro im Jahr 2020 auf 1,6 Mrd. Euro im Jahr 2040 und im 450ppm-Szenario von 8 Mrd. Euro im Jahr 2030 auf 5 Mrd. Euro im Jahr 2040.

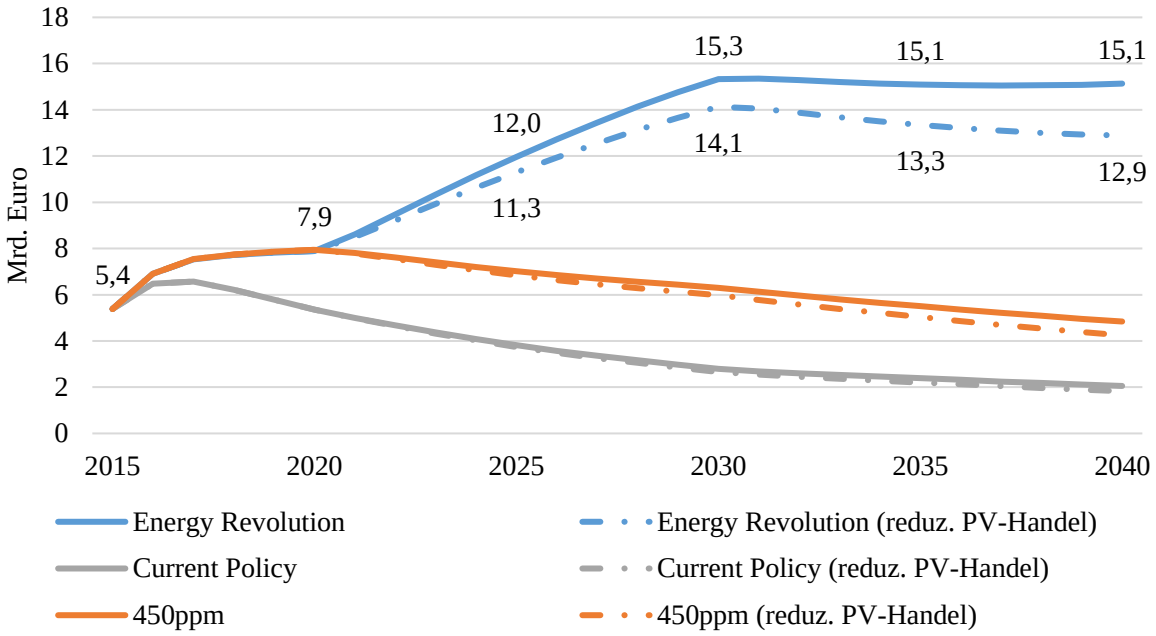
Abbildung 64: Mögliche Bandbreiten der Effekte der Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt Deutschlands beim internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien (reale Größen)



Quelle: eigene Berechnungen.

Die in Abbildung 60 hergeleiteten möglichen Bandbreiten an Exporten können genutzt werden, um mögliche Bandbreiten an BIP-Effekten zu bestimmen. Abbildung 64 gibt einen Überblick, wie groß die BIP-Effekte bei jeweils unterstelltem Anteil der über den internationalen Handel bezogenen Mengen von 25 % bzw. 30/40 % und 50 % sind. Analog zur obigen Argumentation sorgen höhere Exporte für eine erhöhte Produktion und damit für einen Anstieg des Bruttoinlandprodukts. Im Energy-Revolution-Szenario liegen die BIP-Effekte in Abhängigkeit des unterstellten gehandelten Anteils im Jahr 2020 in einem Bereich zwischen 5 und 10 Mrd. Euro im Jahr 2020 und zwischen 10 und 20 Mrd. Euro im Jahr 2040. In den anderen beiden Szenarien fällt die Bandbreite des BIP-Effekts entsprechend der geringeren Exporte kleiner aus.

Abbildung 65: Auswirkungen eines reduzierten PV-Handels auf das Bruttoinlandsprodukt



Quelle: eigene Berechnungen.

Abbildung 65 verdeutlicht die Wirkungen eines im Zeitverlauf sinkenden Handels mit Komponenten und Vorleistungen für Photovoltaik. Konkret wurde für die Sensitivitätsrechnung unterstellt, dass die Handelsanteile Deutschlands bei den gehandelten Komponenten und Vorleistungen für Photovoltaik-Anlagen im Jahr 2030 nur 80 % und im Jahr 2040 nur 60 % der oben hergeleiteten Handelsanteile betragen. Eine mögliche Ursache für einen solchen Einbruch des Handels kann z. B. in einem stärkeren Ausbau der Produktionsstandorte im Ausland sowie einer gestiegenen Wettbewerbsfähigkeit der ausländischen Produzenten gesehen werden. Für deutsche Produzenten wird es somit schwieriger, ihre Produkte im Ausland abzusetzen. Der reduzierte deutsche Handel reduziert den Effekt der Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt. Im Energy-Revolution-Szenario reduziert sich der Effekt der Exporte auf das Bruttoinlandsprodukt um 1,2 Mrd. Euro und im Jahr 2040 um 2,4 Mrd. Euro im Vergleich zu den ursprünglich berechneten Ergebnissen.

