

Lehr, Ulrike et al.

**Research Report**

## Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen

DIW Berlin: Politikberatung kompakt, No. 101

**Provided in Cooperation with:**

German Institute for Economic Research (DIW Berlin)

*Suggested Citation:* Lehr, Ulrike et al. (2015) : Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen, DIW Berlin: Politikberatung kompakt, No. 101, ISBN 978-3-938762-92-9, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, [https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0084-diwkompakt\\_2015-1017](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0084-diwkompakt_2015-1017)

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/118327>

**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.*

## Politikberatung kompakt

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

2015

# Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen

Ulrike Lehr, Philip Ulrich, Christian Lutz, Ines Thobe, Dietmar Edler, Marlene O'Sullivan,  
Sonja Simon, Tobias Naegler, Uwe Pfenning, Frank Peter, Fabian Sakowski und Peter Bickel

## IMPRESSUM

© DIW Berlin, 2015

DIW Berlin  
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung  
Mohrenstraße 58  
10117 Berlin  
Tel. +49 (30) 897 89-0  
Fax +49 (30) 897 89-200  
[www.diw.de](http://www.diw.de)

ISBN-10 3-938762-92-6  
ISBN-13 978-3-938762-92-9  
ISSN 1614-6921  
urn:nbn:de:0084-diwkompakt\_2015-1017

Alle Rechte vorbehalten.  
Abdruck oder vergleichbare  
Verwendung von Arbeiten  
des DIW Berlin ist auch in  
Auszügen nur mit vorheriger  
schriftlicher Genehmigung  
gestattet.

## **DIW Berlin: Politikberatung kompakt 101**

Ulrike Lehr\*, Philip Ulrich, Christian Lutz, Ines Thobe (GWS)

Dietmar Edler (DIW Berlin)\*\*

Marlene O'Sullivan, Sonja Simon, Tobias Naegler, Uwe Pfenning (DLR)

Frank Peter, Fabian Sakowski (Prognos)

Peter Bickel (ZSW)

## **Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen**

Endbericht

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

Berlin, Juni 2015

\* Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH. [lehr@gws-os.com](mailto:lehr@gws-os.com)

\*\* DIW Berlin, Abteilung Unternehmen und Märkte. [dedler@diw.de](mailto:dedler@diw.de)

## **Beteiligte Forschungseinrichtungen**

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS),  
Heinrichstr. 30, 49080 Osnabrück

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, DIW Berlin,  
Mohrenstr. 58, 10117 Berlin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart

Prognos AG, Europäisches Zentrum für Wirtschaftsforschung und Strategieberatung,  
Goethestr. 85, 10623 Berlin

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW),  
Industriestr. 6, 70565 Stuttgart

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Rückblick und Überblick.....	1
1.2 Bruttobeschäftigung bis heute .....	2
1.3 Blick in die Regionen .....	4
1.4 Zukünftige gesamtwirtschaftliche Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien .....	5
1.5 Methodische Ergebnisse und Anpassungen .....	7
1.5.1 Daten und Methoden zur Schätzung der Bruttobeschäftigung .....	7
1.5.2 Daten aus den Bundesländern .....	8
1.6 Einordnung und Ausblick .....	10
<b>2 Bruttobeschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien</b> .....	<b>12</b>
2.1 Die Datengrundlage – Teil 1: Ergebnisse der Unternehmensbefragung.....	13
2.1.1 Methodische Einordnung .....	13
2.1.2 Marktabdeckung.....	15
2.1.3 Importe und Exporte im Bereich erneuerbarer Energien 2012 .....	17
2.1.4 Struktur der Beschäftigung im Bereich der erneuerbaren Energien.....	20
2.1.4.1 Ausbildungsangebote und berufliche Qualifizierung.....	20
2.1.4.2 Fachkräftemangel und Einschätzungen zur Beschäftigtenentwicklung .....	22
2.1.4.3 Strategien von EE-Unternehmen zur Besetzung von offenen Stellen und die Option Zeit- und Leiharbeit.....	23
2.1.4.4 Gender(a)symmetrie .....	25
2.1.4.5 Spartenspezifische Ergebnisse .....	28
2.2 Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien – Datengrundlage und methodisches Vorgehen .....	31
2.2.1 Methodische Grundlagen zur Abbildung eines neuen (zusätzlichen) Produktionsbereichs im Analyserahmen der Input-Output-Rechnung .....	31
2.2.2 Input-Output-Vektoren für die Abbildung von Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.....	36
2.3 Die Datengrundlage – Teil 2: Investitionen .....	49
2.3.1 Photovoltaik.....	50
2.3.2 Windenergie .....	51
2.3.3 Wasserkraft.....	52
2.3.4 Biomasse - Strom.....	53
2.3.5 Biomasse - Wärme.....	54
2.3.6 Solarthermie .....	55
2.3.7 Geothermie und Umweltwärme .....	56

2.3.8	Bereitstellung von Kraftstoffen und Brennstoffen aus Biomasse .....	56
2.4	Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien – Datengrundlage und methodisches Vorgehen .....	58
2.4.1	Durchführung und Aufbereitung der Unternehmensinterviews zu Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien .....	60
2.4.2	Input-Output-Vektoren für die Abbildung von Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien .....	64
2.4.2.1	Auswertung der Ergebnisse der leitfadengestützten Unternehmensinterviews .....	65
2.4.2.2	Technisch-ökonomische Informationen .....	67
2.4.2.3	Ergänzende Informationen aus der amtlichen Input-Output-Rechnung .....	67
2.4.3	Abschätzung der Höhe der Aufwendungen für Betrieb, Wartung und Instandhaltung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien .....	73
2.5	Übersicht Bruttobeschäftigung– Ergebnisse 2012 und 2013 .....	75
2.6	Blick in die Regionen – Daten und Ergebnisse .....	84
2.6.1	Entwicklungslinien .....	84
2.6.2	Methodik und neue Erkenntnisse .....	86
2.6.3	Ergebnisse – Status quo .....	91
2.6.4	Jüngste Entwicklungen .....	94
<b>3</b>	<b>Zwischenfazit: Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute – und morgen? .....</b>	<b>98</b>
<b>4</b>	<b>Der Ausbau erneuerbarer Energien bis 2050 – National und International.....</b>	<b>100</b>
4.1	Ausbau national .....	100
4.1.1	Ausbauszenario und Nullszenario – Szenarienphilosophie .....	100
4.1.2	Rahmendaten beider nationalen Szenarien .....	102
4.1.3	Energieverbrauch und –Bereitstellung im Ausbau- und im Nullszenario .....	106
4.1.4	Volkswirtschaftliche Implikationen der Transformation - Investitionen, vermiedene Importkosten, systemanalytische Differenzkosten .....	114
4.2	Szenarien für den weltweiten Ausbau erneuerbarer Energien bis 2050 .....	122
4.2.1	Szenariophilosophie .....	123
4.2.1.1	WEO/IEA Current-Policy (CP) .....	123
4.2.1.2	Energy [R]evolution .....	124
4.2.2	Rahmendaten der internationale Szenarien .....	124
4.2.3	Energieverbrauch und -bereitstellung in den globalen Szenarien .....	126
4.2.4	Marktentwicklung in den globalen Szenarien .....	131
4.2.4.1	Installierte Leistungen in den Szenarien .....	131
4.2.4.2	Investitionen in erneuerbare Energien .....	134

---

<b>5</b>	<b>Exporte deutscher Unternehmen</b> .....	<b>140</b>
5.1	Exportchancen deutscher Anbieter von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien .....	140
5.1.1	Methodische Vorgehensweise .....	141
5.1.2	Kalibrierung des Schätzmodells für 2012 .....	143
5.1.3	Entwicklung bis 2050 .....	151
5.1.3.1	Exportpfad A: hohe Weltmarktentwicklung und eine starke deutsche EE-Branche.....	151
5.1.3.2	Exportpfad B: hohe Weltmarktentwicklung gepaart mit einer geringeren Bedeutung der deutschen EE-Branche .....	156
5.1.3.3	Exportpfad C: niedrige Weltmarktentwicklung – der Status quo .....	158
5.1.3.4	Exportszenarien – Entwicklungspfade gegenübergestellt .....	159
5.2	Abschätzung des Exportvolumens für Produktionsanlagen .....	161
5.2.1	Investitionen in Produktionsanlagen – Ausgangssituation .....	161
5.2.2	Szenarien zur Entwicklung zukünftiger Investitionen in Produktionsanlagen – Methodische Vorbemerkungen .....	164
5.2.3	Zwei Szenarien zur Entwicklung der Exporte von Produktionsanlagen .....	166
<b>6</b>	<b>Szenarienvergleich – Nettoentwicklung</b> .....	<b>172</b>
6.1	Wirtschaftsentwicklung in den Szenarien – ein Vergleich.....	172
6.2	Abschätzung der Nettobeschäftigung .....	173
6.2.1	Das Modell PANTA RHEI .....	173
6.2.2	Gesamtwirtschaftliche Effekte des Ausbaus Erneuerbarer Energien – die Wirkungskanäle .....	175
6.2.3	Beschäftigung und weitere Nettoergebnisse .....	177
6.2.4	Deutschlands Rolle am Weltmarkt.....	183
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b> .....	<b>186</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>190</b>

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1-1	Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Zeitraum 2004 bis 2013 .....	3
Abbildung 1-2	Nettobeschäftigung unter verschiedenen Exportannahmen (1000 Beschäftigte) .....	7
Abbildung 1-3	Vergleich der Ergebnisse für das Berichtsjahr 2012 .....	9
Abbildung 2-1	Schematische Abbildung eines neuen Produktionsbereichs im Kontext einer Input-Output-Tabelle.....	35
Abbildung 2-2	Abbildung des neuen Bereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Kontext der Input-Output-Rechnung.....	37
Abbildung 2-3	Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Wind onshore und Photovoltaik .....	46
Abbildung 2-4	Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Erneuerbare Energien insgesamt .....	48
Abbildung 2-5	Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland .....	49
Abbildung 2-6	Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Photovoltaikanlagen in Deutschland .....	51
Abbildung 2-7	Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Windkraftanlagen an Land in Deutschland .....	52
Abbildung 2-8	Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Windkraftanlagen auf See in Deutschland .....	52
Abbildung 2-9	Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Wasserkraftanlagen in Deutschland.....	53
Abbildung 2-10	Entwicklung der Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland .....	54
Abbildung 2-11	Entwicklung der Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland .....	55
Abbildung 2-12	Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Solarthermie in Deutschland .....	55
Abbildung 2-13	Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Wärmepumpen in Deutschland.....	56
Abbildung 2-14	Entwicklung der Kosten für Biokraftstoffe in Deutschland .....	57
Abbildung 2-15	Entwicklung der Substratkosten für Biogasanlagen in Deutschland .....	58
Abbildung 2-16	Entwicklung der Brennstoffkosten für feste Biomasse in Deutschland .....	58

Abbildung 2-17	Beschäftigung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien – Anteile der Sparten an insgesamt in % im Jahr 2011.....	62
Abbildung 2-18	Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Kontext der Input-Output-Rechnung.....	65
Abbildung 2-19	Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien- Wind onshore und Biogas .....	71
Abbildung 2-20	Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Erneuerbare Energien insgesamt.....	72
Abbildung 2-21	Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland .....	83
Abbildung 2-22	Entwicklung der Beschäftigung in der Branche der Erneuerbaren Energien sowie der durch EEG induzierten Beschäftigung von 2004 bis 2012 .....	84
Abbildung 2-23	Angaben der Unternehmen zur Herkunft von bezogenen Vorleistungen, Anteil im Umkreis von 100 km .....	88
Abbildung 2-24	Ergebnisse des Allokationsmodells zur Intraregionalen Lieferquote (IRLQ), Unterschiede nach Technologiegruppen.....	90
Abbildung 2-25	Ergebnisse des Allokationsmodells zur Intraregionalen Lieferquote (IRLQ), Unterschiede zwischen den Bundesländern für „Neue Anlagen“.....	91
Abbildung 2-26	Verteilung der Länder-Bruttobeschäftigung auf Technologiegruppen, sortiert nach regionaler Bedeutung.....	93
Abbildung 2-27	Verteilung der Neuinstallationen (Wind onshore, Photovoltaik) in den Jahren 2012 und 2013.....	95
Abbildung 2-28	Entwicklung der Bruttobeschäftigung zwischen den Jahren 2012 und 2013 sowie Struktur im Jahr 2013 .....	97
Abbildung 4-1	Entwicklung der Importpreise für fossile Energieträger (reale Preise in € <sub>2012</sub> ).....	105
Abbildung 4-2	Entwicklung der Preise für CO <sub>2</sub> -Emissionszertifikate (reale Preise in € <sub>2012</sub> ).....	105
Abbildung 4-3	Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen im Ausbauszenario und im Nullszenario (in Mt CO <sub>2</sub> /a).....	109
Abbildung 4-4	Entwicklung der Struktur des Primärenergieverbrauchs im Ausbauszenario .....	110

Abbildung 4-5	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a) .....	111
Abbildung 4-6	Entwicklung des Endenergieverbrauchs an Wärme aus erneuerbaren Quellen im Ausbauszenario (in PJ/a) .....	113
Abbildung 4-7	Entwicklung der Investitionen in EE-Stromerzeugung im Ausbauszenario (reale Preise in Mio. € <sub>2012</sub> /a) .....	116
Abbildung 4-8	Entwicklung der Investitionen in EE-Wärmeerzeugung und Nahwärmenetze im Ausbauszenario (reale Preise, in Mio. € <sub>2012</sub> /a).....	117
Abbildung 4-9	Investitionen in fossile und erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugung im Ausbauszenario und im Nullszenario (in Mio. € <sub>2012</sub> /a) .....	119
Abbildung 4-10	Vermiedene fossile Energieimporte (in PJ/a) und vermiedene Importkosten für fossile Energieträger (in Mio. €/a) - Ausbauszenario vs. Nullszenario .....	121
Abbildung 4-11	Differenzkosten des EE-Ausbaus - Strom, Wärme, Kraftstoffe und Gesamtkosten (in Mrd. €/a) .....	121
Abbildung 4-12	Vergleich der Bevölkerungsentwicklung in den betrachteten Regionen bis 2050 nach (UNPD 2011), mittlere Variante .....	125
Abbildung 4-13	Projektion des Endenergiebedarfs in den verschiedenen Sektoren – Vergleich der Szenarien Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R]).....	127
Abbildung 4-14	Projektion des Energieverbrauchs im Verkehr – Vergleich der Szenarien WEO-Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R]).....	127
Abbildung 4-15	Projektion der Wärmeerzeugung – Vergleich der Szenarien Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R]) .....	128
Abbildung 4-16	Projektion der Stromerzeugung – Vergleich der Szenarien WEO-Current Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R]) .....	129
Abbildung 4-17	Projektion des Primärenergieverbrauchs und der CO <sub>2</sub> -Emissionen – Vergleich der Szenarien Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R]).....	130
Abbildung 4-18	Erforderliches globales Wachstum der EE-Technologien zur Stromerzeugung (links) und Wärmeerzeugung (rechts) im Energy [R]evolution Szenario.....	134
Abbildung 4-19	Jährliche Investitionskosten für erneuerbare Energien im Energy [R]evolution Szenario (links) und Current-Policy Szenario (rechts) nach Weltregionen.....	139
Abbildung 5-1	Systematik zur Abschätzung deutscher Exporte von EE-Technologien.....	141

Abbildung 5-2	Jährliche Investitionskosten für erneuerbare Energien im Energy [R]evolution Szenario (links) und Current-Policy Szenario (rechts) nach Weltregionen ohne Deutschland .....	143
Abbildung 5-3	Welthandel von EE-Investitionsgütern nach Regionen im Jahr 2012 in Mrd. € sowie der Anteil des Welthandels an den Investitionen der jeweiligen Region, eigene Schätzungen.....	147
Abbildung 5-4	Export deutscher Unternehmen nach Technologien und Regionen im Jahr 2012 in Mrd. € sowie der Anteil dieser Exporte an den Investitionen der jeweiligen Region, eigene Schätzungen .....	150
Abbildung 5-5	Entwicklung der globalen Welthandelsanteile nach Technologien, Exportpfad A .....	151
Abbildung 5-6	Exportpfad A: Export deutscher Unternehmen nach Technologien in Mrd. €.....	154
Abbildung 5-7	Exportpfad A: Export deutscher Unternehmen nach Regionen in Mrd. € .....	155
Abbildung 5-8	Exportpfad B: Export deutscher Unternehmen nach Technologien in Mrd. €.....	157
Abbildung 5-9	Exportpfad B: Export deutscher Unternehmen nach Regionen in Mrd. € .....	157
Abbildung 5-10	Exportpfad C: Export deutscher Unternehmen nach Technologien in Mrd. €.....	158
Abbildung 5-11	Exportpfad C: Export deutscher Unternehmen nach Regionen in Mrd. € .....	159
Abbildung 5-12	Gegenüberstellung der Exportpfade in Mrd. €.....	160
Abbildung 5-13	Umsatz der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im Energy [R]evolution Szenario in Mio. € pro Jahr .....	167
Abbildung 5-14	Umsatz nach EE-Techniken der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im Energy [R]evolution Szenario in Mio. € pro Jahr .....	169
Abbildung 5-15	Umsatz der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im WEO-Current Policy Szenario in Mio. € pro Jahr .....	170
Abbildung 5-16	Umsatz nach EE-Techniken der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im WEO-Current Policy Szenario in Mio. € pro Jahr .....	170
Abbildung 6-1	Die Struktur des Modells PANTA RHEI.....	174
Abbildung 6-2	Gesamtwirtschaftliche Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung .....	176

Abbildung 6-3	Mehr– und Minderinvestitionen in fossile und erneuerbare Energieanlagen, kumuliert in Mio. €.....	178
Abbildung 6-4	Entwicklung der Differenzkosten für Strom und Wärme in Millionen Euro .....	179
Abbildung 6-5	Exportszenarien (Anteil am Export Deutschlands) .....	184
Abbildung 6-6	Nettobeschäftigung unter verschiedenen Exportannahmen (in 1000 Beschäftigten) .....	184

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1	Marktabdeckung der Befragung 2012.....	16
Tabelle 2-2	Importe direkt für den Markt sowie Befragungsergebnisse bezüglich des Exports .....	18
Tabelle 2-3	Erfahrungen bzw. Einschätzungen bezüglich des Qualifikationsniveaus von Bachelor- und Masterstudiengängen .....	22
Tabelle 2-4	Erwartungen im Hinblick auf die Entwicklung der in den befragten Unternehmen Beschäftigten in Deutschland im Bereich der erneuerbaren Energien für 2015.....	23
Tabelle 2-5	Motivangaben der Unternehmen für die Nutzung des Beschäftigtenmodells Zeit-/Leiharbeit, Mehrfachnennungen .....	25
Tabelle 2-6	Tätigkeitsfelder von Frauen in den befragten Unternehmen im Bereich EE .....	27
Tabelle 2-7	Spartenspezifische Struktur der Beschäftigung in den befragten Unternehmen im Bereich der erneuerbaren Energien (2012).....	30
Tabelle 2-8	Gliederung der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes (WZ 2008) .....	31
Tabelle 2-9	Aufteilung der befragten Unternehmen in die Teilgruppen Hersteller und Zulieferer .....	38
Tabelle 2-10	Als ähnliche identifizierte Produktionsbereiche zur synthetischen Ergänzung der Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.....	42
Tabelle 2-11	Tabellarische Darstellung der Nutzung der Informationsquellen zur Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.....	43
Tabelle 2-12	Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % im Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Jahr 2013 .....	44