Tabelle 11: Übersicht über die wichtigsten ökonomischen Kenngrößen. Abweichungen zwischen Energy-Revolution-Szenario und dem Fall ohne zusätzliche Exporte von erneuerbaren Energietechnologien, in jeweiligen Größen.

	Absolutwerte					Abweichung in %				
	2015	2020	2025	2030	2040	2015	2020	2025	2030	2040
Komponenten des preisbereinigten BIP	**Abweichungen in Mrd. €**									
Bruttoinlandsprodukt	5,4	7,9	12,0	15,3	15,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4
Privater Konsum	1,3	3,3	5,0	6,8	7,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
Staatskonsum	0,1	0,3	0,5	0,5	0,6	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Ausrüstungen	0,7	0,8	1,2	1,6	1,6	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
Bauten	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
Exporte	7,2	8,7	14,3	19,4	20,8	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7
Importe	4,1	5,4	9,2	13,2	15,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6
Preisindizes	**Abw. in Prozentpunkten**									
Privater Konsum	-0,02	-0,05	-0,07	-0,10	-0,10	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,07
Produktion	-0,03	-0,07	-0,10	-0,12	-0,11	-0,03	-0,06	-0,08	-0,09	-0,08
Importe	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,05	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04
Staatshaushalt in jeweiligen Preisen	**Abweichungen in Mrd. €**									
Staatskonsum	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Monetäre Sozialleistungen	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,6	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Gütersteuern	0,3	0,5	0,8	1,0	1,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
Einkommen- und Vermögenssteuern	0,9	1,0	1,6	2,2	2,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4
Arbeitsmarkt	**absolute Abweichungen**									
Erwerbstätige (Inland) in 1000	37	42	59	69	63	0	0	0	0	0
Einkommen der pr. Haushalte in jew. Pr.	**Abweichungen in Mrd. €**									
Verfügbares Einkommen	1,8	4,5	7,0	9,8	10,9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
Empfangene Arbeitnehmerentgelte	1,7	3,3	5,5	7,8	8,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3
Empfangene Vermögenseinkommen	1,3	1,7	2,6	3,4	3,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5

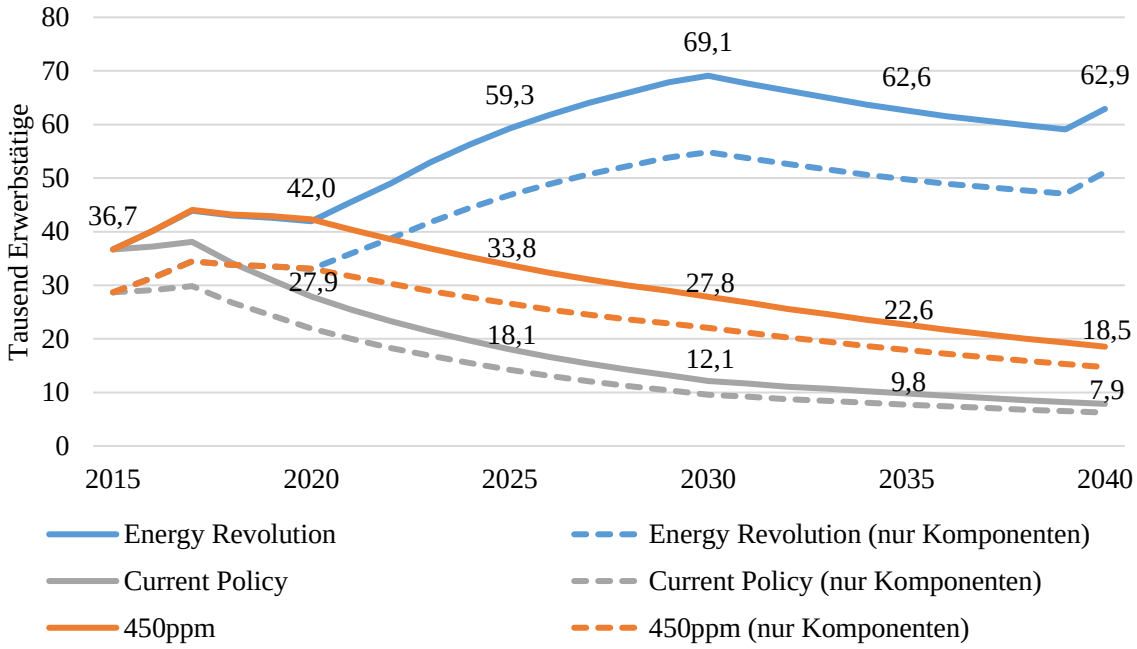
Quelle: eigene Berechnungen.

Tabelle 11 verdeutlicht die Entstehung des BIP-Effekts noch einmal quantitativ für das Energy-Revolution-Szenario im Vergleich zum Fall ohne zusätzliche Exporte. Die einzelnen ökonomischen Indikatoren entwickeln sich insgesamt positiv. Die positive Entwicklung bei den Exporten hat einen positiven Effekt auf die Produktion und Beschäftigung. Im Folgenden werden die Wirkungen der zusätzlichen Exporte auf die Beschäftigung genauer untersucht.

9.2.2 WIRKUNGEN AUF DIE BESCHÄFTIGUNG

Die Produktion der für den Export bestimmten Komponenten und Vorleistungen sorgt für Anpassungen auf dem Arbeitsmarkt. In Abhängigkeit des jeweils unterstellten EE-Ausbaus sorgen steigende Exporte für zusätzliche Beschäftigung. Sinkende Exportzahlen führen auf der anderen Seite zu einer Reduktion der Beschäftigung. Die zusätzlichen Exporte in den einzelnen Szenarien führen zu einem Produktionsanstieg bei den deutschen Herstellern und lösen dadurch einen positiven Beschäftigungsimpuls aus. In Abhängigkeit der Höhe der zusätzlichen Exporte fallen die Beschäftigungseffekte jeweils unterschiedlich hoch aus. Analog zu den Effekten beim Bruttoinlandsprodukt sind die Beschäftigungseffekte im Energy-Revolution-Szenario am größten. Abbildung 66 stellt die Effekte für die drei Szenarien gegenüber.

Abbildung 66: Vergleich der Wirkungen der möglichen Exporte auf die Beschäftigung

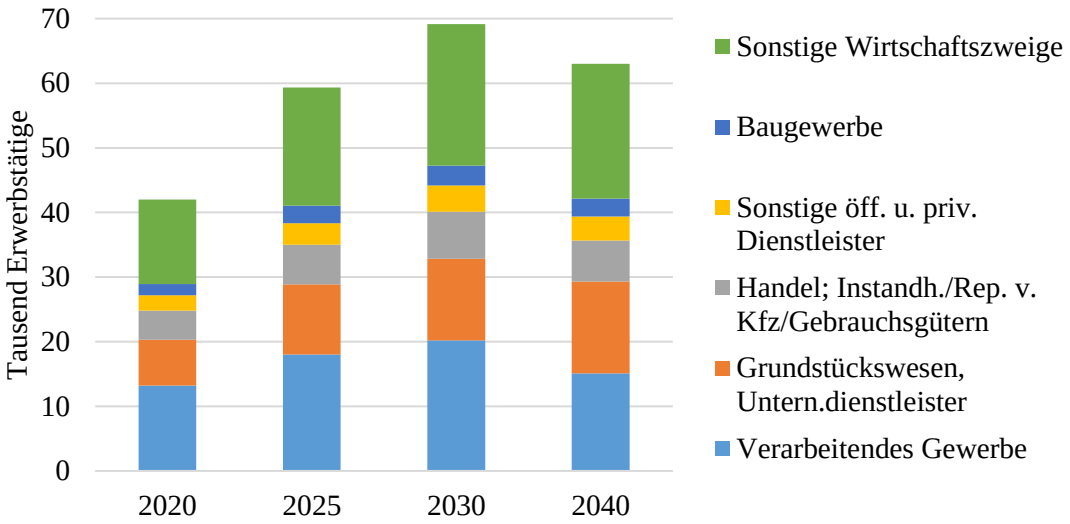


Quelle: eigene Berechnungen.

Die Beschäftigung steigt im Energy-Revolution-Szenario bis zum Jahr 2030 auf ca. 70.000 zusätzliche Beschäftigte an, ehe sie bis 2040 auf ca. 63.000 zusätzliche Beschäftigte absinkt. Von den 70.000 zusätzlichen Beschäftigten können ca. 55.000 Beschäftigte der Produktion von Komponenten und ca. 15.000 Beschäftigte der Produktion von Vorleistungen zugeordnet werden. Im Current-Policy-Szenario ist der Beschäftigungseffekt zwar positiv, aber mit fallender Tendenz. Auch im 450ppm-Szenario liegt die zusätzliche Beschäftigung deutlich unterhalb der zusätzlichen Beschäftigung im Energy-Revolution-Szenario.