Tabelle 2-13	Gewicht der einzelnen Sparten an Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien insgesamt im Jahr 2013 .....	47
Tabelle 2-14	Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland.....	50
Tabelle 2-15	Durchgeführte Unternehmensinterviews nach Technologiebereichen.....	63
Tabelle 2-16	Als Vorleistungen bezogene Komponenten und Dienstleistungen im Produktionsbereich Betrieb und Wartung .....	66
Tabelle 2-17	Nutzung der Informationsquellen zur Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien .....	68
Tabelle 2-18	Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % im Produktionsbereich Betrieb und Wartung .....	69
Tabelle 2-19	Ergebnisse der Unternehmensinterviews im Hinblick auf Parameter zur Abschätzung der Höhe der Aufwendungen für Betrieb und Wartung nach Technologiebereichen .....	74
Tabelle 2-20	Spezifische Investitionskosten und Ausgaben für Betrieb und Wartung in den Jahren 2012 und 2013 .....	75
Tabelle 2-21	Umsätze aus nationalen wie internationalen Investitionen in Deutschland ansässiger Unternehmen sowie Kosten/Umsatz aus Betrieb und Wartung des EE-Anlagenbestandes für die Jahre 2012/2013 in Mio. € .....	76
Tabelle 2-22	Umsatz in der Biomasse- und Biokraftstoffbereitstellung 2012/2013 in Mio. €.....	78
Tabelle 2-23	Öffentlich bereitgestellte Mittel für Forschung, Öffentlichkeitsarbeit und Wirtschaftsförderung im Bereich erneuerbarer Energien in Mio. €.....	79
Tabelle 2-24	Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland 2012 .....	80
Tabelle 2-25	Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland 2013 .....	81
Tabelle 2-26	Methodik der Regionalisierung der Bruttobeschäftigung für die Bundesländer.....	87
Tabelle 2-27	Verteilung der Anzahl Unternehmen mit Angaben zur Herkunft der Vorleistungen auf Technologiegruppen und Art der Vorleistungen .....	89
Tabelle 2-28	Bruttobeschäftigung nach Bundesländern, Rangliste nach regionaler Bedeutung und Aufteilung nach Aktivitäten bzw. Tätigkeitsschwerpunkten .....	92
Tabelle 4-1	Spezifische Investitionskosten für erneuerbare Strom- und Wärmetechnologien.....	103

Tabelle 4-2	Importpreise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle sowie von CO <sub>2</sub> -Zertifikaten (reale Preise in € <sub>2012</sub> ); zum Vergleich: Annahmen aus Preispfad A (BMU 2012) .....	104
Tabelle 4-3	Energetische Eckdaten des Ausbauszenarios.....	107
Tabelle 4-4	Energetische Eckdaten des Nullszenarios .....	108
Tabelle 4-5	Differenz Ausbauszenario minus Nullszenario bzgl. Primärenergieverbrauchs (erneuerbar und fossil) , energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen, fossiler Energieimporte .....	109
Tabelle 4-6	Entwicklung des Stromaufkommens aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a) .....	111
Tabelle 4-7	Entwicklung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a) .....	112
Tabelle 4-8	Entwicklung der Kraftstofferzeugung aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a) .....	113
Tabelle 4-9	Investitionen in erneuerbare und fossile Strom- und Wärmeerzeugung im Nullszenario (in Mio. € <sub>2012</sub> ) .....	115
Tabelle 4-10	Investitionen in erneuerbare und fossile Strom- und Wärmeerzeugung im Ausbauszenario (in Mio. € <sub>2012</sub> ) .....	115
Tabelle 4-11	Importkosten und CO <sub>2</sub> -Kosten von Energieimporten für Null- und Ausbauszenario (in Mrd. € <sub>2012</sub> /a).....	120
Tabelle 4-12	Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts nach Regionen .....	126
Tabelle 4-13	Jährlich installierte Leistungen an erneuerbaren Energien im Energy [R]evolution Szenario zum jeweiligen Stützzeitpunkt.....	132
Tabelle 4-14	Jährlich installierte Leistungen an erneuerbaren Energien im Current-Policy Szenario .....	133
Tabelle 4-15	Spezifische Investitionskosten für Kraftwerke und Wärmeanlagen in OECD Europa im Energy [R]evolution Szenario.....	135
Tabelle 4-16	Weltweite Investitionen in erneuerbare Energien im Energy [R]evolution Szenario zum jeweiligen Stützzeitpunkt.....	136
Tabelle 4-17	Weltweite Investitionen in erneuerbare Energien im Current-Policy Szenario zum jeweiligen Stützzeitpunkt.....	137
Tabelle 5-1	Anteil der deutschen Exporte am Welthandel nach Zielregionen und Technologien in %.....	149
Tabelle 5-2	Umsatz- und Beschäftigungswirkungen der Produktionsmittelhersteller im Jahr 2013* .....	164
Tabelle 6-1	Preisentwicklung bei importiertem Erdöl, in Dollar je Barrel .....	172

Tabelle 6-2	Übersicht über die wichtigsten ökonomischen Kenngrößen, Abweichungen zum Nullszenario, Ausbau der erneuerbaren Energien unter der Annahme mittlerer Exportszenarien, in jeweiligen Größen. ....	180
Tabelle 6-3	Absolute Abweichung der Beschäftigung im Ausbauszenario nach Sektoren der größten Abweichungen .....	182

## **1 Einleitung**

### **1.1 Rückblick und Überblick**

Die vorliegende Untersuchung stellt eine Fortsetzung, Aktualisierung und Erweiterung einer Reihe ähnlicher Untersuchungen dar. In Staiß et al. (2006) wurden erstmals die ökonomischen Folgen des Ausbaus erneuerbarer Energien unter Berücksichtigung des Exports von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien untersucht. Ein Szenario verstärkten Ausbaus wurde einem Szenario geringeren Ausbaus gegenübergestellt. Für die zukünftige Position Deutschlands auf dem Weltmarkt wurden verhaltene, bzw. verhalten optimistische Annahmen getroffen. Bereits diese erste Untersuchung erweiterte die empirische Basis zur Kostenstruktur der Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien ganz erheblich durch die Erhebung von Unternehmensdaten in einer eigenen Befragung (vgl. Staiß et al. 2006). Auf dieser Basis konnten erstmals Input-Output (IO) Vektoren entwickelt werden, wie sie in Kapitel 2.2 auch für die vorliegende Untersuchung ausführlich beschrieben werden. Mithilfe dieser Vektoren ist es möglich, die Nettobeschäftigungseffekte, die mit dem Modell PANTA RHEI ermittelt werden, für die speziellen durch den EE-Ausbau angesprochenen Sektoren auszuweisen.

In Lehr et al. (2011) wurde den Entwicklungen der erneuerbaren Energien in Deutschland und weltweit Rechnung getragen. Der rapide Ausbau der Photovoltaik und die gleichzeitigen Preissenkungen bei PV-Anlagen waren Anlass, die Abweichungen vom ursprünglichen Ausbaupfad durch Sensitivitätsrechnungen zu untersuchen. Darüber hinaus wurden die Wirkungen des Ölpreisanstiegs und der Finanzkrise im Modell berücksichtigt. Eine neue Primärerhebung bei Unternehmen aus der EE-Branche führte zu einer aktualisierten und erweiterten Kostenstruktur bei der Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Die Szenarien für den Welthandel und für Deutschlands Anteil hieran wurden exogen modelliert und in das Modell eingestellt.

Jede dieser Untersuchungen ist geprägt von der zeitgleichen aktuellen Diskussion. Während 2010/2011 geprägt war von den hohen Zubauzahlen bei der Photovoltaik und ersten Abschätzungen der Differenzkostenentwicklung bei anhaltend hohem Zubau, war Deutschlands starke Weltmarktposition weitgehend unangefochten. Mittlerweile hat sich dies geändert. Der Markt für erneuerbare Energien ist zwar bezogen auf die weltweit neuinstallierten Leistungen weiterhin gewachsen, aber neue Mitspieler haben sich am Markt etabliert. Seit 2011 hält China mehr als die Hälfte des Marktes, sein Anteil schwankt zwischen 57% im Jahr 2011,

und 59% und 58% in den beiden folgenden Jahren. Deutsche Unternehmen spielen nach wie vor beim Anlagenbau und bei der Herstellung bestimmter Komponenten wie zum Beispiele den Wechselrichtern weltweit eine führende Rolle. Von der Führungsrolle bei den PV-Modulen musste sich Deutschland, wie auch andere europäische Hersteller, zunächst verabschieden. Die vorliegende Analyse der Beschäftigungssituation durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland trägt diesen Tendenzen Rechnung und verfeinerte das Untersuchungsdesign insbesondere hinsichtlich der Beschäftigung durch den Betrieb von EE-Anlagen. Zu diesem immer wichtiger werdenden Bereich lagen zuvor lediglich Informationen vor, die aus der Literatur entnommen waren oder auf vorhandenem Expertenwissen beruhten. Die empirische Grundlage konnte nun durch die Durchführung einer großen Zahl von Unternehmensinterviews bei Akteuren aus dem Bereich Betrieb, Wartung und Instandhaltung deutlich verbessert werden. Darüber hinaus wird der Simulationszeitraum der Szenariobetrachtungen auf 2050 ausgedehnt.

Die neuen Abschätzungen der Exportentwicklungen enthalten erstmals Abschätzungen zum Export aus dem Segment Produktionsanlagenbau. Die Überlegungen hierzu, wie auch die Abschätzung der Exporte von EE-Anlagen, basieren auf den tatsächlichen Entwicklungen der letzten Jahre und auf Ankündigungen der wichtigsten Marktteilnehmer für zukünftig geplante Strategien und Expansionen. So will beispielsweise China stärker in den Bau von Produktionsanlagen einsteigen und treibt dieses Vorhaben wie bereits in der Vergangenheit in anderen Technologiebereichen mit Local Content Anforderungen voran.

Im Folgenden finden sich Ergebnisse zum Datengerüst, das auf Primärerhebungen, Tiefeninterviews, amtlicher nationaler und internationaler Statistik und einer Fülle von der Literatur entnommenen Einzeldaten aufbaut, zur Berechnung der Bruttobeschäftigung durch den Ausbau und den Betrieb von EE-Anlagen sowie die Bereitstellung von Biomasse und zu den ökonomischen (Netto-) Wirkungen des EE-Ausbaus in der Langfristperspektive. In diesem Abschnitt wird zunächst ein Überblick über die wichtigsten methodischen und inhaltlichen Ergebnisse gegeben.

## **1.2 Bruttobeschäftigung bis heute**

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Bruttobeschäftigung jährlich ermittelt, zuletzt für das Berichtsjahr 2013. Die Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien belief sich in diesem Jahr auf 371.400 Personen. In dieser Zahl sind sowohl die Personen enthalten, die in Unternehmen arbeiten, die direkt Waren und Dienstleistungen für die erneuerbaren Energien liefern, wie auch Personen, die in der vorgelagerten Produktionsbereichen durch Zulieferun-

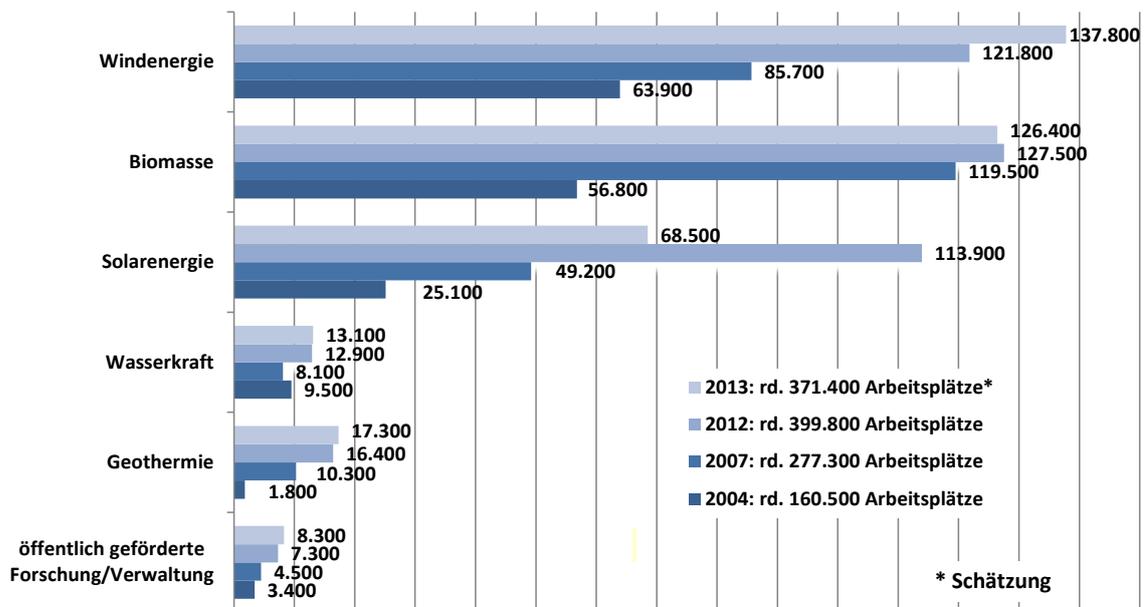
gen ausgelastet werden (indirekte Beschäftigung). Von der Gesamtzahl der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien entfielen auf die Herstellung von Anlagen für den heimischen Markt und für ausländische Märkte 230.800 Personen, 63.500 Personen arbeiteten für den Betrieb und die Wartung der in Deutschland installierten EE-Anlagen, 68.800 Arbeitskräfte waren für die Bereitstellung von biogenen Brenn- und Kraftstoffen notwendig. Durch öffentliche Mittel für Forschung und in den öffentlichen Verwaltungen konnten 8.300 Personen beschäftigt werden.

Im Berichtsjahr 2012 betrug die Bruttobeschäftigung 399.800 Personen, sie ist also um 28.400 Personen (7%) rückläufig: Der Rückgang ergibt sich ausschließlich im Bereich Herstellung von EE-Anlagen. Hier schlägt vor allem der Rückgang im Bereich Photovoltaik um 43.900 Personen durch; in diesem Segment halbierte sich die Beschäftigung nahezu. In den anderen Bereichen wie Betrieb und Wartung sowie Brennstoffversorgung nahm die Beschäftigung zwischen 2012 und 2013 weiter zu oder war stabil.

Betrachtet man die Entwicklung der Bruttobeschäftigung in einer zeitlich längeren Perspektive, so wird deutlich, welche großen Beschäftigungserfolge mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland verbunden waren.

Abbildung 1-1

**Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Zeitraum 2004 bis 2013**



Quelle: Eigene Berechnungen.

Betrug die Bruttobeschäftigung im Jahr 2004 noch 160.500 Personen, so hat sie sich seitdem in einem kräftigen Aufschwung mehr als verdoppelt. Die Branche der erneuerbaren Energien einschließlich der mit ihr verbundenen Zulieferunternehmen ist somit in den letzten zehn Jahren sicher eines der am schnellsten wachsenden Industriecluster in Deutschland. Betrachtet man die Entwicklung nach zusammengefassten Technologiebereichen, so ist erkennbar, dass die Solarenergie (dort insbesondere die Photovoltaik) nach einem dynamischen Aufschwung zuletzt schmerzhaft Rückgänge in der Beschäftigung hinnehmen musste, dort vor allem bei bestimmten Segmenten des Neubaus von PV-Anlagen. Der Bereich Biomasse hat sich zuletzt auf einem Niveau gut 120.00 Personen stabilisiert. Diese Stabilität ist vor allem auf die Verteilung zwischen den Tätigkeitsfeldern zurückzuführen. Über die Hälfte der Beschäftigten sind im Bereich des Betriebs- und der Wartung bzw. der Biomassebereitstellung für die Bestandsanlagen beschäftigt, so dass die stärker schwankende Beschäftigung im Bereich Anlagenneubau nicht so durchschlägt. Eine kontinuierliche Aufwärtsentwicklung kann der Bereich Windenergie verzeichnen, dem zuletzt 137.800 Personen zugeordnet werden konnten. Trotz bestehender Unsicherheiten über zukünftige Marktentwicklungen im Inland spricht angesichts der Wettbewerbsstärke deutscher Anbieter auf internationalen Märkten und angesichts der wachsenden Bedeutung des Bereich Betrieb und Wartung einiges dafür, dass sich die Bruttobeschäftigung in diesem Bereich weiter positiv entwickelt.

### **1.3 Blick in die Regionen**

Die Abschätzung der Bruttobeschäftigung für die Bundesländer ergibt, dass sich - entsprechend der Größe der Regionen - die höchsten Werte für die großen Flächenländer ergeben. Gleichwohl ist die Verteilung in vieler Hinsicht nicht proportional zur Größe nach Einwohnern oder auch Arbeitsplätze insgesamt. Nordrhein-Westfalen ordnet sich hinter dem Spitzenreiter Bayern ein und Niedersachsen liegt vor Baden-Württemberg. Aber erst die Verwendung einer relativen Messgröße - der Anzahl der EE-Beschäftigten je 1.000 Beschäftigten insgesamt - offenbart räumliche Konzentrationen. Für den Arbeitsmarkt in Bayern ist die Bedeutung der EE-Bruttobeschäftigung eher durchschnittlich. Hier fallen 9,8 EE-Beschäftigte auf 1.000 Beschäftigte insgesamt und damit etwa so viel wie in Deutschland insgesamt (9,7). Die größte Bedeutung ergibt sich jedoch für Sachsen-Anhalt mit einem Wert von 26,8. In drei weiteren ostdeutschen Bundesländern werden überdurchschnittliche Werte erreicht, so dass man insgesamt von einer Konzentration in Ostdeutschland sprechen kann. Auch eine Konzentration der Bedeutung auf nördliche Bundesländer - insbesondere Küstenanrainer - lässt sich konstatieren. Insgesamt nimmt Niedersachsen damit ein großes Gewicht ein. Die geringsten Werte ergeben sich für Nordrhein-Westfalen, das Saarland und Berlin.

Diese räumlichen Verteilungsmuster und entsprechende Ranglisten haben sich seit der ersten Gesamtschätzung für alle Bundesländer (Berichtsjahr 2011) nicht deutlich verändert. Ein weiteres bedeutsames Auswertungsmerkmal ist die Aufteilung der Bruttobeschäftigung in den Bundesländern auf Energieträger. Die Formel „im Norden Wind – im Süden Sonne“ konnte bereits bei der ersten Abschätzung als zu grob abgelöst werden. Tatsächlich hat die Windenergie in den norddeutschen Bundesländern eine besonders große Bedeutung, wobei zusätzlich Sachsen-Anhalt als wichtiger Standort der Windenergieindustrie hinzugerechnet werden muss. Die räumliche Verteilung im Bereich Solarenergie ist dadurch geprägt, dass in den ostdeutschen Bundesländern die Bedeutung der EE-Beschäftigung besonders hoch ist. Auch im Bereich biogene Energieträger zeichnen sich viele ostdeutschen Bundesländer durch hohe Werte bei der relativen Bedeutung aus.