Je nach im Ausland nachgefragter Technologie und Komponenten bzw. Vorleistungen erhöht sich die Produktion in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen. Die jeweils an der Produktion besonders beteiligten Wirtschaftszweige sind bei der Windkraft der Maschinenbau, die Metallerzeugnisse und die elektrischen Ausrüstungen sowie der sonstige Fahrzeugbau; bei der Photovoltaik sind es die elektrischen Ausrüstungen, die chemischen Erzeugnisse, die DV-Geräte sowie die Metallerzeugnisse. Abbildung 67 verdeutlicht die Entwicklung der zusätzlichen Beschäftigung im Energy-Revolution-Szenario in den am stärksten von den zusätzlichen Exporten betroffenen Wirtschaftszweigen.

Abbildung 67: Zusätzliche Beschäftigung durch die Exporte von Windkraft und Photovoltaik im Energy-Revolution-Szenario



Quelle: eigene Berechnungen.

Im Energy-Revolution-Szenario werden insbesondere im verarbeitenden Gewerbe die meisten der bis zu 70.000 zusätzlichen Arbeitskräfte eingestellt. Im Jahr 2020 beträgt der Zuwachs an Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe über 10.000 Personen. Bis zum Jahr 2030 steigt die Anzahl der Erwerbstätigen im verarbeitenden Gewerbe durch die zusätzlichen Exporte nochmals um weitere 10.000 Personen an, ehe sie bis zum Jahr 2040 wieder leicht rückläufig ist. Auch bei den sonstigen wirtschaftlichen Unternehmensdienstleistungen, beim Handel, im Baugewerbe sowie bei den technischen Dienstleistern können nennenswerte Beschäftigungszuwächse identifiziert werden.

Die folgende Tabelle 12 verdeutlicht detailliert die Bewegungen auf dem Arbeitsmarkt für das verarbeitende Gewerbe. Positive und negative Zuwächse und Abgänge in den Wirtschaftszweigen werden jeweils mit einem Plus- bzw. Minuszeichen gekennzeichnet. Veränderungen in einer Größenordnung von über 100 Beschäftigten werden explizit genannt. Die farbliche Kennzeichnung verdeutlicht die Entwicklungen zusätzlich.

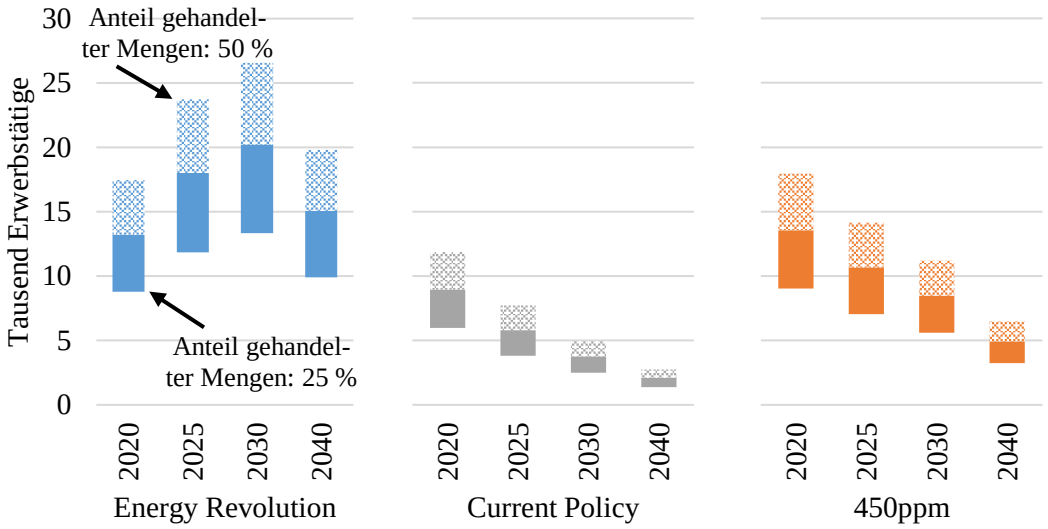
Tabelle 12: Zuwächse und Abgänge bei der Beschäftigung bei Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes im Energy-Revolution-Szenario im Detail

	2020	2025	2030	2040
Ernährungsgewerbe	370	476	542	386
Tabakverarbeitung	-	-	-	0
Textilgewerbe	-	-	-	-
Bekleidungsgewerbe	-	-	-	-
Ledergewerbe	-	-	-	+
Holzgewerbe (ohne H.v. Möbeln)	202	261	290	198
Papiergewerbe	-	-	-	-
Verlags-, Druckgewerbe, Vervielfältigung	297	378	415	300
Kokerei, Mineralölverarbeitung, H.v. Brutstoffen	-	-	-	-
H.v. chemischen Erzeugnissen	534	653	617	366
H.v. Gummi- und Kunststoffwaren	629	820	895	619
Glasgewerbe, H.v. Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	287	382	407	304
Metallerzeugung und -bearbeitung	630	802	864	623
H.v. Metallerzeugnissen	1776	2341	2554	1881
Maschinenbau	4204	5757	6673	5130
H.v. Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtung	+	+	+	+
H.v. Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.Ä.	3640	5180	5797	4302
Rundfunk- und Nachrichtentechnik	217	313	395	327
Medizin-, Mess-, Steuertechnik, Optik, H.v. Uhren	205	269	267	173
H.v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	500	617	703	564
Sonstiger Fahrzeugbau	-406	-426	-408	-252
H.v. Möbeln, Schmuck, Musikinstr., Sportger. usw.	171	192	211	150
Recycling	+	+	+	+
Summe	**13220**	**17998**	**20211**	**15084**

Quelle: eigene Berechnungen.