Die Schwerpunkte der regionalen Bruttobeschäftigung im Kontext der Energieträger waren in den letzten Jahren prägend für die unterschiedlichen Veränderungen in den Bundesländern. Windenergiestandorte konnten zwei Jahre in Folge von einem sich positiv verlaufenden Markt in der Windbranche profitieren. Standorte mit dem Schwerpunkt Solarenergie – und hier insbesondere Photovoltaik – waren von besonders starken Beschäftigungsrückgängen betroffen. Neben diesen strukturellen Hintergründen spielen die Neuinstallationen in den Bundesländern eine große Rolle für die Dynamik der Bruttobeschäftigung. Der besonders prägende Einbruch der PV-Installationen zwischen den Jahren 2012 und 2013 verlief beispielsweise – trotz des einheitlichen legislativen Hintergrundes – regional sehr unterschiedlich. Insgesamt verlief die Entwicklung im letzten Jahresvergleich für die norddeutschen Bundesländer positiv, während in den übrigen Bundesländern ein Rückgang der Bruttobeschäftigung zu konstatieren war. Besonders starke Rückgänge haben sich für die Länder im Süden und Osten ergeben.

#### **1.4 Zukünftige gesamtwirtschaftliche Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien**

Um die gesamtwirtschaftlichen Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Zukunft abzuschätzen, werden Szenarien zum inländischen Ausbau, zum weltweiten Ausbau und mit den mit diesen beiden Entwicklungen verbundenen Umsätzen deutscher Hersteller und Dienstleister erstellt. Das EE-Ausbauszenario erreicht hierbei die Ziele der Energiewende (unter der Berücksichtigung von EE-Stromimporten) im Jahr 2050, und stellt damit die langfristige Perspektive für die Erneuerbaren in Deutschland dar. Um ableiten zu können, ob die gesamte Wirtschaft vor dem Hintergrund dieses Szenarios besser oder schlechter gestellt ist als in einer Zukunftsentwicklung ohne EE-Ausbau, wird diesem Szenario ein kontrafaktisches

Szenario gegenübergestellt. Dieses ist gekennzeichnet durch eine fossilbasierte Energiebereitstellung, die zu einem eigenen, vom Ausbauszenario abweichenden Investitionsprofil und dadurch zu anderen Strompreisen, aber auch zu Unterschieden bei Im- und Exporten und somit zu einer anderen Wirtschaftsentwicklung führt.

Im Vergleich der gesamtwirtschaftlichen Größen lässt sich somit die Vorteilhaftigkeit des einen gegenüber dem anderen Szenario ableiten.

Um die erneuerbaren Energien auszubauen, werden bis zum Jahr 2050 erhebliche Investitionen<sup>1</sup> notwendig. Da der EE-Ausbau noch bis nach 2020 mit Mehrausgaben für die von der EEG-Umlage betroffenen Konsumenten verbunden ist, ergeben sich erhöhende Impulse bei Strompreisen und Differenzkosten. Auch vor dem Hintergrund dieser höheren Preise und Differenzkosten ist das Beschäftigungsniveau im Ausbauszenario höher als im Nullszenario. Die ökonomischen Indikatoren entwickeln sich insgesamt positiv. Das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt liegt im gesamten Beobachtungszeitraum höher als im Nullszenario.

In der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums wirkt sich der EE-Ausbau allmählich preis-senkend aus. Diese Entlastung wirkt sich positiv auf den privaten Konsum aus. Die Beschäftigung liegt im Beobachtungszeitraum zunächst sehr geringfügig oberhalb des Pfades im Nullszenario, später steigt die positive Nettobeschäftigung auf über 230 Tausend.

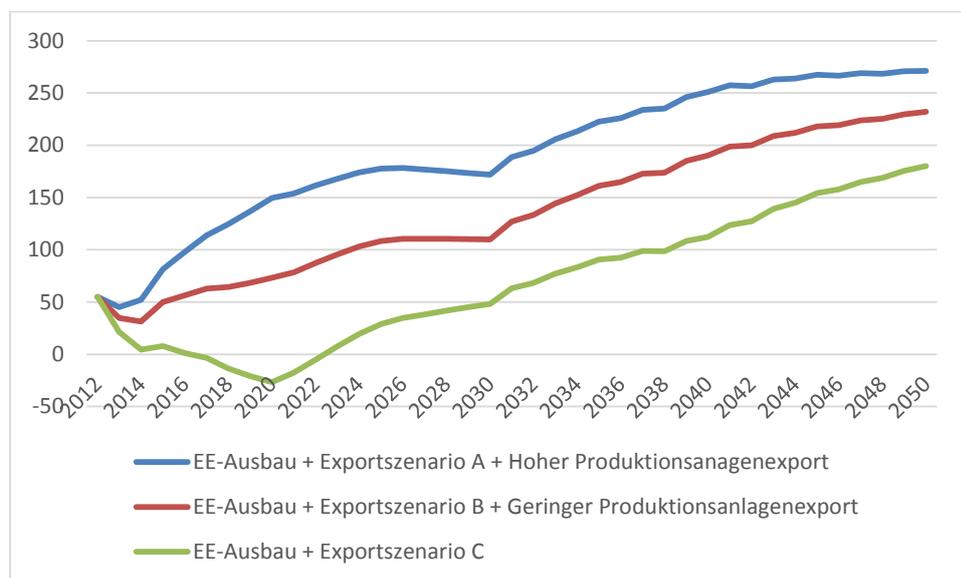
Frühere Untersuchungen haben bereits die Bedeutung des Exports für die langfristigen Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt gezeigt (Lehr et al. 2011). Unterstellt man eine geringe Exportentwicklung, so bleibt die Nettobeschäftigung bis 2022 hinter der im Nullszenario zurück, was noch einmal unterstreicht, dass die Umsätze und die Beschäftigung in den EE-Szenarien nicht vom Binnenmarkt allein getrieben werden.

Die positiven Effekte auf die Beschäftigung aus den EE-Branchen, die mit unter 100.000 Beschäftigten bis 2020 deutlich hinter der Größe dieser Branche mit über 140.000 im durch mittlere Exporte gekennzeichneten Szenario zurückbleiben, können in der ersten Dekade die durch die höheren Preise induzierten negativen Effekte und den Beschäftigungsrückgang in der Energiewirtschaft nicht ausgleichen. Dies ändert nichts an den langfristig positiven ökonomischen Effekten, die sich in allen drei EE-Ausbauszenarien im Vergleich zu dem Szenario zeigen, dass auf einer fossilbasierten Energiebereitstellung beruht.

---

<sup>1</sup> Alle Euro Angaben sind in €<sub>2012</sub>.

Abbildung 1-2

**Nettobeschäftigung unter verschiedenen Exportannahmen (1000 Beschäftigte)**

Quelle: Berechnungen mit dem Modell PANTA RHEI.

## 1.5 Methodische Ergebnisse und Anpassungen

### 1.5.1 Daten und Methoden zur Schätzung der Bruttobeschäftigung

Bei der methodischen Vorgehensweise zur Abschätzung der Bruttobeschäftigung wurde an die Erfahrungen der Vorgängerstudien angeknüpft. Beibehalten wurde die grundlegende Vorgehensweise, die erneuerbaren Energien als neue, zusätzliche Produktionsbereiche in Ergänzung einer aktuellen amtlichen Input-Output-Tabelle darzustellen. Diese methodische Vorgehensweise wurde in einer international vergleichenden Studie zu unterschiedliche methodische Vorgehensweisen zur Abschätzung der Beschäftigungswirkungen erneuerbarer Energien ausdrücklich positiv bewertet (Breitschopf, Nathani, Resch 2012). Erhebliche Anpassungen waren notwendig, weil die zu Grunde liegende Güterklassifikation der amtlichen Input-Output-Tabelle an neue Standards (WZ 2008) angepasst wurde. In diesem Zusammenhang mussten die Erhebungsinstrumente und die Überleitung der Ergebnisse der durchgeführten Unternehmensbefragung zur Abbildung der neuen Produktionsbereiche angepasst werden.

Die Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien konnten erheblich verbessert werden, weil sich mit der Durchführung und Auswertung von rund 40 leitfadengestützten Tiefeninterviews bei unterschiedlichen Akteuren in diesem Bereich die empirische Grundlage gegenüber den Vorgängerstudien

spürbar erweitert hat. Die Abbildung dieses Bereichs konnte nun in den meisten Aspekten in methodisch analoger Vorgehensweise wie beim Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien erfolgen.

### **1.5.2 Daten aus den Bundesländern**

Mit der Abschätzung der Bruttobeschäftigung für die Bundesländer wurden die Werte für das Jahr 2012 revidiert (Ulrich & Lehr 2014), unter anderem um der Revision auf Bundesebene gerecht zu werden. Für die Unterschiede zwischen den Werten der einzelnen Bundesländer gibt es keine eindimensionalen Erklärungshintergründe. Die Abweichungen setzen sich aus unterschiedlichen Teilaspekten und Teileffekten zusammen. Die Revision bundesweiter Werte alleine verursacht die folgenden Effekte:

- Die Anpassung der nationalen Eckwerte erforderte per se eine Anpassung der Werte für die Bundesländer
- Da diese Anpassung immer auf der Ebene des höchsten Detailgrades angesetzt wird, kommt es zusätzlich zu strukturellen Effekten in den Bundesländern, z.B. dadurch dass Technologien sehr unterschiedlich vertreten sind.
- Auch das Verhältnis zwischen direkter und indirekter Beschäftigung hat sich im Rahmen der Revision verschoben. Die Verschiebungen, die sich für die Bundesländer daraus ergeben, sind ebenfalls nicht 1:1 ableitbar, sondern sind strukturbedingt.

Die Anpassung des Regionalisierungs- und Allokationsmodells, welches in Ulrich, Distelkamp und Lehr (2011) erstmals entwickelt und seitdem weiterentwickelt wurde, wiederum erzeugt weitere Wirkungsdimensionen:

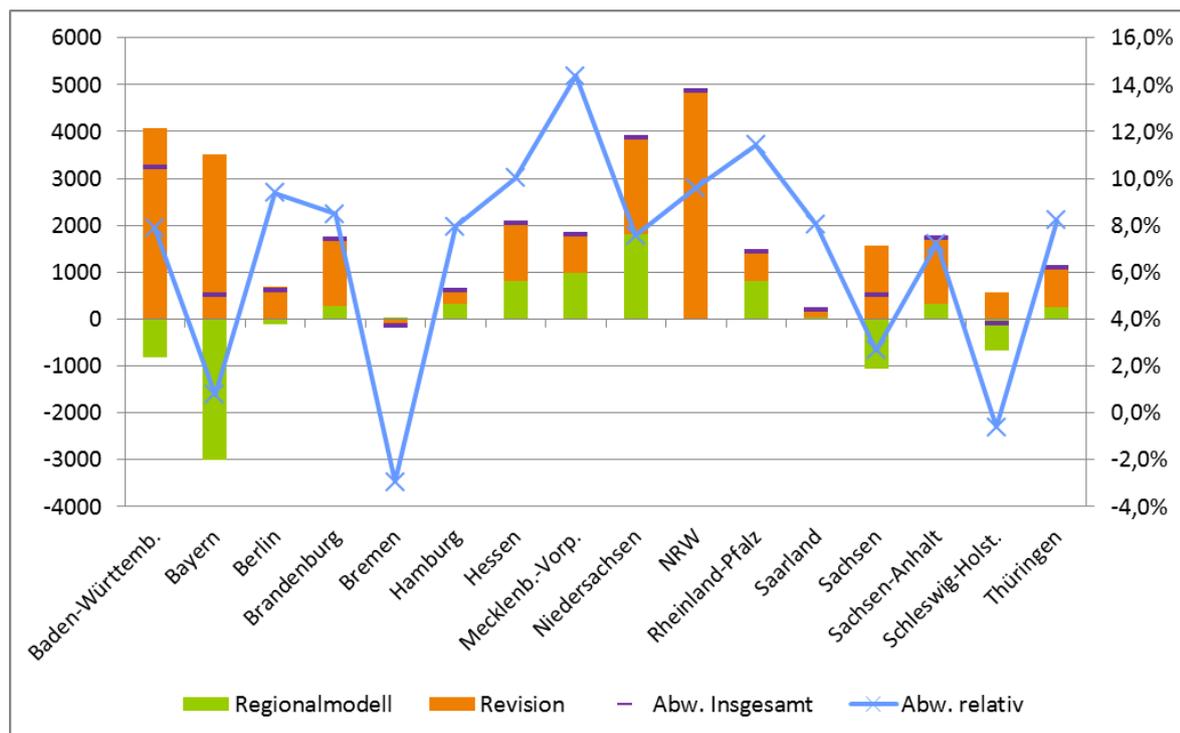
- Das Indikatorensystem zur Schätzung der direkten Beschäftigung wurde im Rahmen der Aktualisierung leicht angepasst.
- Das Allokationsmodell zur Bestimmung der indirekten Beschäftigung wurde - wiederum auf Grundlage nationaler Berechnungen – umgestellt und angepasst.

Die Bestimmung der direkten Beschäftigung erfolgt über eine detaillierte regionale Datenbank, die die Aktivitäten der Hersteller und den Anlageninstallation sowie Wartungsarbeiten im Kontext der Bundesländer darstellen oder repräsentieren. Durch tief gegliederte Informationen zu den Komponenten der Beschäftigungswirkung (Neue Anlagen, Installation, Betrieb/Wartung, Biomassebereitstellung, Biokraftstoffherstellung, etc.) ist es möglich mithilfe eines Indikatorensystems regionale Zuordnungen vorzunehmen, die sehr viele Informationen berücksichtigen. Dieses Indikatorensystem wurde seit der ersten Berechnung (Ulrich et

al. 2012) nun zum zweiten Mal erweitert und angepasst. Hintergrund sind neue Publikationen und Statistiken, die alte Zahlenwerke ersetzen oder gewisse Lücken schließen. Die meisten Indikatoren greifen jedoch seit Beginn der ersten Schätzung auf die gleichen Quellen zurück.

Seit der letzten ausführlichen Beschreibung wurde die Methodik zur Bestimmung der indirekten Beschäftigung nicht verändert. Da der Ansatz des Allokationsmodells auf eine detaillierte Erfassung von Branchenstrukturen in den Bundesländern fußt und auf die Input-Output-Tabelle angewiesen ist, waren im Rahmen der Aktualisierung einige Anpassungen notwendig, die mit der Umstellung auf die Gliederung WZ08 in Verbindung stehen. Die Gliederungstiefe des Regionalmodells wurde auf 63 Wirtschaftszweige festgelegt (Gliederung im VGR-Hauptbericht, zuvor 59 WZ). Die regionalen Anteile der Bundesländer für jeden dieser Wirtschaftszweige werden nun auf Basis der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Jahr 2012 (Jahresdurchschnitt über Quartale) errechnet und als Gewichtungsmatrizen im Modell verwendet. Die Parameter für die intraregionalen Lieferquoten konnten im Rahmen der Aktualisierung nicht neu geschätzt werden. Stattdessen wurden Zuordnungen und Übergänge genutzt, um die detaillierten Daten aus der WZ03-Gliederung auf das neue Datensystem zu überführen. Eine Anpassung hat es bei der Abschätzung der Beschäftigungswirkung der Zweit- und Mehrrundeneffekte gegeben.

Abbildung 1-3  
**Vergleich der Ergebnisse für das Berichtsjahr 2012**



Quelle: Berechnungen der GWS.

Die Arbeitsproduktivität wird nun auf Ebene von 20 (statt zuvor 15) Wirtschaftsbereichen aufgegliedert und mit den Produktionswerten im Allokationsmodell verknüpft. Allein die Auswirkung der Gliederungsumstellung und damit verbundenen Anpassungen ist von nachrangiger Bedeutung. Große Auswirkungen hat die Verwendung der aktuellen Kostenstrukturen der elf Technologien nach WZ08. Insgesamt hat sich die Vorleistungsquote in einigen Technologien verschoben. Dadurch verschiebt sich das Verhältnis zwischen direkter und indirekter Beschäftigung. Mit einem höheren Anteil an indirekter Beschäftigung wird beispielsweise die regionale Nachfrage in eher kleinen Bundesländern geringer, während die überregionale Nachfrage in großen Bundesländern größer wird. In Regionen mit hohem Zubau wirkt sich ein hoher Kostenanteil für Installationsleistungen (Bauleistungen, Grundstückswesen) besonders positiv aus, weil Bauleistungen fast zu 100% im eigenen Bundesland erbracht werden. Da Bauleistungen in der neuen Kostenstruktur an Gewicht gewonnen haben, ergeben sich Abweichungen zwischen der alten und neuen Rechnung.

Abbildung 1-3 stellt die Abweichungen dar, welche sich für die Bundesländer durch die Neuberechnung für das Jahr 2012 ergeben haben. Dabei wird unterschieden nach Einflüssen der nationalen Eckwerte (allgemeine Revision) und Einflüssen aus dem Regionalmodell (Indikatoren und Input-Output-Modell). Die absoluten Abweichungen, die sich aus dem Regionalmodell ergeben, heben sich gegenseitig auf (Summe 0). Die Abweichungen, die sich direkt aus der bundesweiten Revision der Eckwerte ergeben, ergeben insgesamt etwa 24.000 Beschäftigte mehr (+6,5%). In der Mehrzahl der Bundesländer stellt die bundesweite Revision den wesentlichen Grund für die Abweichungen dar. Vor allem in NRW, Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Bremen, Saarland, Sachsen-Anhalt und Thüringen spielen die Auswirkungen der regionalen Revision eine untergeordnete Rolle. Insgesamt ergibt sich für die relative Abweichung der Bundesländer eine Standardabweichung von etwa 4,5%.

## **1.6 Einordnung und Ausblick**

Die erneuerbaren Energien sind – basierend auf dem heutigen Kenntnisstand - der Muster-schüler unter den Beteiligten der Energiewende – sie werden als Einzige nach aktuellen Einschätzungen die gesetzten Ziele erreichen (BMW 2014). Wie dieser Ausbau sich in Beschäftigungseffekte übersetzen lässt und welche zukünftigen Entwicklungen möglich sind, zeigt dieser Beitrag.

Deutsche Hersteller mussten sich zwar in einigen Technologiebereichen von der Führungsposition auf einem Nischenmarkt verabschieden, konnten sich aber auch in vielen Bereichen auf den nun stärker umkämpften Märkten halten und ihre Umsätze, wie 2013 im Falle der

Windindustrie, sogar ausbauen. Letztlich treibt der heimische Ausbau die ökonomische Entwicklung, und rückläufige Installationen in Deutschland führen wie bei der Photovoltaik zu rückläufiger Beschäftigung gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen und Handwerksbetrieben.

Eine Momentaufnahme der derzeitigen Branchensituation bildet die Unternehmerbefragung. Hier wird deutlich, dass die EE-Industrie durch hochqualifizierte Beschäftigungsverhältnisse geprägt ist, dem Fachkräftemangel durch ein hohes Engagement in der betrieblichen Berufsbildung begegnet und Zeit-/Leiharbeit ein gängiges Beschäftigungsmodell zur Flexibilisierung darstellt. Insgesamt waren 2013 371.000 Menschen in der Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, ihrem Betrieb und der Wartung, der Bereitstellung von Biomasse und nicht zuletzt der öffentlich geförderten Forschung und Entwicklung beschäftigt. Regional sind diese Beschäftigungsverhältnisse von deutlich unterschiedlicher Relevanz. Letztlich hat auch im EE Bereich der Aufholprozess des Ostens noch nicht in eine völlige Angleichung der Produktionsmöglichkeiten geführt.

Deutschland ist eine Exportnation. Somit hängt auch die Beschäftigung in den EE-Branchen von den Chancen auf den sich zunehmend in ihrer regionalen Verteilung verändernden Weltmärkten ab. Dabei werden nicht nur Anlagen, sondern auch Produktionsmittel zur Hersteller dieser Anlagen exportiert. Für diese Hersteller, wie auch die Anlagenhersteller ist Europa eigentlich ein wichtiger Zielmarkt und eine Stärkung des europäischen Marktes für erneuerbare Energien wäre für beide von Bedeutung zur langfristigen Sicherung der jeweils derzeit noch guten Marktposition.

Im Vergleich mit einer Welt ohne erneuerbare Energien ergeben sich auch netto langfristig positive gesamtwirtschaftliche Effekte. Die Wärmeerzeugung trägt hier zwar derzeit weniger bei, führt jedoch auch in Kombination mit Effizienzanstrengungen zu deutlich sinkenden Kosten und positiven wirtschaftlichen Effekten. Hier sollten auch vor dem Hintergrund der Klimaverhandlungen gepaart mit Effizienz stärkere Anstrengungen unternommen werden.

## 2 Bruttobeschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien

In den letzten Jahren wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens im jährlichen Rhythmus über die aktuelle Entwicklung der Bruttobeschäftigung im Bereich erneuerbarer Energien berichtet (vgl. O’Sullivan et al., verschiedene Jahrgänge). Auf dieser Grundlage hat sich ein empirisch basierter Datensatz zum Monitoring der Beschäftigung durch erneuerbare Energien entwickelt, der nicht zuletzt für den Fortschrittsbericht zur Energiewende (BMWi 2014) ausführlich genutzt wurde. Die als vorläufig bezeichneten jährlichen Schätzungen beruhen jeweils auf den zum Berechnungszeitpunkt (erstes Quartal des Folgejahres) verfügbaren Daten für Investitionen und Betrieb von EE-Anlagen und zunächst auf dem Datenstand der Unternehmensbefragung aus dem Jahr 2007. Mit der Vorlage der revidierten Daten für das Jahr 2012 und der aktuellen vorläufigen Schätzung für das Jahr 2013 liegen nun mehr Ergebnisse vor, die auf den Daten der im Jahr 2012 durchgeführten Unternehmensbefragung und auf den Ergebnissen der vertieften Unternehmensinterviews zu Betrieb, Wartung und Instandhaltung beruhen (O’Sullivan et al. 2014).

Zum vertieften Verständnis und zur besseren Einordnung der Ergebnisse zur Bruttobeschäftigung werden hier zunächst noch einmal ausführlich die Datengrundlagen und die methodische Vorgehensweise dieser empirischen Schätzungen dargestellt und erläutert. Empirische Grundlage ist zum einen eine zum dritten Mal durchgeführte Befragung der Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und ihrer Komponenten sowie anderer Marktakteure (vgl. Abschnitt 2.1). Zum anderen wurden erstmals Unternehmen, die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien betreiben und warten, in einer großen Anzahl von leitfadengestützten Interviews befragt (vgl. Abschnitt 2.1.1). Diese für Deutschland einmaligen Primärdaten geben vor allem auf einer breiten empirischen Basis wichtige Aufschlüsse über die Produktionsstrukturen (einschließlich der bezogenen Vorleistungen), die produzierten Waren und Dienstleistungen (einschließlich des Im- und Exports) sowie über weitere wichtige, aus anderen empirischen Quellen nicht verfügbare Informationen dieser beiden zentralen Teilbranchen des Industrieclusters erneuerbare Energien in Deutschland. Aus demselben Grund wurden im Folgenden auch erstmals die Hersteller von Produktionsanlagen sowohl in ihrer derzeitigen als auch in ihrer möglichen zukünftigen Bedeutung abgeschätzt.

Da die Bruttobeschäftigung des Ausbaus der erneuerbaren Energien entlang die gesamten Wertschöpfungsketten, also einschließlich der indirekten Effekte in den vorgelagerten Industrie- und Dienstleistungsbereichen erfasst werden soll, erfolgt die Abschätzung methodisch auf der Grundlage der Input-Output-Analyse (statisches offenes Mengenmodell). Um

dies zu ermöglichen, wird die amtliche Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes in einem aufwendigen Verfahren um zusätzliche Produktionsbereiche erweitert. Wegen ihrer unterschiedlichen Produktionsstrukturen und Charakteristika werden die Produktionsbereiche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien getrennt betrachtet. Um die Qualität der Schätzung zu gewährleisten, werden die konkreten Schritte zur Abbildung dieser Produktionsbereiche im Kontext der Input-Output-Rechnung differenziert nach elf bzw. zehn Technologiebereichen durchgeführt (vgl. Abschnitte 2.2.1 und 2.2.2). Dargestellt wird auch die Abschätzung der in den jeweiligen Technologiesparten getätigten Investitionen (vgl. Abschnitt 2.3).

Einen Überblick über die Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland in den Jahren 2012 und 2013 einschließlich einer Darstellung der Entwicklung der Beschäftigung über einen längeren Zeitraum gibt Abschnitt 2.5. Die gesamtdeutsche Beschäftigung ist nicht gleichmäßig auf die Bundesländer verteilt. Da diese Verteilung auch im Rahmen der Beiträge der Bundesländer zur Energiewende immer wichtiger wird, werden im Anschluss im Abschnitt 2.6 die wichtigsten Regionalergebnisse im Überblick dargestellt.

## **2.1 Die Datengrundlage – Teil 1: Ergebnisse der Unternehmensbefragung**

### **2.1.1 Methodische Einordnung**

Die Datengrundlage der Ermittlung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland beruht in wesentlichen Teilen auf einer quantitativen Unternehmensbefragung für das Jahr 2012 und ergänzenden qualitativen Validierungen der erhobenen Daten mittels Internet- und Sekundärdatenanalyse. Es handelt sich hierbei um die dritte Befragung dieser Art, wodurch nun Informationen zur Struktur der erneuerbaren Energien Branche für die Jahre 2004, 2007 und 2012 als Längsschnittdaten vorliegen. Es wurde wiederum das Ziel verfolgt alle in Deutschland ansässigen Unternehmen der erneuerbaren Energien Branche zu erfassen.

Die Herausforderung dieses Anspruches liegt u. a. darin, dass keine Grundgesamtheit der Unternehmen vorliegt, die im Bereich erneuerbarer Energien arbeiten. Aus diesem Grund wurde im Vorfeld der Befragung ein Screening-Verfahren durchgeführt, um möglichst alle relevanten Unternehmen der erneuerbaren Energien Branche in Deutschland zu identifizieren. Der Fokus lag dabei sowohl auf Herstellern und Zulieferern von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien als auch auf Dienstleistern und Händlern, die im Rahmen des Neubaus von Anlagen tätig sind. Insgesamt konnten durch das erste Screening etwa 3.300 inte-

ressante Unternehmen identifiziert werden, von denen knapp über 2.400 Unternehmen als tatsächlich der erneuerbaren Energien Branche zuordenbar eingestuft werden konnten.

Die Unternehmensbefragung wurde vom Bielefelder Institut für Sozialforschung und Kommunikation (SOKO) in Form von Telefoninterviews durchgeführt. Die Feldarbeit erfolgte innerhalb von 6 Monaten zwischen dem 24. Mai und dem 29. November 2013. Eine Gruppe von Interviewern wurde speziell für diese Studie ausgiebig geschult und eingewiesen. In der Regel waren eine Reihe von Anrufen, Faxen und Emails notwendig, bis alle nötigen Informationen zusammengetragen werden konnten. Mit einigen Unternehmen wurden in dem Zusammenhang bis zu 40 Gespräche geführt. Die Erhebung war entsprechend komplex und aufwendig.

Insgesamt beteiligten sich etwa 1.100 Unternehmen. Von den ca. 1.300 Unternehmen, die nicht an der Umfrage teilnahmen, haben dabei lediglich 380 Unternehmen generell eine Zusammenarbeit verweigert. Die restlichen 920 Unternehmen sind erst im Laufe diverser Vorgespräche zu dem Schluss gekommen, dass eine Teilnahme aus diversen unternehmensspezifischen Gründen nicht gewünscht war. Insbesondere die Komplexität und die Sensibilität der geforderten Angaben waren hier wohl ein Hinderungsgrund. Insgesamt konnte demnach mit diesem aufwendigen Erhebungsverfahren eine Beteiligung von etwa 45 % der als relevant identifizierten Unternehmen mit Standort in Deutschland erreicht werden (Nettoausschöpfung der verfügbaren Befragungseinheiten).

Für die Befragung der Unternehmen wurde ein spezieller Fragebogen entwickelt, dessen umfassende Fragesammlung nach Filtersetzungen sehr unterschiedlich für die teilnehmenden Unternehmen war. Unternehmen, die 2012 zumindest einen Anteil ihres Umsatzes mit der Produktion von Anlagen oder Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien erwirtschafteten, wurden unabhängig von ihrer Unternehmensgröße mit einer deutlich ausführlicheren Langfassung des Fragebogens befragt. Bei reinen Dienstleistungs- oder Handelsunternehmen traf dies nur zu, wenn diese einen Mindestumsatz von 1 Mio. Euro im Bereich der erneuerbaren Energien aufweisen konnten. Die restlichen Unternehmen wurden nur mit einer Kurzversion des Fragebogens befragt.

Insgesamt waren etwa 81.000 Personen in den befragten 1.100 Unternehmen im Bereich erneuerbarer Energien beschäftigt. 720 Unternehmen oder 66 % wurden dabei ausführlich befragt, wobei 78.900 Personen oder auch 97 % der in der Befragung erfassten Beschäftigten in diesen Unternehmen vorzufinden waren.

Nach einer eingehenden qualitativen Validierung der ausführlich erhobenen Unternehmensdaten wurden insgesamt 585 Unternehmen in die Auswertung einbezogen. Die meisten

Unternehmen, die ausgenommen wurden, entsprachen nicht der Zielgruppe, wie beispielsweise Hersteller von Produktionsanlagen oder auch Forschungseinrichtungen. Von diesen 585 Unternehmen war etwa ein Drittel in mehr als einer Sparte der erneuerbaren Energien tätig. Davon war gut die Hälfte dieser Unternehmen in zwei Sparten aktiv und ein weiteres Viertel in dreien. 47% der ausgewerteten Unternehmen hatten im Bereich erneuerbarer Energien ihren Schwerpunkt in der Produktion von Anlagen und Komponenten. Was die Unternehmensgröße betrifft, so fallen 52% in die Kategorie kleine Unternehmen (<20 Mitarbeiter), 44% in den mittelständischen Bereich (20 – 500 Mitarbeiter) und 4 % in die Kategorie Großunternehmen.

### **2.1.2 Marktabdeckung**

Wie bereits erwähnt war der Anspruch der Umfrage möglichst viele Unternehmen der erneuerbaren Energien Branche zu erfassen. Die Frage der Marktabdeckung durch die befragten Unternehmen wird hier noch einmal über die bereits aufgeführte Fragestellung der Anzahl hinaus aufgegriffen. Es wird der Versuch vorgenommen, die Beteiligung der in der Produktion tätigen Unternehmen einzuschätzen. Hierzu wurde der Umsatz der befragten Unternehmen in Deutschland den deutschen Investitionen in EE-Güter abzüglich der Importe gegenübergestellt. Dabei wurde berücksichtigt, dass der Umsatz der Hersteller Vorleistungen enthält, die potentiell von den befragten Komponentenherstellern bezogen werden. Um Doppelzählungen zu vermeiden, beschränkt sich der Umsatz der befragten Unternehmen, der hier zur Abschätzung der Marktabdeckung herangezogen wurde auf die letzte erfasste Wertschöpfungsstufe.

Insgesamt konnte 2012 eine Marktabdeckung von 47 % über alle Sparten der erneuerbaren Energien Technologien erreicht werden. 2007 lag dieser Anteil noch bei 61% und 2004 bei 70%. Allerdings wies der Markt erheblich weniger Teilnehmer auf, die zudem noch nicht allzu oft befragt worden waren und ein starkes Interesse daran hatten mit ihren Auskünften und Anregungen bei den Entscheidern in der Politik wahrgenommen zu werden.

Tabelle 2-1  
**Marktabdeckung der Befragung 2012**

EE-Branche	Prozentuale Marktabdeckung
Wind onshore	56 %
Wind offshore	28 %
Photovoltaik	56 %
Solarthermie	50 %
Solarthermische Kraftwerke	100 %
Wasserkraft	21 %
Tiefengeothermie	19 %
oberflächennahe Geothermie	51 %
Biogas	36 %
Biomassekleinanlagen	22 %
Biomasse Heiz-/Kraftwerke	11 %
EE gesamt	47 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Betrachtet man die Marktabdeckung nach den einzelnen Sparten, so erkennt man, dass in den beiden größten Sparten Wind onshore und Photovoltaik eine Marktabdeckung von 56% erreicht werden konnte. Diese liegt deutlich unterhalb der erreichten Marktabdeckung aus den beiden vorangegangenen Befragungen. In der Sparte der Photovoltaik war das Jahr 2012 aus wirtschaftlicher Perspektive nicht besonders vorteilhaft. Eine Reihe von Unternehmen war gezwungen Insolvenz anmelden, wodurch sie auch nach einer Neustrukturierung welcher Art auch immer, keine Aussagen über 2012 treffen konnten. Bei den Windanlagenherstellern konnte über die Zeit eine deutliche Abnahme der Bereitschaft beobachtet werden, an Unternehmensbefragungen teilzunehmen. In der Sparte der offshore Windenergie konnte sogar kein einziger Hersteller gefunden werden, der sich 2012 an der Befragung beteiligen wollte. 2007 nahmen hingegen noch alle teil. Die Marktabdeckung, die hier für 2012 ausgewiesen ist bezieht sich daher ausschließlich auf Komponentenhersteller. Dies ist ebenfalls der Fall im Bereich Tiefengeothermie. Ein gradueller Rückgang der Beteiligung konnte auch im Biogasbereich beobachtet werden. Für das Jahr 2012 konnte hier eine Beteiligung von 36% erreicht werden. In der Sparte der Wasserkraft konnte derselbe Rückgang beobachtet werden. Wobei sich die Anzahl der sich beteiligenden Hersteller in diesem Bereich nicht verringert hat. In der oberflächennahen Geothermie konnte in der aktuellen Umfrage mit 51% die größte Marktabdeckung bisher erreicht werden. In der Solarthermie konnte zwar die Marktabdeckung von 70% für das Jahr 2007 nicht wieder erreicht werden, mit 50 % wurde jedoch ein deutlich besseres Ergebnis erzielt als für 2004. In der Sparte der Solarthermi-

schen Kraftwerke ist die Ermittlung der Marktabdeckung sehr schwierig, da es keine inländischen Investitionen in diesem Bereich gibt, auf deren Basis man den Umsatz der Sparte abschätzen könnte. Wie bereits 2007 haben sich auch diesmal alle identifizierten produzierenden Unternehmen an der Umfrage beteiligt, weshalb erneut von einer vollständigen Marktabdeckung ausgegangen wird. Im Bereich der festen Biomasse wurde insgesamt das bislang beste Ergebnis erzielt. Dabei konnten vor allem Hersteller von Kleinanlagen besser erfasst werden. Bei den großen Heiz-/Kraftwerken war das Ergebnis schlechter als für 2007. Hier sind einige wenige sehr große Unternehmen tätig. Daher kann Nichtbeteiligung einiger weniger Unternehmen bereits einen signifikanten Einfluss auf die Marktabdeckung haben.

Insgesamt kann man sagen, dass eine Marktabdeckung von 47% noch immer ein sehr gutes Ergebnis darstellt, dass aber die Bereitschaft der Unternehmen an Unternehmensbefragungen teilzunehmen deutlich abgenommen hat.

### **2.1.3 Importe und Exporte im Bereich erneuerbarer Energien 2012**

Daten bezüglich des Außenhandels sind für die Ermittlung der erneuerbaren Energien Beschäftigung von besonderer Bedeutung. Bislang ist die erneuerbaren Energien Branche nicht spezifisch in der amtlichen Statistik erfasst, wodurch keine abschließenden Daten zum Umsatz der EE-Branche vorliegen. Da dieser Umsatz jedoch die Grundlage zur Ermittlung der Beschäftigungseffekte bildet, muss dieser auf einem anderen Wege abgeleitet werden. Dies geschieht im Rahmen dieses Projektes anhand der Investitionen in erneuerbare Energieanlagen in Deutschland (vgl. Abschnitt 2.3). Zur Ermittlung der Umsätze werden die Importe direkt für den Markt von den Investitionen abgezogen und die Exporte der Hersteller aufaddiert. Die Vorleistungsimporte werden bei der Umsatzermittlung direkt nicht berücksichtigt, sie finden jedoch Berücksichtigung in der Erstellung des Input-Output-Vektors (vgl. Abschnitt 2.2). Die Exporte der Zulieferer werden hingegen zu den Umsätzen hinzugefügt. Diese werden auf Basis der Vorleistungen aus deutscher Produktion, die von den Unternehmen bezogen werden, ermittelt.

Importe von Anlagen sind recht schwierig zu erheben (siehe hierzu auch Lehr et al. 2011). Die für 2012 ermittelten Werte zeigen ein ähnliches Bild wie in den vorherigen Jahren. Die Sparte mit dem größten Importanteil ist auch weiterhin die Photovoltaik (56%) gefolgt von der Biomasse mit 42-43%. Für die Solarthermie konnte ein Import von 36% ermittelt werden, für die oberflächennahe Geothermie 35% und für den Biogasbereich 10%. Die Daten für die Windenergie sind wiederum nicht aus den Umfragen gewonnen. Im onshore Wind Bereich wurde ein Import von knapp 1% für 2012 angesetzt (DEWI 2013). Für die offshore Windenergie wurde kein Import ermittelt, da der Umsatz der Unternehmen hier ermittelt

wird, indem die Entwicklung der einzelnen Projekte direkt verfolgt wird. In den anderen Bereichen konnten keine nennenswerten Importe direkt für den Markt beobachtet werden.