Der Maschinenbau sowie die Herstellung von Metallerzeugnissen haben den deutlichsten Zuwachs bei der Beschäftigung zu verzeichnen. Der exportbedingte Produktionsanstieg im Maschinenbau resultiert z. B. aus der Fertigung von Getrieben für Windkraftanlagen. Bei den Metallerzeugnissen werden z. B. Rotorwellen, Turmelemente oder die Montagegestelle für die Photovoltaik-Module zusätzlich produziert und exportiert. Aber auch die Vorleistungen für die Herstellung der Komponenten als auch die exportierten Vorleistungen haben einen positiven Effekt auf die Beschäftigung. Solche Vorleistungen können z. B. Lager oder Kleinteile wie Schrauben o. ä. für die Montage sein. Der erhöhten Beschäftigung in den genannten Wirtschaftszweigen steht dabei ein leichter Rückgang der Beschäftigung beim sonstigen Fahrzeugbau gegenüber.

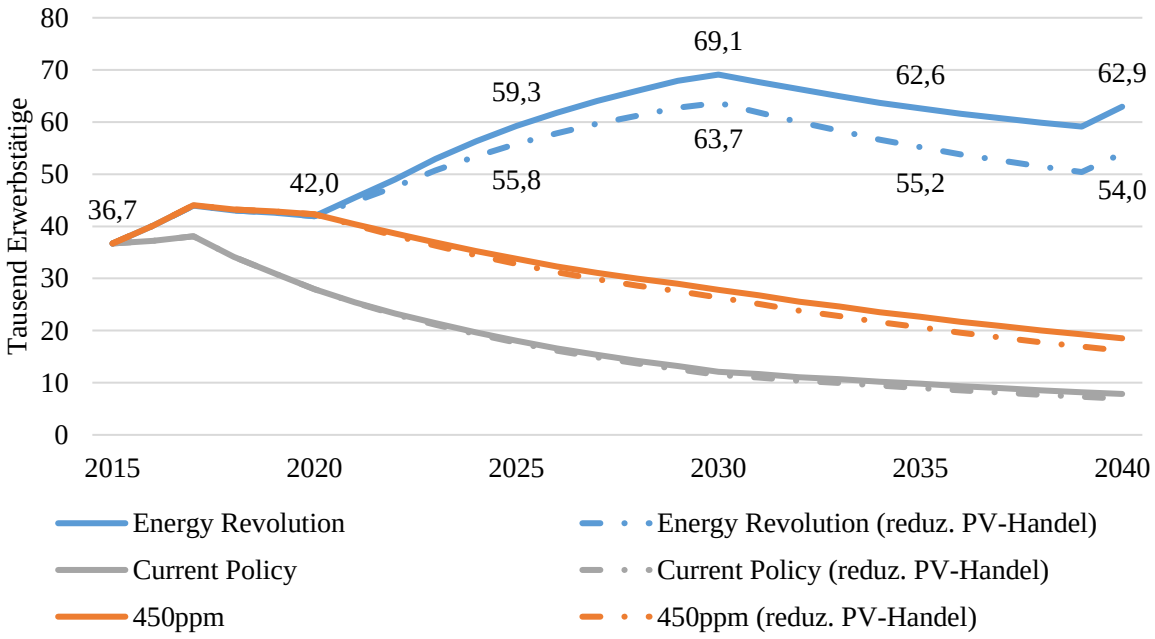
Abbildung 68: Bandbreite Beschäftigungswirkungen im verarbeitenden Gewerbe für die unterschiedlichen Szenarien in Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen.

Abbildung 68 verdeutlicht die mögliche Bandbreite der Beschäftigungswirkungen im verarbeitenden Gewerbe bei unterschiedlich hoch angenommenen international gehandelten Mengen. Im Energy-Revolution-Szenario liegt die zusätzliche Beschäftigung im verarbeitenden Gewerbe im Bereich zwischen ca. 10.000 Beschäftigten im Jahr 2020 bei geringem Anteil gehandelter MEngen und ca. 27.000 Beschäftigten im Jahr 2030 bei unterstelltem hohem Anteil gehandelter Mengen.