Tabelle 2-2

**Importe direkt für den Markt sowie Befragungsergebnisse bezüglich des Exports**

2012	Import direkt für den Markt	Export der Hersteller	Produktionsexport Zulieferer	Maximale Exportquote
Wind onshore	1 %	61 %	47 %	73 %
Wind offshore	k.A.	6 %	20 %	59 %
Photovoltaik	56 %	47 %	43 %	70 %
Solarthermie	36 %	28 %	41 %	51 %
Solarthermische Kraftwerke	–	100 %	66 %	91 %
Wasserkraft	0 %	58 %	61 %	91 %
Tiefengeothermie	0 %	0 %	7 %	58 %
oberflächennahe Geothermie	25 %	46 %	51 %	66 %
Biogas	10 %	30 %	11 %	62 %
Biomassekleinanlagen	42 %	21 %	60 %	52 %
Biomasse Heiz-/Kraftwerke	43 %	74 %	58 %	74 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Das Exportniveau der Hersteller und Zulieferer variiert sehr stark zwischen den verschiedenen Sparten der erneuerbaren Energien Branche. Dies hängt mit verschiedenen Faktoren wie dem Entwicklungsstand der Sparte und damit ihrer Industrie sowie der Nachfrage im In- und Ausland zusammen. Die höchsten Exporte anteilig am Umsatz verzeichnen die Hersteller von konzentrierenden Solarthermischen Kraftwerken (CSP), was nicht weiter verwunderlich ist, da es auf Grund der niedrigen Sonneneinstrahlung kein Marktpotential für diese Technologie in Deutschland gibt. Die Hersteller, die im Bereich der Biomasse Heiz-/Kraftwerke tätig sind, konnten einen Export von 74% in 2012 erzielen, die Zulieferer erreichten einen Wert von 58%. In diesem Bereich handelt es sich oft um Unternehmen, die auch im konventionellen Kraftwerksbau tätig sind, was es ihnen ermöglichte auf bestehende Außenhandelsverbindungen zurückzugreifen. Diesen Vorteil konnten die Unternehmen der deutschen Windbranche nicht nutzen. Dennoch ist es den Unternehmen gelungen sich international sehr gut aufzustellen. 2012 konnten die Hersteller von Anlagen einen Exportanteil von 61% erreichen, die Exporte der Zulieferer lagen bei 47%. Der Export im Bereich der Wasserkraft lag 2012 bei Herstellern wie Zulieferern um die 60%. Dabei lag die Exportquote der Hersteller im Bereich der großen Wasserkraft bei 76%. Mit 38% war der Exportanteil der kleinen Wasserkraft hin-

gegen sehr viel geringer. Bei den Biogasanlagen lag der Exportanteil 2012 bei etwa 30% (Hersteller) bzw. 11% (Zulieferer) mit stark steigender Tendenz. Für das Jahr 2013 gingen die Unternehmen davon aus ihren Exportanteil auf 37% (Hersteller) bzw. 16% (Zulieferer) erhöhen zu können. Hintergrund ist hier vor allem der starke Rückgang des Neuanlagengeschäfts in Deutschland. Der Export der Hersteller im Bereich der offshore Windenergie ist nicht aus der Umfrage gewonnen worden. Diese eigene Einschätzung beruht auf dem Monitoring des offshore Ausbaus in Europa. Für die Tiefengeothermie konnten hier nur sehr niedrige Werte ermittelt werden, die jedoch durch sehr wenige Unternehmen gestützt sind. Im Bereich der Wärmeerzeugungsanlagen ist das Exportniveau insgesamt betrachtet etwas niedriger als im Strombereich. Hier handelt es sich um einen stark regionalen Markt, wobei der deutsche Markt in Europa die bedeutendste Rolle spielt. Den größten Exporterfolg konnten hier 2012 die Unternehmen im Bereich der oberflächennahen Geothermie (Wärmepumpen) verzeichnen. Die Hersteller erreichten einen Exportanteil von 46%, die Zulieferer 51%. Im Bereich der Solarthermie lagen diese Werte bei 28% (Hersteller) und 41% (Zulieferer), wobei insbesondere die Absorber Hersteller hervorstachen. Im Bereich der Biomassekleinanlagen lag der Export der Hersteller bei 21%, wobei dieser Wert etwas differenziert betrachtet werden muss. Die Heizkamin- und Kachelofenbauer hatten 2012 einen Anteil von ca. 31% an den Investitionen in diesem Bereich. Es wird davon ausgegangen dass es hier weder Importe noch Export gab. Die Hersteller der restlichen Anlagen hatten demnach einen Exportanteil in Höhe von 31%. Die Komponentenhersteller in diesem Bereich lieferten 60% ihrer Produktion ins Ausland.

Die Darstellung des Außenhandels bezog sich bisher beinahe ausschließlich auf produzierte Güter.<sup>2</sup> Dies hängt damit zusammen, dass im Rahmen dieser Studie angenommen wird, dass sich die Außenhandelsaktivitäten des Dienstleistungs- und Handelssektors in etwa die Waage halten. Begründet wird dieses Vorgehen damit, dass eine Überschätzung der Beschäftigung vermieden werden soll. Die Herausforderung einer genaueren Berücksichtigung des Außenhandels im Dienstleistungs- und Handelsbereich liegt in der Verfügbarkeit der Daten. Es gibt keine Quelle, die Informationen bezüglich des Imports von Dienstleistungen zur Verfügung stellt. Auch eine Erhebung dieser Importe war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich, da die Investoren, die Aussagen hierzu treffen könnten, nicht von der Befragung erfasst wurden. Aussagen bezüglich des Exports sind zwar im Rahmen der Unternehmensbefragung erhoben worden, jedoch sind auch diese mit Vorsicht zu interpretieren, da lediglich

---

<sup>2</sup> Lediglich in den Sparten Wasserkraft und Solarthermischer Kraftwerke ist eine solche Differenzierung nicht vorgenommen worden. Siehe hierzu auch Lehr et al. 2011.

größere Unternehmen bei der Befragung einbezogen wurden, die tendenziell eher im Ausland tätig werden. Um eine genauere Vorstellung zu bekommen, wieviel Beschäftigte im Dienstleistungs- und Handelsbereich für Projekte im Ausland tätig sind, wurde hierzu eine Frage in den Fragebogen integriert. Von etwa 309 reinen Dienstleistungs- und Handelsunternehmen, die in der Umfrage ausführlich befragt worden sind, gaben 133 Unternehmen an Mitarbeiter in ihren deutschen Niederlassungen zu beschäftigen, die für Projekte im Ausland tätig waren. 108 dieser Unternehmen waren im Stande diesen Aufwand in Personenjahren abzuschätzen. Demnach wurden in diesen Unternehmen etwa 990 Personenjahre<sup>3</sup> für Tätigkeiten im Ausland eingesetzt.

Ergänzend zur Situation in 2012 wurden die Unternehmen im Rahmen der Erhebung nach den maximal sinnvollen Exporten aus Unternehmensstrategischer Sicht befragt. Diese Frage dient im Rahmen dieses Projektes insbesondere zur Überprüfung der Exportszenarien, deren Entwicklung in Abschnitt 5 beschrieben wird. Die Ergebnisse in Tabelle 2-2 zeigen, dass die Aussagen der Unternehmen überwiegend im Bereich von 50 % bis 75 % liegen. Tendenziell liegen die Werte dabei in den Sparten der erneuerbaren Wärme etwas niedriger als im Strombereich. Die sehr hohen Werte im Bereich der Wasserkraft sowie der Solarthermischen Kraftwerke sind insbesondere vor dem Hintergrund der geringen bis nicht existenten Potentiale der jeweiligen Technologien in Deutschland zu verstehen.

#### **2.1.4 Struktur der Beschäftigung im Bereich der erneuerbaren Energien**

Neben der Ermittlung der Brutto- und Nettobeschäftigung, die im Fokus dieser Studie stehen, sind im Rahmen der Unternehmensbefragung auch weitere Aspekte im Zusammenhang mit der Beschäftigung erhoben worden, die hier dargestellt und eingeordnet werden sollen. Dabei handelt es sich im Einzelnen um das Ausbildungsangebot der Unternehmen, die Qualifikation der Beschäftigten, den Fachkräftemangel sowie die Einschätzung zur Beschäftigungsentwicklung, die Strategien der Unternehmen zur Besetzung offener Stellen insbesondere mit der Betrachtung der Zeitarbeit, aber auch der Anteil von Frauen in den befragten Unternehmen.

##### **2.1.4.1 Ausbildungsangebote und berufliche Qualifizierung**

Die Etablierung eines neuen Industriezweiges bedingt zumindest partiell auch das Entstehen neuer Tätigkeitsbereiche und/oder erfordert neue Qualifikationsprofile. Um diesen Bedarf

---

<sup>3</sup> Diese Zahl enthält auch Beschäftigte der Bereiche Wasserkraft und Solarthermische Kraftwerke, deren Exporttätigkeit auch im Dienstleistungsbereich explizit berücksichtigt ist.

an spezifischen Qualifikationen und Kompetenzen zu decken, ist der Aufbau einer betriebs-spezifischen Ausbildung eine adäquate Unternehmensstrategie. Dies kann den gewerblich-technischen wie auch den akademischen Ausbildungsbereich einschließen. 2012 waren in den befragten Unternehmen im Bereich erneuerbarer Energien etwa 3,9% der Beschäftigten als Auszubildende angestellt. Hinzu kommen ca. 2,1% an Werkstudenten. Insgesamt sind somit etwa 6% der beschäftigten Personen in den EE-Sparten der befragten Unternehmen in einer gewerblichen oder akademischen Ausbildung. Bezüglich der Entwicklung bis 2015 gehen die Unternehmen von einem Anstieg des Anteils in der betrieblichen Ausbildung beschäftigter aus. Die Unternehmen streben hier in Summe einen Anteil an allen Beschäftigten von 8% an.

Nimmt man die Anzahl der betroffenen Unternehmen als Bezugsbasis ergeben sich folgende Relationen: im EE-Bereich beschäftigten 37% der Unternehmen (n=550) im Jahr 2012 Auszubildenden. 55% der Unternehmen (n=408) gaben an bis 2015 ausbilden zu wollen<sup>4</sup>. Zum Vergleich: der Ausbildungsbericht des BMBF benennt bei einer leicht rückläufigen Tendenz eine Ausbildungsbetriebsquote von ca. 21-22% für 2013 (BMBF 2014). Ca. 19% der Betriebe zählen sowohl Auszubildende wie auch Werkstudenten zu ihren Beschäftigten, bilden also gewerblich und zugleich akademisch aus. Jeweils ca. 100 Unternehmen (13-14%) verfügen nur über Werkstudenten oder Auszubildende. Im Mittel finden sich 4-5 Auszubildende in den Betrieben und ca. 2-3 Werkstudenten, bei einer allerdings hohen Streuung über alle Unternehmen hinweg. Jedoch indizieren diese Mittelwerte, dass neben den wenigen Großunternehmen eher die mittelständischen Unternehmen über 50 und mehr Beschäftigte dieses Ausbildungsangebot tragen. Es ergibt auch Sinn die Fachkräfte für die Ausbildung (i.d.R. Meister) für jeweils mehrere Auszubildende einzusetzen. Inwiefern außerbetriebliche Ausbildungsstätten hier eine Rolle spielen, wurde nicht erhoben.

Hinsichtlich der neueren formalen akademischen Abschlüsse sieht beim Bachelor jedes zweite EE-Unternehmen Qualifikationsprobleme, beim Master hingegen nur noch ca. 1/3. Allerdings sehen nur ca. 17% der Unternehmen beim Bachelor und ca. 7% beim Master gravierende Qualifikationsdefizite der Absolventen.

Knapp 78% der Unternehmen, die ausbilden oder Werkstudenten anstellten, gaben an in den letzten fünf Jahren keine Probleme bei der Besetzung von Ausbildungsstellen gehabt zu haben. Ca. 19% hatten jedoch entsprechende Probleme wegen der fehlenden Qualifikation.

---

<sup>4</sup> Bei solchen Fragen ist stets eine gewisse soziale Erwünschtheit solcher Angaben zur Beschäftigung und Ausbildung junger Menschen zu berücksichtigen. Dennoch lässt sich annehmen, dass die EE-Unternehmen eine deutlich überdurchschnittlich Tendenz zum Ausbilden aufweisen. Ein typisches Merkmal neuer Branchen zum Aufbau eigener Fachkräfte.

Genügend Bewerber/innen zu finden hat nur eine marginale Bedeutung (>4%) für die Besetzung freier Ausbildungsplätze, die Probleme liegen vielmehr in der schulischen Vorqualifikation der Bewerber/innen.

Tabelle 2-3

### Erfahrungen bzw. Einschätzungen bezüglich des Qualifikationsniveaus von Bachelor- und Masterstudiengängen

	Bachelor-Studiengängen		Masterabsolventen	
	Anzahl	Prozent*	Anzahl	Prozent*
fachübergreifend keine Probleme	166	44,7	210	63,6
keine Probleme, da spezifische EE-Studiengänge verfügbar sind	19	5,1	18	5,5
Fachübergreifend, eher geringe Probleme	106	28,6	69	20,9
eher geringe Probleme, da spezifische EE-Studiengänge verfügbar sind	16	4,3	11	3,3
fachübergreifend große Probleme	39	10,5	12	3,6
große Probleme, auch bei EE spezifischen Studiengängen	25	6,7	10	3,0
	371	100	330	100
weiß nicht / keine Angabe	351	45,4	392	54,2

\* Bezogen auf die Anzahl gültiger Fälle zu 100% aufaddiert

Quelle: Eigene Berechnungen.

#### 2.1.4.2 Fachkräftemangel und Einschätzungen zur Beschäftigtenentwicklung

Gerade für aufstrebende neue Branchen ist der Fachkräftemangel insbesondere in MINT-Berufen ein Risiko. So konnten 16% der befragten Unternehmen in einem Zeitraum von fünf Jahren zumindest einmal einen angebotenen Auftrag nicht annehmen, weil ihnen die Fachkräfte hierfür fehlten. 40% der Unternehmen gaben an bei Ausschreibungen für Ingenieure Schwierigkeiten gehabt zu haben und jeweils ca. 29-31% bei Techniker/Meister und Facharbeitern. Inwiefern EE-Unternehmen vom Fachkräftemangel in MINT-Berufen besonders betroffen sind, lässt sich nicht eindeutig indizieren und identifizieren, da die Debatte zum Fachkräftemangel anhält (Pfenning/Renn 2012). Im Vergleich mit veröffentlichten Studien (VDI/DIW 2007) liegt der Anteil betroffener Unternehmen, die Aufträge wg. fehlender MINT-Fachkräfte ablehnen mussten bei über 20%, bei EE-Unternehmen bei ca. 15%, somit eher unterdurchschnittlich. Hingegen bewegen sich die Anteile von Problemen der Unternehmen bei Stellenbesetzungen im Technikbereich in der deutschen Wirtschaft in Summe bei ca. 30-35%, bei EE-Unternehmen bei über 40% für Ingenieure und bei ca. 30% für technische Fach-

kräfte, also eher überdurchschnittlich. Dies kann als Folge davon interpretiert werden, dass EE-Unternehmen einen sehr hohen Bedarf an qualifizierten Ingenieuren haben.

Was die zukünftige Entwicklung der Mitarbeiterzahlen für 2015 angeht, so sehen 37% der Unternehmen eher optimistisch in die Zukunft und erwarten eine höhere Beschäftigtenquote. 36% gehen von einer Stagnation und 27% erwarten einen Rückgang der Beschäftigung (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4

**Erwartungen im Hinblick auf die Entwicklung der in den befragten Unternehmen Beschäftigten in Deutschland im Bereich der erneuerbaren Energien für 2015**

	n	Prozent
dass die Anzahl der Beschäftigten 2015 etwa gleich hoch sein wird wie 2012	244	33,7
dass sie höher sein wird als 2012	238	32,9
dass sie niedriger sein wird als 2012	178	24,6
Weiß nicht	62	8,6
Gesamtsumme	660	100,0

Quelle: Eigene Berechnungen.

Analysiert man diese antizipierten Beschäftigungstendenzen auf die einzelnen Technologie-sektoren der EE-Unternehmen, so zeigt sich bereits im Geschäftsjahr 2012 der erwartete Abschwung für die PV-Unternehmen. Etwa 1/3 der Unternehmen geht für 2013 von einem Rückgang bei den Beschäftigtenzahlen aus. Dies gilt auch für einzelne Unternehmen der Biomassenutzung, allerdings bei deutlich geringerer Gewichtung für die Gesamtbeschäftigung. Hingegen gingen Unternehmen der Windbranche zu etwa gleichen Teilen von einem Zuwachs oder zumindest Stagnation der Beschäftigtenzahlen aus.

**2.1.4.3 Strategien von EE-Unternehmen zur Besetzung von offenen Stellen und die Option Zeit- und Leiharbeit**

Bei der Besetzung offener Stellen greifen die meisten der befragten Unternehmen der EE-Branche am häufigsten auf die tradierten Optionen Zeitungsanzeige (51%), Stellenportale im Internet (46%) und der eigenen Firmen-Webseiten (45%) zurück. Die Inanspruchnahme der staatlichen Jobcenter und informaler Netzwerke vorhandener Mitarbeiter werden jeweils von etwa jedem dritten Unternehmen benutzt. Für ein Fünftel (21%) ist die Besetzung offener Stellen durch Zeit- und Leiharbeitsfirmen einer der drei am häufigsten genutzten Wege und 17% setzen private Jobvermittler (Headhunter) ein. Die offenen Antworten verweisen darüber hinaus auf spezifische Kontakte des direkten Anwerbens von qualifizierten Absol-

venten an den Hochschulen<sup>5</sup>, brancheninterne Vernetzungen sowie die Zuhilfenahme der IHK.

In ca. 31% der Unternehmen (n=544) sind Zeit- und Leiharbeiter tätig. Davon betroffen sind über beinahe 5.900 Personen. Dies entspricht in etwa 9,8% der Belegschaft im EE-Bereich der befragten Unternehmen. Im Mittel gibt es bei wiederum großer Streuung aufgrund der wenigen Großunternehmen mit vielen Beschäftigten auf Basis von Zeit- und Leiharbeit und vielen kleineren Mittelstandsunternehmen mit wenigen Beschäftigten. Betrachtet man die Tätigkeitbereiche der Unternehmen, ergibt sich, dass 43% der Produktionsunternehmen auf die Option der Zeit-/Leiharbeit zurückgreifen. Dagegen nutzen lediglich 18% der Dienstleistungs- und Handelsunternehmen dieses Beschäftigungsmodell.

Der Anteil der Zeit-/Leiharbeit an allen sozialversicherungsbeschäftigten in Deutschland lag 2012 mit 2,7%. Damit lag die EE-Branche deutlich über dem bundesdeutschen Niveau (Bundesagentur 2014a).

Die Abfrage zur zukünftig erwarteten Entwicklung des Anteils der Zeit- und Leiharbeit in 2015 lässt wenig Dynamik erkennen, so gehen gut 75% der Unternehmen davon aus, dass sich keine Veränderungen ergeben, 10% der Unternehmen möchte diesen Anteil ausweiten, 8% hingegen reduzieren und weitere 6% wollen abwarten. Von den Unternehmen, die bisher keine Zeit- und Leiharbeiter beschäftigten, wollen lediglich 7% ab 2015 auf dieses Beschäftigungsmodell zurückgreifen.

Bei den Unternehmen, die bereits die Option von Leih- und Zeitarbeit nutzten, gehen 50% von keiner Veränderung dieses Anteils aus. Derweil 13% der Unternehmen die Zeitarbeit ausweiten wollen, gehen ca. 18% von einem Abbau der Leih- und Zeitarbeit in ihrem Unternehmen aus. Passend zu dieser flexiblen Option wollen auch ca. 6-7% die Entwicklung der Auftragslage abwarten und dann über die weitere Nutzung dieser Option entscheiden. In 13% der Unternehmen konnten die befragten Personen keine Antwort auf diese Frage geben.

Die Motivlagen der Unternehmen für die Nutzung der Leih- und Zeitarbeit sind überwiegend die damit verbundene Flexibilität, um die Beschäftigtenlage an die Auftragslage anzupassen (konjunktureller Zusatzbedarf, siehe Tabelle 2-5). Direkte Maßnahmen des Kostendrucks und zur Kostensenkung, z.B. durch die niedrige Gehaltsstruktur oder Einsparungen im Personal-

---

<sup>5</sup> Dies verweist nochmals auf die Bedeutung der Werkstudenten auch als Rekrutierungspotenzial für die Unternehmen.

management und der Personalakquise spielen nur für ca. jedes sechste Unternehmen eine Rolle.

Tabelle 2-5

**Motivangaben der Unternehmen für die Nutzung des Beschäftigtenmodells Zeit-/Leiharbeit, Mehrfachnennungen**

	Antworten	
	n	Prozent
kurzfristige Flexibilität bedingt durch Auftragsschwankungen	168	80,4
generelle Flexibilität durch die Vermeidung langfristiger Personalbindungen	54	25,8
schnelle, zielgenaue Auswahl Fachkräfte für unternehmensspezifische Ziele	52	24,9
Geringere Kosten für Personalakquise	20	9,6
Andere Gehaltsstruktur	15	7,2
Sonstiges	31	14,8
Gesamtsumme	340	162,7

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die zusätzlich erhobenen offenen Fragen bestätigen diese Interpretation, ergänzen die Motivlagen aber auch noch um einige weitere spezifische Gründe. Deutlich wird, dass unter Flexibilität nicht nur die konjunkturellen Zusatzbedarfe verstanden werden, sondern die gesamte Palette möglicher Ausfälle fest angestellter Beschäftigten wie Schwangerschaftsvertretungen, Krankheiten sowie Aspekte des allgemeinen Personalmanagements wie Eignungstest oder saisonale Tätigkeiten, die wohl vorwiegend auf EE-Unternehmen mit dem Betrieb von Biomasse-Anlagen entfallen.

#### 2.1.4.4 Gender(a)symmetrie

Der Anteil von Frauen in technischen Berufen, insbesondere im Ingenieurwesen, ist wegen seines geringen Umfanges von heute ca. 18-23% seit langer Zeit ein Thema der Berufs- und Bildungsforschung (Godfoy-Genin 2010, Pfenning/Renn 2012, Wentzel et al. 2011, Schreyer 2008, DGB 2014, IAB 2013)<sup>6</sup>. Einige Forscher/innen vertreten hierzu die Auffassung, dass Ingenieurberufe mit eindeutig sozialen Bezügen erhöhte Frauenanteile aufweisen (Minks 2007, 1997, Pfenning/Schulz 2012, Schwarze 2012 u.a., zusammenfassend Wentzel 2012). Der Terminus „sozialer Sinn“ (Minks 2010) meint die individuelle intrinsische Überzeugung

<sup>6</sup> Diese These ist umstritten, weil es unklar ist, welchen Referenzpunkt die Einschätzung einer Berufsquote als gering haben soll. Objektiv gilt, dass sich mehr Frauen und Mädchen für Technik interessieren und auch entsprechende Studiengänge studieren als tatsächlich den erlernten Beruf ausüben. Dies kann objektiv als Mangelphänomen angesehen werden (Pfenning/Renn 2012, Pfenning/Schulz 2011).

durch die eigene berufliche Tätigkeiten einen Beitrag zum Allgemeinwohl, zur Forschung oder zum Fortschritt allgemein leisten zu können<sup>7</sup>. Die Tätigkeit in einem Unternehmen mit dem Schwerpunkt Erneuerbare Energien könnte solche Images und intrinsische Selbstbilder vom Allgemeinwohl und Forschungsbeitrag entsprechen<sup>8</sup>. Deshalb wurden in der Befragung der EE-Unternehmen für 2012 erneut auch Angaben zu den Frauenanteilen erhoben.

Der Anteil weiblicher Beschäftigter an der Belegschaft beträgt gemessen an der Gesamtzahl aller Beschäftigten im EE-Sektor der befragten Unternehmen ca. 27% , absolut errechnet sich eine Anzahl von gut 15.300 Frauen. In 88% der Betriebe sind Frauen tätig. Erwarteter Weise sind Frauen nur in sehr kleinen Betrieben nicht anzutreffen. Der Anteil der Frauen an allen sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnissen in Deutschland betrug 2013 ca. 46%. Differenziert nach Branchen betrachtet treten jedoch deutliche Unterschiede auf. Dabei wird deutlich, dass Frauen vor allem im Bereich der Dienstleistungen tätig sind. Der Frauenanteil für die Branche Bergbau, Energie, Wasser und Entsorgung betrug 2013 etwa 20%, im verarbeitenden Gewerbe lag er bei 26% (Bundesagentur 2014b).

Die Frauenanteile verteilen sich nach den Aufgabenfeldern sehr unterschiedlich (siehe Tabelle 2-6). Demnach sind Frauen in den Bereichen Forschung & Entwicklung sowie Produktion signifikant in ca. 70% der Unternehmen unterrepräsentiert, im technischen Vertrieb in jedem zweiten Unternehmen. Lediglich im Verwaltungssektor sind die Frauen eher durchschnittlich bis überdurchschnittlich vertreten.

Der Vergleich der Extremwerte „deutlich über“ bzw. „deutlich unter“ den Durchschnitt verdeutlicht, die geringe Präsenz von Frauen in F&E sowie der Produktion. Im technischen Vertriebswesen gibt es hingegen auch etliche Unternehmen mit bedeutsamen bis durchschnittlich hohen Frauenanteilen.

Dies entspricht der klassischen sektoralen Unterscheidung von Frauen- und Männerberufen bzw. Tätigkeiten auch in Unternehmen der EE-Branche. Allerdings ist zu beachten, dass in EE-Unternehmen sowohl technische wie auch naturwissenschaftliche Tätigkeitsprofile anzutreffen sind. Deren Frauenanteile sind im Bundesdurchschnitt sehr unterschiedlich, so liegt der Frauenanteil bei Ingenieurinnen bei ca. 10-15%, in naturwissenschaftlichen Berufen hingegen bei ca. 45%. (IAB 2013, DGB 2014, Wentzel et al. 2011). Da naturwissenschaftliche

---

<sup>7</sup> Ein Indikator ist zum Beispiel der Frauenanteil in technischen Nischenberufen wie Medizintechnik, Biomedizin und Umwelttechnik mit Anteilen von 30-über 60% (Pfenning/Schulz 2012).

<sup>8</sup> Diese Annahme ist nicht unkritisch, weil davon ausgegangen wird, dass das Image der Energiewende als nachhaltiges, umweltbezogenes und soziales Vorhaben nicht unmittelbar auf die Unternehmen im EE-Sektor übertragen werden kann. Hierzu wären Detailstudien notwendig, die bisher nicht vorliegen.

Berufe in der Verwaltung eher selten vorkommen und hier der höchste Frauenanteil in EE-Unternehmen zu konstatieren ist, kann interpretiert werden, dass diese Tätigkeiten eher von den EE-spezifischen Fachqualifikationen unabhängig sind.

Tabelle 2-6

**Tätigkeitsfelder von Frauen in den befragten Unternehmen im Bereich EE**

Wie groß war der Anteil weiblicher Beschäftigter in den Bereichen ...		deutlich unter Durchschnitt	etwas unter Durchschnitt	Durchschnitt	etwas über Durchschnitt	deutlich über Durchschnitt
Forschung und Entwicklung	Anzahl	186	62	70	16	13
	%	53,6%	17,9%	20,2%	4,6%	3,7%
Produktion	Anzahl	182	51	62	19	12
	%	55,8%	15,6%	19,0%	5,8%	3,7%
Technischer Vertrieb/Service	Anzahl	146	75	141	37	42
	%	33,1%	17,0%	32,0%	8,4%	9,5%
Verwaltung	Anzahl	33	29	190	93	179
	%	6,3%	5,5%	36,3%	17,7%	34,2%

Quelle: Eigene Berechnungen.

Einen gegenläufigen Trend repräsentieren die 8-9% (ca. 30) von Unternehmen mit einem eher bis sehr überdurchschnittlichen Anteil von Frauen im F&E bzw. in der Produktion aufweisen. Diese EE-Unternehmen lassen sich wie folgt typologisieren: Es sind vorwiegend Unternehmen mit 11 bis 50 Beschäftigten (45%)<sup>9</sup>, die vorwiegend im Produktionsbereich tätig sind (85%).

Die leicht ansteigenden Frauenanteile in größeren EE-Unternehmen sind kongruent mit Ergebnissen aus der MINT-Forschung (Schreyer 2008). In der Regel bieten größere Unternehmen für technisch talentierte Frauen strukturell die besseren Chancen, dies muss aber nicht zwangsläufig Output einer gezielten Förderung der Frauen in diesen Unternehmen sein. Vielmehr bewirken ganz generelle Angebote wie betriebseigene Kinderbetreuungsstätten oder flexiblere Arbeitszeiten in größeren Gruppen die erhöhte Attraktivität der größeren Unternehmen.

Bei Betrachtung der MINT-Aktivitäten der größeren Unternehmen stachen Unternehmen aus der EE-Sparte bisher nicht durch besondere Maßnahmen und Aktivitäten zur Frauenförderung hervor (Acatech 2009). Die gut belegte erhöhte Attraktivität von Technikberufen mit

<sup>9</sup> Kleinunternehmen mit weniger als 10 Beschäftigten und mittlere Unternehmen mit 51-100 sowie 100-500 Beschäftigten sind mit jeweils ca. 13-17% in dieser Gruppe vertreten.

erkennbaren positiven gesellschaftlichen Assoziationen und sozialen Kontext für Frauen wurde konzeptionell weitgehend nicht von den EE-Unternehmen aufgegriffen. Zu diesem Themenfeld führt der Wissenschaftsladen Bonn derzeit Studien und qualitative Erhebungen durch.

Insgesamt finden sich für die Annahme, dass sich in EE-Unternehmen das positive gesellschaftliche Image der Energiewende auch in einer erhöhten Attraktivität deren Stellen für technisch-naturwissenschaftlich Frauen widerspiegelt keine hinreichenden Anhaltspunkte. Vielmehr entsprechen die Häufigkeiten der beschäftigten Frauen in den unterschiedenen Tätigkeitsfeldern wie auch in den Unternehmen insgesamt den bekannten geringen und unterdurchschnittlichen Anteilen von Frauen.

#### **2.1.4.5 Spartenspezifische Ergebnisse**

Eine spartenspezifische Betrachtung der Beschäftigungsstruktur der befragten Unternehmen macht deutlich, dass der Anteil der Mitarbeiter mit einer Hochschulqualifikation bei den Anlagen zur Stromerzeugung tendenziell über dem Durchschnitt der gesamten Branche liegt. Gründe hierfür könnten u.a. in der Komplexität der Anlagen oder dem Entwicklungsbedarf zu finden sein. Der letztgenannte Punkt könnte damit gestützt werden, dass die höchsten Anteile bei den Solarthermischen Kraftwerke sowie der Tiefengeothermie zu finden sind, beides Bereiche, die noch vergleichsweise am Anfang der technologischen Entwicklung stehen.

Einen deutlich überdurchschnittlichen Anteil in der Berufsausbildung weist der Bereich der Biomassekleinanlagen auf. Es wäre interessant herauszufinden, ob es hierfür spezifische Gründe gibt. Insgesamt liegt die Ausbildungsquote für 2012 auf demselben Niveau wie 2007, wobei die Ergebnisse zwischen den Sparten weniger weit streuen.

Der Anteil der weiblichen Mitarbeiter ist in den drei Befragungen stetig angestiegen. 2004 waren Frauen noch mit 19% in den befragten Unternehmen vertreten, 2007 lag dieser Wert bei 23% und 2012 bei 27%. Die Nutzung des Arbeitsmodells Zeit- bzw. Leiharbeit hat sich in den Unternehmen seit der letzten Umfrage stärker ausgebreitet, während 2007 noch etwa 8% der Mitarbeiter der befragten Unternehmen unter dieses Konzept fielen, lag der ermittelte Wert 2012 bei knapp 10%.

Dieser Anstieg ist in allen Sparten der erneuerbaren Energien bis auf die Photovoltaik zu beobachten. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der Rückgang im Bereich Photovoltaik direkt mit dem Stellenabbau in Verbindung gebracht werden kann, der 2012 bei den produzierenden Unternehmen beobachtet werden konnte, da in solchen Fällen die Zeit- bzw.

Leiharbeiter meist zuerst freigestellt werden. Im Bereich Windenergie wird die Zeit- bzw. Leiharbeit am meisten genutzt. In der offshore Windenergie waren 2012 dabei beinahe 21% über dieses Beschäftigungsmodell eingestellt, im onshore Bereich etwa 16%. Insgesamt kann man schließen, dass die Beschäftigtenstruktur der EE-Unternehmen von der äußerst disparaten Struktur in diesem Bereich beeinflusst wird: Es finden sich kleinere Neugründungen ebenso wie tradierte Mittelständler und einige große Unternehmen, die EE-Technologien als neue Sparte ihren Portfolios hinzugefügt haben. Deshalb mag es nicht überraschen, wenn die Beschäftigtenstruktur sich auch im tradierten Rahmen bewegt, jedoch durchaus mit „Ausreißern“ bzw. Indizien qualitativer Veränderungen in einzelnen Bereichen.

Tabelle 2-7

**Spartenspezifische Struktur der Beschäftigung in den befragten Unternehmen im Bereich der erneuerbaren Energien (2012)**

EE-Branche	in dualer Berufsausbil- dung	in akademi- scher Ausbil- dung	ohne Berufsausbil- dungsab- schluss	mit Berufsausbil- dungsab- schluss	mit Hoch- schulab- schluss	n (Unterneh- men)	weibliche Erwerbstätige	n (Unterneh- men)	Zeitarbeit	n (Unterneh- men)
Wind onshore	4,1 %	1,8 %	2,6 %	74,3 %	17,2 %	102	32,0 %	107	16,1 %	103
Wind offshore	2,7 %	1,2 %	4,5 %	64,5 %	27,1 %	55	10,8 %	54	20,6 %	51
Photovoltaik	4,0 %	3,2 %	8,1 %	58,2 %	26,4 %	276	30,4 %	287	6,2 %	277
Solarthermie	3,7 %	2,1 %	5,6 %	72,4 %	16,2 %	124	23,0 %	125	4,9 %	126
Solarthermische Kraftwerke	3,1 %	1,9 %	0,5 %	42,5 %	52,0 %	28	17,9 %	28	3,0 %	28
Wasserkraft	3,9 %	0,9 %	0,7 %	71,3 %	23,3 %	21	17,2 %	21	2,9 %	22
Tiefengeothermie	3,9 %	1,9 %	7,0 %	56,3 %	30,9 %	15	8,4 %	15	8,3 %	14
oberflächennahe Geothermie	3,3 %	0,8 %	10,7 %	68,9 %	16,3 %	40	28,4 %	40	8,9 %	39
Biogas	4,2 %	1,9 %	2,8 %	62,7 %	28,6 %	110	17,7 %	110	9,4 %	113
Biomassekleinanlagen	4,7 %	1,9 %	3,2 %	75,6 %	14,6 %	79	19,9 %	79	5,7 %	78
Biomasse Heiz-/Kraftwerke	2,6 %	1,8 %	1,7 %	63,7 %	30,2 %	20	16,9 %	19	2,1 %	19
EE gesamt	3,9 %	2,1 %	4,5 %	66,0 %	23,6 %	547	26,5 %	552	9,8 %	544

Quelle: Eigene Berechnungen.

## 2.2 Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien – Datengrundlage und methodisches Vorgehen

### 2.2.1 Methodische Grundlagen zur Abbildung eines neuen (zusätzlichen) Produktionsbereichs im Analyserahmen der Input-Output-Rechnung

In der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes (destatis) werden in systematischer, abgestimmter Weise die relevanten amtlichen Daten zur sektoralen Wirtschaftsentwicklung in Deutschland ausgewiesen.<sup>10</sup> Die Input-Output-Rechnung ist Teil der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) und folgt in Grundzügen und Konventionen den Methoden und Konzepten des Europäischen Systems Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen (ESVG 1995).<sup>11</sup> Die jährlichen Input-Output-Tabellen geben einen detaillierten Einblick in die Güterströme und Produktionsverflechtungen in der deutschen Volkswirtschaft und mit der übrigen Welt. Sie sind die empirische Grundlage für vielfältige wirtschaftliche Analysen, insbesondere auch sektoral disaggregierte Modellierungsaktivitäten und bieten zahlreiche Verknüpfungsmöglichkeiten mit anderen Datenquellen (sog. Satellitensysteme) wie z.B. der Umweltökonomischen Gesamtrechnung.

Um den sich ändernden Anforderungen der statistischen Berichterstattung Rechnung zu tragen, werden in der amtlichen Wirtschaftsstatistik in längeren Abständen die zu Grunde liegenden Klassifikationen angepasst.

Tabelle 2-8

#### Gliederung der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes (WZ 2008)

Produktionsbereiche bzw. Gütergruppen in den Input-Output-Tabellen <sup>1)</sup>					
Lfd. Nr.	Vergleichbare Position der CPA 2008 bzw. der WZ 2008	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Vergleichbare Position der CPA 2008 bzw. der WZ 2008	Bezeichnung
1	01	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Dienstleistungen	17	23.2-23.9	Keramik, bearbeitete Steine und Erden
2	02	Forstwirtschaftliche Erzeugnisse und Dienstleistungen	18	24.1-24.3	Roheisen, Stahl, Erzeugnisse der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl
3	03	Fische, Fischerei- und Aquakulturerzeugnisse	19	24.4	NE-Metalle und Halbzeug daraus

<sup>10</sup> Für einen Überblick über Konzepte und Daten der Input-Output-Rechnung vgl. StaBuA 2010.

<sup>11</sup> Als wesentliche Abweichung ist zu beachten, dass in den Produktionswerten und den Vorleistungen der deutschen Input-Output-Tabellen firmeninterne Lieferungen und Leistungen (sogenannte Weiterverarbeitungsproduktion) enthalten sind.