Abbildung 69: Auswirkungen eines reduzierten PV-Handels auf die Beschäftigung



Quelle: eigene Berechnungen.

Abbildung 69 verdeutlicht die Auswirkungen reduzierter Handelsanteile Deutschlands beim Handel mit Komponenten und Vorleistungen für Photovoltaik-Anlagen. Analog zu den Effekten

auf das Bruttoinlandsprodukt sorgen die reduzierten Handelsanteile Deutschlands (2030: 80 % der ursprünglich hergeleiteten Handelsanteile; 2040: 60 %) beim Handel mit Kompontenen und Vorleistungen für reduzierte Effekte bei der zusätzlichen Beschäftigung. Im Vergleich zu den ursprünglich berechneten Beschäftigungseffekten liegt die Beschäftigung im Jahr 2030 um ca. 5.400 Erwerbstätige niedriger und im Jahr 2040 um ca. 8.900 Erwerbstätige.

10 FAZIT UND AUSBLICK

Deutschland ist über einen langen Zeitraum Vorreiter im Bereich der erneuerbaren Energien gewesen, eine Position, die in jüngerer Zeit von vielen erfolgreich herausgefordert wird. Die installierte Leistung von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern hat sich seit dem Jahr 2000 mehr als verachtfacht, bei der Photovoltaik ist in diesem Zeitraum mehr als das dreihundertfache zugebaut worden.

Weltweit sind mittlerweile 785 Gigawatt an installierter Leistung zu verzeichnen, die große Wasserkraft nicht eingerechnet (REN 21). Deutschland ist mit 92 Gigawatt mittlerweile auf Platz drei bei der installierten Leistung der sogenannten neuen erneuerbaren Energien zurückgefallen, überholt von den USA mit 122 GW und China mit 199 GW. Treiber dieser Entwicklung war der rasante Ausbau der Windenergie in China und den USA. Japan, auf Platz vier, setzt wie bereits in den sehr frühen Jahren des EE-Ausbaus erneut auf Photovoltaik, Indien baut große Mengen an Windkraft zu.

Was bedeutet das für die deutsche Industrie? Die Dynamik im deutschen EE-Zubau konzentriert sich derzeit auf die Windenergie, sowohl an Land als auch auf See. Photovoltaik stagniert und bleibt sogar hinter den gewünschten Zielkorridoren zurück. Die deutsche EE-Branche war und ist auf den globalen Märkten erfolgreich, hier wieder allen voran die Windindustrie. Die Photovoltaikbranche hat turbulente Zeiten hinter sich und die verbliebenen Akteure konzentrieren sich inzwischen entweder auf wichtige Komponenten wie die Wechselrichter, Elemente des BOS, oder Steuerungs- und Regeltechnologie sowie innovative Produkte auf Basis neuer Materialien oder mit neuer Fassadenintegrierbarkeit. Die Aussagen in der Literatur zum Innovationsgehalt und zur Innovationstätigkeit deutscher PV Unternehmen kommen zu gemischten Ergebnissen.

Insgesamt zeigt es sich jedoch, dass die Aktivitäten der EE-Industrie aus mehr bestehen als der Endmontage und der Fertigung von Endprodukten.

Mit dem zunehmenden internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien gehen neue Möglichkeiten für deutsche Unternehmen einher, ihre Produkte auf den internationalen Märkten zu platzieren. Diese Möglichkeiten sind jedoch abhängig von einer Vielzahl an Einflussfaktoren. Deutsche Produzenten konnten sich bedingt durch die Vorreiterrolle Deutschland beim Ausbau der erneuerbaren Energien Wettbewerbsvorteile bei der Produktion der entsprechenden Technologien sichern und sind dementsprechend wettbewerbsfähig, auch im internationalen Kontext. Aber auch andere Länder, in denen die erneuerbaren Energien frühzeitig ausgebaut wurden, haben gute Marktkenntnisse und stehen in direktem Wettbewerb mit deutschen Unternehmen. Schon heute macht der Export der entsprechenden Technologien einen Großteil der deutschen Produktion aus. Aber insbesondere der asiatische Raum hat in der nahen Vergangenheit eine deutliche Steigerung bei der Produktion von Maschinenbauprodukten und damit auch bei Technologien der erneuerbaren Energien zu verzeichnen. Vor allem China ist auch auf den internationalen Märkten aktiv und ist zunehmend wettbewerbsfähig. Vor diesem Hintergrund wurde hier analysiert, inwieweit Deutschland vom internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien profitieren kann und welche Effekte sich daraus auf das Bruttoinlandsprodukt und die Beschäftigung ergeben.