Produktionsbereiche bzw. Gütergruppen in den Input-Output-Tabellen <sup>1)</sup>					
Lfd. Nr.	Vergleichbare Position der CPA 2008 bzw. der WZ 2008	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Vergleichbare Position der CPA 2008 bzw. der WZ 2008	Bezeichnung
4	05	Kohle	20	24.5	Gießereierzeugnisse
5	06	Erdöl und Erdgas	21	25	Metallerzeugnisse
6	07-09	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse und Dienstleistungen	22	26.1-26.4	Datenverarbeitungsgeräte, elektronische Bauelemente und Erzeugnisse für Telekommunikation und Unterhaltung
7	10-12	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke, Tabakerzeugnisse	23	26.5-26.8	Mess-, Kontroll- u.ä. Instrumente und Einrichtungen, elektromedizinische Geräte, Datenträger
8	13-15	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	24	27	Elektrische Ausrüstungen
9	16	Holz, Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	25	28	Maschinen
10	17	Papier, Pappe und Waren daraus	26	29	Kraftwagen und Kraftwagenteile
11	18	Druckereileistungen, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	27	30	Sonstige Fahrzeuge
12	19	Kokerei- und Mineralölzeugnisse	28	31-32	Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren
13	20	Chemische Erzeugnisse	29	33	Reparatur, Instandhaltung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen
14	21	Pharmazeutische Erzeugnisse	30	35.1, 35.3	Elektrischer Strom, Dienstleistungen der Elektrizitäts-, Wärme- und Kälteversorgung
15	22	Gummi- und Kunststoffwaren	31	35.2	Industriell erzeugte Gase; Dienstleistungen der Gasversorgung
16	23.1	Glas und Glaswaren	32	36	Wasser, Dienstleistungen der Wasserversorgung
33	37-39	Dienstleistungen der Abwasser-, Abfallentsorgung und Rückgewinnung	48	61	Telekommunikationsdienstleistungen
34	41	Hochbauarbeiten	49	62-63	Informationstechnologie- und Informationsdienstleistungen
35	42	Tiefbauarbeiten	50	64	Finanzdienstleistungen
36	43	Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten	51	65	Dienstleistungen von Versicherungen und Pensionskassen
37	45	Handelsleistungen mit Kraftfahrzeugen, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	52	66	Mit Finanz- und Versicherungsdienstleistungen verbundene Dienstleistungen
38	46	Großhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kraftfahrzeugen)	53	68	Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens

Produktionsbereiche bzw. Gütergruppen in den Input-Output-Tabellen <sup>1)</sup>					
Lfd. Nr.	Vergleichbare Position der CPA 2008 bzw. der WZ 2008	Bezeichnung	Lfd. Nr.	Vergleichbare Position der CPA 2008 bzw. der WZ 2008	Bezeichnung
39	47	Einzelhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kraftfahrzeugen)	54	69-70	Dienstleistungen der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung
40	49	Landverkehrs- und Transportleistungen in Rohrfernleitungen	55	71	Dienstleistungen von Architektur- und Ingenieurbüros und der technischen, physikalischen Untersuchung
41	50	Schiffahrtsleistungen	56	72	Forschungs- und Entwicklungsleistungen
42	51	Luftfahrtleistungen	57	73	Werbe- und Marktforschungsleistungen
43	52	Lagereileistungen, sonstige Dienstleistungen für den Verkehr	58	74-75	Sonstige freiberufliche, wissenschaftliche, technische und veterinärmedizinische Dienstleistungen
44	53	Post-, Kurier- und Expressdienstleistungen	59	77	Dienstleistungen der Vermietung von beweglichen Sachen
45	55-56	Beherbergungs- und Gastronomieleistungen	60	78	Dienstleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften
46	58	Dienstleistungen des Verlagswesens	61	79	Dienstleistungen von Reisebüros, -veranstaltern und sonstigen Reservierungen
47	59-60	Dienstleistungen von audiovisuellen Medien, Musikverlagen und Rundfunkveranstaltern	62	80-82	Wach-, Sicherheitsdienstleistungen, wirtschaftliche Dienstleistungen a.n.g.
63	84.1-84.2	Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung und der Verteidigung	69	93	Dienstleistungen des Sports, der Unterhaltung und der Erholung
64	84.3	Dienstleistungen der Sozialversicherung	70	94	Dienstleistungen der Interessenvertretungen, kirchlichen und sonstigen Vereinigungen
65	85	Erziehungs- und Unterrichtsdienstleistungen	71	95	Reparaturarbeiten an Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern
66	86	Dienstleistungen des Gesundheitswesens	72	96	Sonstige überwiegend persönliche Dienstleistungen
67	87-88	Dienstleistungen von Heimen und des Sozialwesens	73	97-98	Waren und Dienstleistungen privater Haushalte o.a.S.
68	90-92	Dienstleistungen der Kunst, der Kultur und des Glücksspiels			

CPA 2008: Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen, Ausgabe 2008. WZ 2008: Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008. –1) Die Abgrenzung der Produktionsbereiche entspricht derjenigen für Gütergruppen.

Quelle: Statistisches Bundesamt.

Ab dem Berichtsjahr 2008 folgen die amtlichen Tabellen des Statistischen Bundesamtes der Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008 (WZ 2008) bzw. der Statistischen Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen, Ausgabe 2008 (CPA 2008) und verfügen über eine Gliederungstiefe von 73 Produktionsbereichen (vgl. Tabelle 2-8).

Die neue Klassifikation erlaubt insbesondere eine deutlich differenziertere Darstellung und Analyse der Dienstleistungsbereiche. Gegenüber der letzten Studie zur Beschäftigung im Bereich erneuerbaren Energien (Lehr et al. 2011), die noch auf der nunmehr veralteten WZ 2003 bzw. CPA 2003 beruhte, ergibt sich damit ein Anpassungsbedarf. Insbesondere die Aufbereitung der Ergebnisse der Unternehmensbefragung für die Zwecke der Abbildung neuer Produktionsbereiche im Kontext der Input-Output-Analyse erfordert einige Anpassungen. So müssen die nach Technologiebereichen differenzierten detaillierten Listen der Komponenten und Bauteile, die als Vorleistungen die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien einfließen, auf die neue Güterklassifikation WZ 2008 umgeschlüsselt werden.

Auch die neue Klassifikation der Input-Output-Tabellen weist die Herstellung und auch Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien nicht als eigenständige Produktionsbereiche aus, so dass diese – wie in den Vorgängerstudien – als neue zusätzliche Produktionsbereiche einer aktuellen amtlichen Input-Output-Tabelle hinzugefügt werden. Als Basistabelle wird die Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes für das Berichtsjahr 2010 (StaBuA 2014) verwendet. Dies ist aktuellste derzeit verfügbare amtliche Input-Output-Tabelle für Deutschland.

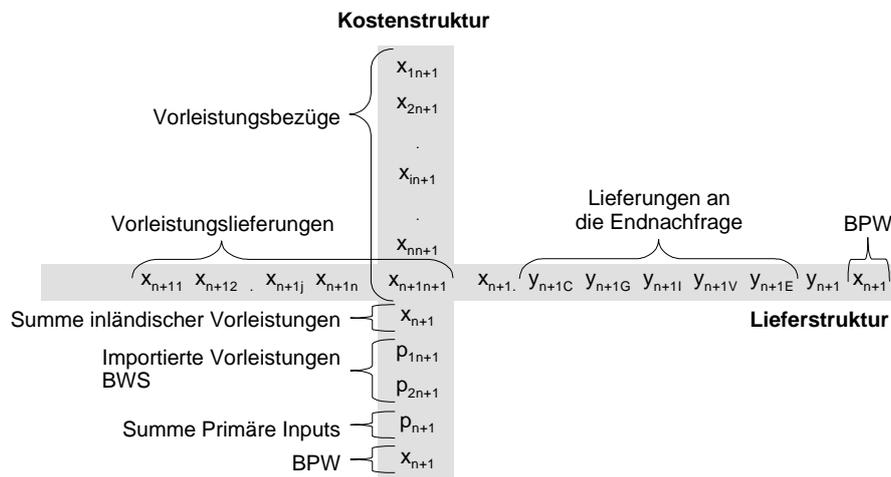
Diese methodische Vorgehensweise aus der Vorgängerstudie wurde beibehalten, weil sich insbesondere die Konsistenz der Abbildung der neuen Produktionsbereiche, die durch die Einbindung in den Definitionsrahmen einer Input-Output-Tabelle gegeben ist, bei den empirischen Analysen als vorteilhaft erwiesen hat. Dies unterstreicht auch eine international vergleichende Studie, die unterschiedliche methodische Vorgehensweisen zur Abschätzung der Beschäftigungswirkungen erneuerbarer Energien vergleicht und ausgewertet hat (IEA\_RET D). Die Generierung eines neuen, das bestehende Klassifikationsschema erweiternden Produktionsbereichs hat den Vorteil, dass es so möglich ist, zusätzliche empirische Informationen in ein bestehendes Analysegerüst einzubinden. Der Prozess der Einbindung eines neuen Produktionsbereichs erfordert eine Reihe von Abstimmungs- bzw. Berechnungsschritten, um den Bedingungen und Konzepten der Input-Output-Analyse gerecht zu werden. Eine Input-Output-Tabelle ist ein geschlossenes Rechenschema, in dem bestimmte Bilanzgleichungen erfüllt sein müssen. So muss für jeden der betrachteten Produktionsbereiche die

Summe der Gesamtinputs genau der Summe der Gesamtoutputs, dem sogenannten Bruttoproduktionswert des Sektors, entsprechen.

Die Struktur einer neuen Branche (z.B. der Branche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien) wird im Rahmen einer Input-Output-Tabelle auf der Kostenseite dadurch bestimmt, in welchem Umfang Vorleistungen von den übrigen inländischen Produktionsbereichen und aus dem Ausland in Anspruch genommen werden und in welchem Umfang in der Branche eigene Wertschöpfung generiert wird. Formal werden diese Informationen durch eine neue, zusätzliche Spalte in der Input-Output-Tabelle repräsentiert, welche die Input- bzw. Kostenstruktur des neuen Sektors widerspiegelt.

Abbildung 2-1

**Schematische Abbildung eines neuen Produktionsbereichs im Kontext einer Input-Output-Tabelle**



Quelle: Darstellung des DIW Berlin.

Die Lieferungen des neuen Produktionsbereichs werden in einer neuen, zusätzlichen Zeile abgebildet, die seine Output- bzw. Absatzstruktur beschreibt. In der Zeile wird verbucht, in welchem Umfang der neue Bereich Güter an die anderen Branchen der Volkswirtschaft bzw. an die Endnachfrage liefert. In der Endnachfrage werden die Güter verbucht, die entweder dem Privaten Verbrauch dienen oder als Investitionsgüter letzte Verwendung finden. Auch die Lieferungen ins Ausland (Exporte) werden in der Endnachfrage ausgewiesen. Der Fokus der Darstellung von Produktionsbereichen liegt darauf, die jeweiligen Produktionsprozesse in den einzelnen Branchen in ihrer güterwirtschaftlichen Verflechtung mit den übrigen Bran-

chen der Volkswirtschaft abzubilden. Es werden also bei der Hinzufügung eines neuen Produktionsbereichs in realwirtschaftlicher Betrachtungsweise die Güterströme zwischen den „traditionellen“ und den neu eingeführten Sektoren in der Volkswirtschaft dargestellt. Die Güterströme werden wertmäßig, also in Geldeinheiten, erfasst. Die mit den Güterströmen darüber hinaus verbundenen finanziellen Transaktionen stehen nicht im Mittelpunkt der Darstellung.

### **2.2.2 Input-Output-Vektoren für die Abbildung von Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

Bei den im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritten zur Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien werden elf Technologien (im Folgenden auch gelegentlich als Sparten bezeichnet) getrennt betrachtet:

- (1) Wind onshore,
- (2) Wind offshore,
- (3) Photovoltaik,
- (4) Solarthermie,
- (5) Wasserkraft,
- (6) Biomasse Heiz- und Kraftwerke (Biomasse groß),
- (7) Biomassekleinanlagen (Biomasse klein),
- (8) Biogas,
- (9) Geothermie tief,
- (10) Wärmepumpen.
- (11) Solarthermische Kraftwerke (CSP).

Eine detaillierte Unterscheidung nach Technologien ist notwendig, weil sich Produktionsprozesse und damit die Kostenstrukturen deutlich zwischen den einzelnen Technologien unterscheiden. So werden bei der Herstellung einer Windkraftanlage ganz andere Vorleistungen eingesetzt und betriebsinterne Fertigungstätigkeiten durchgeführt als zum Beispiel bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen oder bei der Herstellung von Biogasanlagen. Die Art und Struktur der Leistungen wie auch deren Umfang sich deutlich zwischen den Technologien unterscheiden. Obwohl selbst bei dieser tiefen Disaggregation innerhalb der einzelnen Technologiebereiche noch Unterschiede in den abzubildenden Produktionsprozessen und Kostenstrukturen bestehen können, weisen diese doch eine deutlich höhere Homogenität

auf als der Bereich erneuerbare Energien insgesamt. Für jede der betrachteten Technologien sind die ermittelten Kosten- und Absatzstrukturen als durchschnittliche, typische Strukturen des jeweiligen Produktionsbereichs zu sehen.

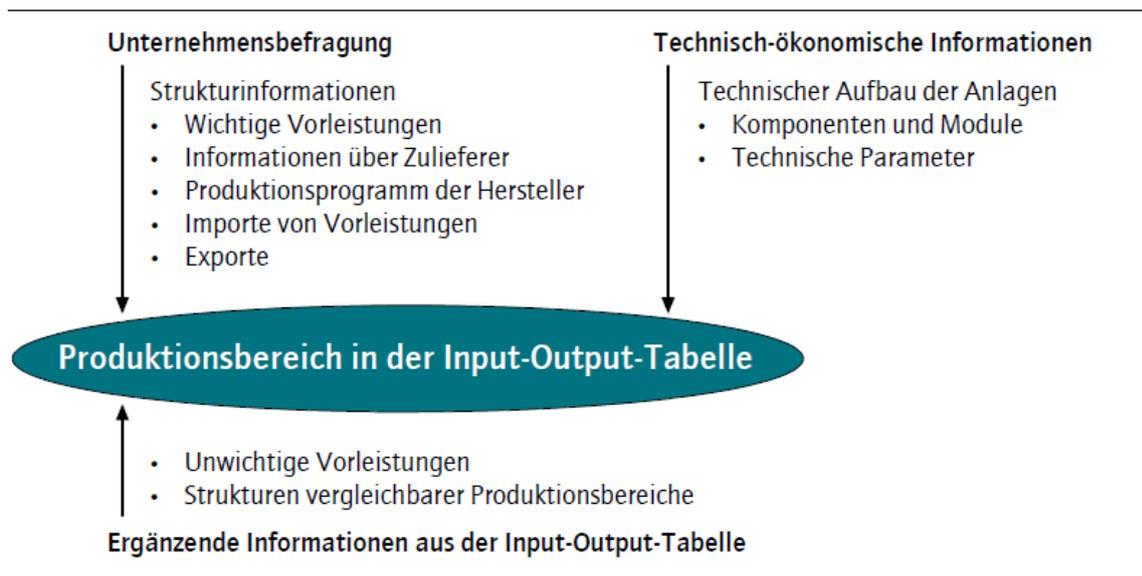
Am Ende des Abbildungsprozesses werden diese Einzeltechnologien durch Aggregation zusammengeführt und bilden die Grundlage für die Darstellung des Bereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

In diesem Untersuchungsschritt wurden für jede einzelne Technologie folgende wichtige Informationsquellen herangezogen:

- Ergebnisse der durchgeführten Unternehmensbefragung,
- technisch-ökonomische Informationen,
- ergänzende Informationen aus der vorliegenden amtlichen Input-Output-Rechnung.

Abbildung 2-2

**Abbildung des neuen Bereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Kontext der Input-Output-Rechnung.**



---

Quelle: Darstellung des DIW Berlin.

DIW Berlin

### Aufbereitung der der Ergebnisse der Unternehmensbefragung

Die in Abschnitt 2.1 beschriebene Befragung von Unternehmen aus dem Bereich erneuerbare Energien ist eine wesentliche Datenquelle für die Ableitung der notwendigen Strukturen zur Beschreibung des neuen Produktionsbereichs.

Bei der Konzipierung der Befragung und bei der Entwicklung der Erhebungsinstrumente wurde darauf geachtet, dass die benötigten Informationen in geeigneter Weise abgefragt wurden, in dem die verwendeten Erhebungsinstrumente dokumentiert sind). Insbesondere wurde für jede der betrachteten elf Technologien eine detaillierte Komponentenliste erarbeitet. Die Komponentenlisten sind so gegliedert, dass sie sich mit der entsprechenden Systematik der Produktionsbereiche der amtlichen Input-Output-Tabellen nach WZ 2008 verknüpfen lassen. Auf diese Weise lassen sich die in der Unternehmensbefragung erhobenen Informationen in geeigneter Weise auf Produktionsbereiche der Input-Output-Tabelle umschlüsseln. Für diesen Zweck wurde eine Schnittstelle für die Datenübergabe von Ergebnissen der Unternehmensbefragung für die Abbildung im Input-Output-Kontext definiert.

Ein erster, wichtiger Schritt der Auswertung bestand darin, die befragten Unternehmen auf Basis ihrer eigenen Angaben und weiterer Plausibilitätsprüfungen in die Teilgruppen Hersteller und Zulieferer einzuordnen. Tabelle 2-9 gibt einen Überblick über die Zahl und Struktur der befragten Unternehmen, die verwertbare Informationen bereitgestellt haben.

Tabelle 2-9

**Aufteilung der befragten Unternehmen in die Teilgruppen Hersteller und Zulieferer**

	Hersteller			Zulieferer und Händler	
	Anzahl		nachrichtlich: Marktabdeckung 2012 in %	Anzahl	
	2012	2007		2012	2007
Wind onshore	6	9	56	72	73
Wind offshore	0	2	28	43	24
Photovoltaik	19	23	56	171	133
Solarthermie	36	33	50	49	82
Wasser	8	9	21	15	21
Biomasse groß	6	11	11	7	34
Biomasse klein	16	11	22	23	44
Biogas	15	26	36	58	55
Geothermie, tief	0	1	19	6	11
Wärmepumpe	11	10	51	17	27
CSP	0	1	100	6	7
Summe	117	136	47	467	511

Quelle: Unternehmensbefragung, Zusammenstellung des DIW Berlin.

In der Befragung für das Jahr 2012 konnten insgesamt 117 Unternehmen mit verwertbaren Angaben als Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien identifiziert werden (bei der letzten Befragung für das Jahr 2007 waren es 136 Unternehmen). Betrachtet man die einzelnen Technologiebereiche, so haben für die Bereiche Wind offshore und Geothermie tief keine Hersteller verwertbare Antworten geliefert. Für Wind offshore konnten aber für wichtige Teilbereiche Ergebnisse aus dem Bereich Wind onshore übernommen werden. Die meisten Hersteller haben aus dem Bereich Solarthermie geantwortet, gefolgt von der Photovoltaik. Für den wichtigen Bereich Wind onshore konnten bei einer nur begrenzten Anzahl von Akteuren im Markt 6 Hersteller für die Teilnahme gewonnen werden, jedoch war die Auskunftsbereitschaft im Hinblick auf bezogene Vorleistungen sowie andere wichtige Strukturkennziffern begrenzt und spürbar geringerer als in der zuvor durchgeführten Befragung. Da in diesem Marktsegment weitgehend vollständige Informationen über die Unternehmensentwicklung der großen Anbieter vorliegen, konnten Ergebnisse der früheren Untersuchung mit aktualisierten Strukturen fortgeschrieben werden. Geringer als zuvor war auch die Zahl der Unternehmen mit verwertbaren Antworten für die Bereiche Biogas und große Biomasse. Insgesamt lieferte die Unternehmensbefragung für die Hersteller in den meisten Sparten ausreichende Informationen, zumal diese partiell durch Ergebnisse aus der zuvor durchgeführten Befragung ergänzt werden konnten.

Neben den Herstellern machten 467 Unternehmen, die im Wesentlichen als Zulieferer oder auch als Händler in den verschiedenen Teilmärkten der EE-Branche tätig sind, verwertbare Angaben. Besonders viele (171 Unternehmen) lassen sich dem Technologiebereich Photovoltaik zuordnen. Aber auch im Bereich Wind onshore (72 Unternehmen) und Biogas (58 Unternehmen) lieferten viele Zulieferunternehmen wichtige verwertbare Informationen. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, dass über die Struktur der aus dem Inland bezogenen Vorleistungen sowohl Informationen aus der Sicht der nachfragenden Hersteller wie auch aus Sicht der anbietenden Zulieferer vorhanden sind. Dies erlaubt eine Plausibilitätsprüfung und inhaltliche Abstimmung von verwendungs- und angebotsseitigen Informationen, die für eine Input-Output-orientierte Darstellung der gütermäßigen Verflechtung der Produktionsbereiche besonders wertvoll ist.

Die Aufbereitung der Ergebnisse dieser beiden wichtigen Teilgruppen der Unternehmensbefragung liefert somit wichtige Strukturinformationen, die die wesentliche Grundlage für die Abbildung des Bereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Kontext der Input-Output-Rechnung bilden. Insbesondere lassen sich folgende Informationen generieren:

- Angaben über wichtige Vorleistungsbezüge der Hersteller in tiefer sektoraler Gliederung (WZ 2008),
- Angaben über die Aufteilung der Vorleistungsbezüge nach Herkunft (Inland/Ausland),
- Detaillierte Angaben über das Produktionsprogramm der Hersteller in tiefer gütermäßiger Zusammensetzung,
- Informationen über die Exporte der Hersteller und der Zulieferer sowie
- Strukturinformationen über Umsätze der Zulieferer sowie über deren gütermäßige Zusammensetzung.