Die drei untersuchten Szenarien Energy Revolution, Current Policy und 450ppm verdeutlichen eine mögliche Bandbreite, wie der internationale Ausbau der erneuerbaren Energien in Zukunft aussehen kann. Regional kann jeweils eine Verschiebung in Richtung des asiatischen Raums

erkannt werden. Die Ableitung der möglichen Exporte Deutschlands hängt stark vom jeweils angenommenen Ausbau der erneuerbaren Energien ab. Für einen möglichen Export kommen neben Komponenten auch Vorleistungen infrage. Einflussfaktoren auf die Exporte Deutschlands sind z. B. Local Content Regelungen, die eine (teilweise) Produktion der jeweiligen Technologien vor Ort im jeweiligen Land vorschreiben, um so einen Teil der Wertschöpfungskette im Land zu behalten. Da nicht sämtliche Bestandteile der Wertschöpfungskette über den internationalen Handel bezogen werden, schränken die international gehandelten Anteile an den weltweiten EE-Investitionen die Exporte Deutschlands weiter ein. Da Deutschland mit den unterschiedlichen Regionen unterschiedlich stark ausgeprägte Handelsbeziehungen pflegt, ist eine regionale Analyse der Exporte ebenfalls wichtig.

Es konnte gezeigt werden, dass aus den Exporte Deutschlands positive gesamtwirtschaftliche Effekte resultieren. Die Höhe der Effekte ist dabei abhängig von den unterstellten Ausbauszenarien. Sowohl das Bruttoinlandsprodukt als auch die Beschäftigung erfahren durch die zusätzlichen deutschen Exporte einen leichten Auftrieb.

Für die deutschen Produzenten wird es in Zukunft auch von Bedeutung sein, wie sich die politischen Strategien in Europa entwickeln werden. Abgeschwächte Ausbauziele in Europa hätten zusammen mit einem stärkeren internationalen Ausbau der erneuerbaren Energien zur Folge, dass die internationalen Hersteller zunehmend wettbewerbsfähiger würden und somit die deutschen Marktanteile gefährden würden.

Wie so oft werfen neue Erkenntnisse neue Fragen auf: zukünftige Forschungsvorhaben könnten die wichtigsten Absatzmärkte tiefergehend analysieren. Auch den Fragen der Digitalisierung, ihres Einflusses auf Standortkosten und letztlich der Veränderung von Vorleistungsketten durch die direkte Produktion vor-Ort mittels neuer Technologien (Stichwort 3D Druck) kann sich die Branche der erneuerbaren Energien ebenso wenig entziehen wie andere Industriezweige. Weitergehend werden in der Diskussion zur Ökonomie der Anpassung an den Klimaschutz bereits die Belastungen von Vorketten durch den Klimawandel diskutiert. Mitteleuropäische Standorte sind von den meisten Klimawandelphänomenen wie Hochwasser oder Dürre weit weniger stark betroffen und könnten unter zukünftigen Klimawandelszenarien noch sehr lange einen präferierten Produktionsstandort bilden.

Allein vom Export von Windenergie und Solartechnik sowie durch den Export der damit verbundenen Vorleistungen finden um die 70 Tausend Menschen zusätzlich Beschäftigung in anspruchsvollen gutbezahlten Tätigkeiten.

Dies setzt allerdings voraus, dass die deutsche EE-Branche auch im Inland ein positives Geschäftsumfeld findet, sodass die Vorteilhaftigkeit des Ausbaus erneuerbarer Energien sowie die Technologieführerschaft auch weiterhin im Inland dem Ausland demonstriert werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

Ali-Yrkkö, J., Rouvinen, P., Seppälä, T., Ylä-Anttila, P. (2011): Who Captures Value in Global Supply Chains? Case Nokia N95 Smartphone. Helsinki, 2011.

Apmann (2011): Technologietransfer zwischen Flugzeugbau und Rotorblattbau. DEWI MAGAZIN NO. 38, Februar 2011.

AWEA (2014): Wind Energy Industry Manufacturing Supplier Handbook. American Wind Energy Association, 2011.

BGR 2013: Deutschland – Rohstoffsituation 2012. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, 2013.

BGR 2014a: Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe – Silizium. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, 2014.

BGR 2014b: Vorkommen und Produktion mineralischer Rohstoffe – ein Ländervergleich. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, 2014.

Bloomberg (2012): The Great Renewable Energy Race, http://go.bloomberg.com/multimedia/the-great-renewable-energy-race/

BMWi 2014: Bestehende „Local-Content“-Regelungen. Berlin, 2014.

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

Destatis (2015): Deutscher Außenhandel – Export und Import im Zeichen der Globalisierung. Ausgabe 2015. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden, 2015.

El-Beyrouty, K., Meimanaliev, A., Petrosyan, L., Singh, D. (2009). “Germany´s Photovoltaics Cluster”. Harvard University, Cambridge U.S., http://www.isc.hbs.edu/pdf/Student_Projects/Germany_Photovoltaic_Energy_2009.pdf (Accessed on April 8, 2013)

Enterprise Ireland (2013). Enterprise Ireland –Reports and Publications. http://www.enterprise-ireland.com (Accessed on April 7, 2013)

era (2011): Gebäudeintegrierte Photovoltaik - Einbindung von BIPV als eigenständiger Bestandteil des Erneuerbaren-Energien-Gesetz. Berlin, 2011.

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Wertschöpfung, online im Internet: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54898/wertschoepfung-v8.html

Greenpeace (2015): Energy Revolution – A sustainable world. Energy Outlook 2015. Report, 5th edition 2015, World energy scenario. 2015.

GWS (2014), Die Automobilindustrie – Das Nadelöhr zur Mobilität der Zukunft, Update April 2014. Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH, Osnabrück, 2014.

Hauschild, H., Jungblutz, C., Gerlach, S., Gramke, K., Limbers, J., Weiß, J. (2015): China – Partner und Konkurrent. Eine Analyse der deutsch-chinesischen Handelsbeziehungen. Gütersloh, 2015.

Holub, H.-W.&Schnabl, H. (1994) Input-Output-Rechnung: Input-Output-Analyse.R. OldenbourgVerlag. München. Wien.IEA-RETD (2014). Policy Instruments to Support Renewable Energy Industrial Value Chain Development (RE-ValuePolicies). Lehr, U., Breitschopf, B., Vidican, G. IEA Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment (IEA - RETD), Utrecht, 2014.

IEA (2015): World energy outlook. International energy agency, 2015.

ILO and EC (2011): Skills and occupational needs in renewable energy. Geneva: International Labor Office and European Commission.

IRENA (2014): Global Bioenergy – Supply and Demand Projections. A working paper for Remap 2030. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi, 2014.

Isaksen, A. / E. Hauge (2002): Regional clusters in Europe. Brussels: European Commission.

Johnson, O. (2013 forthcoming). “Promoting solar PV manufacturing in India: exploring effectiveness of local content requirements.” DIE Discussion Paper. Bonn, German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE).

Knauf (2007): Knauf, G.; Lübbeke, I.: Ernährungssicherung und Biomassenutzung für energetische Zwecke, Plattform Nachhaltige Biomasse, 2007.

Kraemer, K. L., Linden, G., Dedrick, J. (2011): Capturing Value in Global Networks: Apple’s iPad and iPhone. USA, 2011.

Lehr, U., Edler, D., O’Sullivan, M., Peter, F., Bickel, P. (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, 2015.

OECD (2010), “Value Added”, in National Accounts at a Glance 2009, OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/9789264075108-16-en

OECD (2013). Renewable energies in the Middle East and North Africa: Policies to support private investment. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Competitiveness and Private Sector Development.

Öko-Institut (2012): PROSA Photovoltaik Wechselrichter. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Freiburg, 2012.

Pack, H. Saggi, K. (2006): Is There a Case for Industrial Policy? A Critical Survey, in: The World Bank Research Observer 21, (2), 267-297.

Photon (2012), “Das Jahr des Drachen”, in Photon April 2012.

Statistisches Bundesamt (2007), Ermittlung der Bruttowertschöpfung, Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden, Auszug aus Fachserie 4 / Reihe 4.3

PWC (2010): Die deutsche Photovoltaik-Branche am Scheideweg. Herausforderungen und Chancen für Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette. PriceWaterhouseCoopers. 2010.

Staiß, F., Kratzat, M., Nitsch, J., Lehr, U., Edler, D. & Lutz, C. (2006): Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Gutachten im Auftrag

des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin, 2006.

Statistisches Bundesamt (2014), https://www-genesis.destatis.de/genesis/online; jsessionid=41DBDF3B9AA55D7FB46A3575C9715DEF.comcat_GO_1_1?operation=previous&levelindex=4&levelid=1409906481835&step=4 Zugriff 05.09.2014.

UBA (2011): Ausgewählte Indikatoren zur Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich: Produktion, Außenhandel, Umweltforschung und Patente. Umweltbundesamt. Berlin, 2011.

UNEP/Bloomberg New Energy Finance (2011). Global Trends in Renewable Energy Investment: Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy. Frankfurt, UNEP/Bloomberg New Energy Finance.

VDMA (2014): Komponenten, Systeme und Fertigungstechnik für die Windindustrie. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, Arbeitsgemeinschaft Windindustrie. Frankfurt am Main, 2014.

WWF(2011): THE ENERGY REPORT:100% Renewable Energy by 2050, World Wildlife Fund und Ecofys, Gland, Schweiz

Xing, Y., and N. Detert. 2010. How the iPhone Widens the United States Trade Deficit with the People's Republic of China. ADBI Working Paper 257. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: http://www.adbi.org/working-paper/2010/12/14/4236.iphone.widens.us.trade.deficit.prc/