Als Kontrollgrößen für Plausibilitätsprüfungen wurde zusätzlich weitere abgeleitete Kennziffern berechnet, wie zum Beispiel die Vorleistungsquote (Anteil der Vorleistungsbezüge am Umsatz) bzw. die Wertschöpfungstiefe (Anteil der im Unternehmen bzw. in der Branche selbst erbrachten Wertschöpfung am Umsatz). Diese sowohl auf der Unternehmensebene wie auch auf der Ebene der jeweils abgebildeten Technologie zu berechnenden Kennziffern ermöglichen zum einen, auf der Unternehmensebene statistische Ausreißer in der Befragung zu identifizieren, deren Werte dann einer vertieften Überprüfung unterzogen werden können. Auf der Ebene der jeweiligen betrachteten Technologie erlauben die Kennziffern Rückschlüsse darüber, wie sich die einzelnen Technologien in das Gesamtbild der Branche einfügen.

#### Technisch-ökonomische Informationen

Die technisch-ökonomischen Informationen wurden – in Ergänzung zu den bereits vorhandenen Informationen aus der Vorläuferuntersuchung – auf der Grundlage der spezifische Expertise der beteiligten Forschungsinstitute sowie durch Auswertung der aktuellen Fachliteratur an neue technische und ökonomische Entwicklungen in den einzelnen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien angepasst. Diese aktualisierte Informationsbasis diente zum einen dazu, die in der Unternehmensbefragung eingesetzte, detaillierte Komponentenlisten über die technische Zusammensetzung der Anlagen zu aktualisieren. Zum anderen dienen diese technisch-ökonomische Informationen dazu, ingenieur-technische Parameter und ökonomische Parameter, zum Beispiel Kenngrößen über Kostenanteile in der Produktion, abzuleiten. Ein Hauptnutzen dieser Informationen besteht darin, die aus den Ergebnissen der Unternehmensbefragung abgeleiteten Informationen auf Unternehmensebene einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen.

Darüber hinaus dienen die Informationen auch dazu, bestehende Informationslücken, die sich aus fehlenden bzw. unzureichenden Angaben in der Unternehmensbefragung ergeben, zu schließen. Durch das Zusammenspiel von Befragungsergebnissen und Nutzung der ge-

sammelten technisch-ökonomischen Informationen ist eine besser in sich abgestimmte Abbildung des Produktionsprozesses zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien möglich. Da die Verwertbarkeit der Ergebnisse der Unternehmensbefragung je nach Technologiebereich unterschiedlich ist, wird in unterschiedlichem Umfang auf technisch-ökonomische Informationen auf Basis von Expertenwissen zurückgegriffen. Für einige Bereiche wie Wasserkraft oder Geothermie tief werden stärker diese Informationen genutzt, für die Mehrzahl der Technologiebereiche haben die Ergebnisse der Unternehmensbefragung eine größere Bedeutung.

#### Ergänzende Informationen aus der amtlichen Input-Output-Rechnung

Für die Abbildung des neuen Produktionsbereichs ist eine vollständige Darstellung der Kostenbestandteile des zu Grunde liegenden Produktionsprozesses notwendig. Nur so lassen sich die indirekten ökonomischen Effekte der Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in ihrem vollständigen Ausmaß ermitteln. Aus der telefonischen Unternehmensbefragung können mit geeigneten Erhebungsinstrumenten Daten über *wesentliche*, unmittelbar mit dem Produktionsprozess verbundene Kostenbestandteile erhoben werden. Dies setzt, wie im Abschnitt zur Unternehmensbefragung dargestellt, einen intensiven Kommunikationsprozess mit dem befragten Unternehmen voraus. Nicht möglich ist es jedoch, auf diesem Erhebungsweg für das Unternehmen eher unbedeutende Kostenelemente abzufragen, die im Unternehmen in der Regel dem Bereich der Gemeinkosten zuzurechnen sind. Dies gilt für die hier benötigten Informationen über Vorleistungen in Besonderem, da die Kostenelemente in tiefer gütermäßiger Gliederung benötigt werden.

Diese in der Unternehmensbefragung nicht unmittelbar erhebbaren Kostenbestandteile werden „synthetisch“ aus anderen Informationen ermittelt und mit den originär erhobenen Kostenelementen zusammengeführt. Für jede der elf betrachteten Technologien werden in der Regel mehrere Produktionsbereiche der vorliegenden amtlichen Input-Output-Tabelle identifiziert, die mit dem Produktionsprozess der abzubildenden Technologie aus Sicht der erzeugten Produkte und der angewandten Produktionsprozesse eine größere Ähnlichkeit aufweisen. Da über das Produktionsprogramm der jeweiligen Hersteller detaillierte Informationen sowohl aus der Unternehmensbefragung wie auch auf der Grundlage der technisch-ökonomische Informationen vorliegen, können die ähnlichen Branchen der Volkswirtschaft recht gut identifiziert werden.

In Tabelle 2-10 sind jene Produktionsbereiche zusammengestellt, die je nach betrachteter Technologie zur Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien herangezogen wurden.

Tabelle 2-10

**Als ähnliche identifizierte Produktionsbereiche zur synthetischen Ergänzung der Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

Laufende Nr. des Produktionsbereichs der Input-Output-Tabelle	Vergleichbare Position der WZ 2008	Bezeichnung des Produktionsbereichs
13	20	Chemische Erzeugnisse
16	23.1	Glas und Glaswaren
18	42.1-24.3	Roheisen, Stahl, Erzeugnisse der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl
21	25	Metallerzeugnisse
22	26.1-26.4	DV-Geräte, elektronische Bauelemente und Erzeugnisse für Telekommunikation und Unterhaltung
24	27	Elektrische Ausrüstungen
25	28	Maschinen
34	41	Hochbauarbeiten
35	42	Tiefbauarbeiten
36	43	Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbaurbeiten
55	71	Dienstleistungen von Architektur- u. Ingenieurbüros und durch technische, physikalische Untersuchungen

Quelle: Zusammenstellung des DIW Berlin.

Die Informationen über die „unwichtigen“ Kostenelemente der ähnlichen Produktionsbereiche werden dazu genutzt, die zuvor wie erläutert ermittelten Kostenstrukturen der Hersteller von Anlagen zur Erzeugung Erneuerbarer Energien zu ergänzen. Werden – was die Regel ist – für eine abzubildende neue Technologie mehrere Produktionsbereiche als geeignete Vergleichsbranchen identifiziert, werden deren Strukturen als gewichtete Durchschnitt herangezogen, um die bestehenden Kostenstrukturen zu ergänzen.

In der Summe ergibt sich eine vollständige Beschreibung der Verflechtung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien mit den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft. Diese erfüllt die Konsistenzbedingungen der Bilanzgleichungen der Input-Output-Analyse.

Einen schematischen Überblick über die je nach Technologiebereich herangezogenen Informationsquellen zur Schätzung der jeweiligen Kostenstrukturen gibt Tabelle 2-11.

Tabelle 2-11

**Tabellarische Darstellung der Nutzung der Informationsquellen zur Abbildung des Produktionsbereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

	Ergebnisse der Unternehmensbefragung	Technisch-ökonomische Informationen	Synthetische Ergänzungen aus I-O-Tabelle
Wind onshore	X	X	X
Wind offshore	(X) <sup>1)</sup>	X	X
Photovoltaik	X	X	X
Solarthermie	X	X	X
Wasserkraft	X	X	X
Biomasse groß	X	X	X
Biomasse klein	X	X	X
Biogas	X	X	X
Geothermie tief	.-	X	X
Wärmepumpe	X	X	X
CSP	.-	X	X

Legende:  
X Information in Schätzung eingeflossen  
(X) Information eingeschränkt eingeflossen  
.- keine verwertbaren Ergebnisse  
<sup>1)</sup> Ergebnisse für den Bereich Wind onshore dienten als Grundlage und wurden ergänzt

Quelle: Unternehmensbefragung, Zusammenstellung des DIW Berlin.

Auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Informationsquellen und Arbeitsschritte werden für jeden der elf Technologbereiche die jeweiligen Kostenstrukturen zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien geschätzt. In die Schätzung fließen die entsprechend den Konventionen der Input-Output-Rechnung aufbereiteten Ergebnisse der Unternehmensbefragung, die ergänzenden Informationen auf Basis von technisch-ökonomischem Expertenwissen sowie die durch Hinzufügung von unwichtigen Kostenelementen aus ähnlichen Produktionsbereichen synthetisch ermittelten Kostenbestandteile ein.

Tabelle 2-12 gibt einen Überblick über ausgewählte Kenngrößen der Kostenstruktur der einzelnen Technologien. Ausgewiesen sind der Anteil inländischer Vorleistungen am Bruttoproduktionswert (inländische Vorleistungsquote), der Anteil importierter Vorleistungen am Bruttoproduktionswert (ausländische Vorleistungsquote) sowie der Anteil der Bruttowertschöpfung am Bruttoproduktionswert (Bruttowertschöpfungsquote).

Zwischen den einzelnen Technologiebereichen ergeben sich für alle drei Kennziffern teilweise erhebliche Unterschiede, die die Unterschiede im jeweiligen Produktionsprozess widerspiegeln. Die inländische Vorleistungsquote bewegt sich überwiegend zwischen knapp 40% und 67%. Sie ist für die Photovoltaik am höchsten, während die Bereiche Wasser und Biomasse groß am unteren Rand liegen. Zu bedenken ist dabei, dass für jede Technologie bei der Abbildung des Produktionsbereichs als Produkt eine betriebsfertige Anlage zur Nutzung erneuerbarer Energien zu Grunde gelegt wird. Bei der Photovoltaik schlagen deshalb zum Beispiel angesichts der stark gesunkenen Modulpreise die Aufwendungen für die Installation, die als inländische Vorleistungen verbucht werden, besonders zu Buche.

Tabelle 2-12

**Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % im Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Jahr 2013**

	Anteile an der Bruttoproduktion in %			
	inländische Vorleistungen	importierte Vorleistungen	Bruttowertschöpfung	Bruttoproduktion
Wind onshore	45,3	24,4	30,3	100,0
Wind offshore	50,4	21,8	27,8	100,0
Photovoltaik	66,7	14,4	18,9	100,0
Solarthermie	51,7	17,6	30,7	100,0
Wasser	38,7	29,3	32,0	100,0
Biomasse groß	39,0	16,8	44,2	100,0
Biomasse klein	54,6	16,1	29,2	100,0
Biogas	47,5	14,2	38,3	100,0
Geothermie, tief	51,1	11,1	37,7	100,0
Wärmepumpe	53,1	15,8	31,1	100,0
CSP	51,6	15,1	33,3	100,0

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Bei der Mehrzahl der Teilsparten bewegt sich die inländische Vorleistungsquote zwischen 50% und 60%, einer für Industriebereiche durchschnittlichen inländischen Vorleistungsquote. Für die Bereiche Wind onshore und Wasser ist die inländische Vorleistungsquote geringer, dafür werden aber in deutlich höherem Umfang importierte Vorleistungen eingesetzt. Dies ist ein Indikator, dass für diese Technologien stärker internationalisierte Produktions- und Lieferketten existieren als für andere, teilweise nicht so ausgereifte Technologien. Die

Bruttowertschöpfungstiefe der Sparten bewegt sich zwischen 28% (Wind offshore) und 38% (Biogas) und drückt damit das unterschiedliche Gewicht der Wertschöpfungselemente Lohnkosten, Kapitalkosten und Gewinne in den einzelnen Bereichen aus. Eine Sonderstellung nimmt hier der Bereich Photovoltaik ein, der eine deutlich geringere Bruttowertschöpfungsquote aufweist. Neben dem schon erläuterten hohen Gewicht der inländischen Vorleistungen am Bruttoproduktionswert ist hierfür vor allem die im Branchendurchschnitt sehr ungünstige Gewinnsituation im Jahr 2013 verantwortlich.

Zur Illustration sind für die Technologien Wind onshore und Photovoltaik die Anteile von inländischen Vorleistungen am Bruttoproduktionswert grafisch aufbereitet in Abbildung 2-3 dokumentiert. Für den Bereich Wind onshore sind inländische Vorleistungen aus den Produktionsbereichen Elektrische Ausrüstungen, Metallserzeugnisse und Bautätigkeiten als Vorleistungen besonders bedeutend. Von den Produktionsaktivitäten der Branche Wind onshore profitiert ein relativ breites Spektrum von Zulieferbranchen. Für den Bereich Photovoltaik sind die inländischen Vorleistungen deutlich stärker auf wenige inländische Zulieferbranchen konzentriert. Herausragende Bedeutung hat der Produktionsbereich Elektrische Ausrüstungen, aus dem zum Beispiel Wechselrichter zugeliefert werden. In sehr großem Umfang profitiert auch der Bereich Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbaurbeiten, von dem die Installationsleistungen ganz überwiegend erbracht werden. Als nächstes folgen die Produktionsbereiche Metallserzeugnisse und Dienstleistungen von Architektur- u. Ingenieurbüros und durch technische, physikalische Untersuchungen, deren Gewicht aber schon deutlich geringer ist. Die Gesamtstruktur der Branche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien ergibt sich durch Aggregation aus den betrachteten elf Technologiebereichen. Zur Gewichtung der einzelnen Technologien werden die jeweils im Inland wirksamen Nachfragevolumina der Teilbranchen im jeweiligen Berichtsjahr herangezogen (vgl. Abschnitt 2.5).

Auf Basis der dort dargestellten Schätzung ergeben sich die in Tabelle 2-13 ausgewiesenen inländischen Produktionsvolumina und die daraus errechneten Gewichtungsfaktoren. Die Ergebnisse für das Jahr 2013 unterstreichen noch einmal die Bedeutung der beiden Sparten Windenergie onshore und Photovoltaik für den Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien insgesamt.

Abbildung 2-3

**Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Wind onshore und Photovoltaik**



Quelle: Schätzungen des DIW Berlin.

DIW Berlin

Tabelle 2-13

**Gewicht der einzelnen Sparten an Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien insgesamt im Jahr 2013**

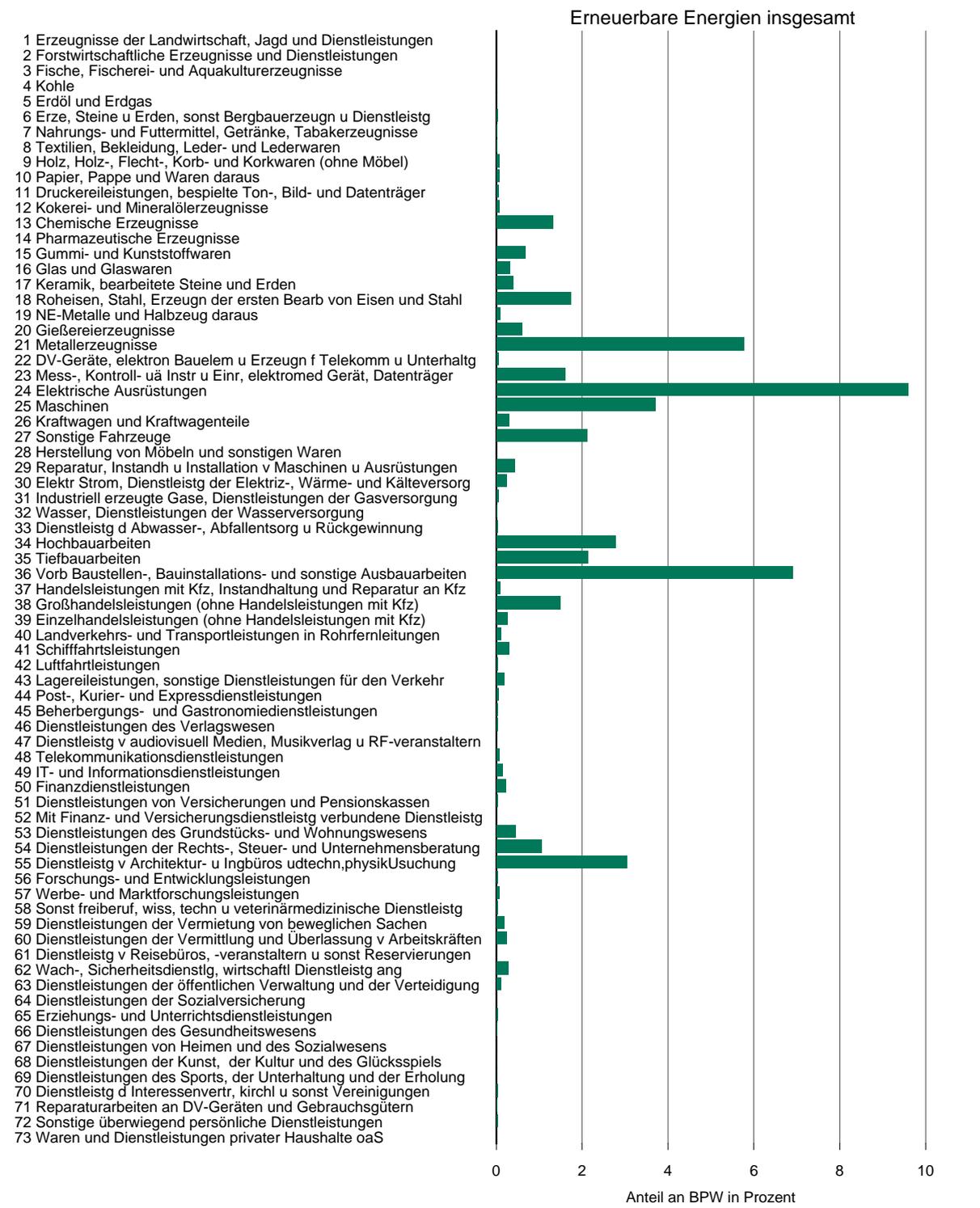
	inländische Produktion in Mio. Euro	Anteil der inländischen Produktion einzelner Sparten an Herstellung von EE-Anlagen insgesamt in%
Wind onshore	8.512	43,5
Wind offshore	1.681	8,6
Photovoltaik	3.458	17,7
Solarthermie	869	4,4
Wasser	619	3,2
Biomasse groß	528	2,7
Biomasse klein	867	4,4
Biogas	1.638	8,4
Geothermie, tief	119	0,6
Wärmepumpe	1.205	6,2
CSP	78	0,4
Summe	19.574	100,0

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Mit dieser Gewichtung ergibt sich für das Jahr 2013 eine Kostenstruktur des Bereichs Herstellung von Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien insgesamt, die einen Anteil der inländischen Vorleistungen am Bruttoproduktionswert von 49,9% aufweist. Die Anteile der zuliefernden inländischen Produktionsbereiche sind in Abbildung 2-4 grafisch dargestellt. Die Branchen, die insgesamt die größten Zulieferungen an den Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien insgesamt leisten sind die Bereiche Elektrische Ausrüstungen (9,6% der Bruttoproduktion), Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten (6,9%) und Metallerzeugnisse (5,8%). Von den Dienstleistungsbereichen profitiert der Bereich Dienstleistungen von Architektur- u. Ingenieurbüros und durch technische, physikalische Untersuchungen mit rund 3% am kräftigsten.

Abbildung 2-4

**Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Erneuerbare Energien insgesamt**



Quelle: Schätzungen des DIW Berlin.

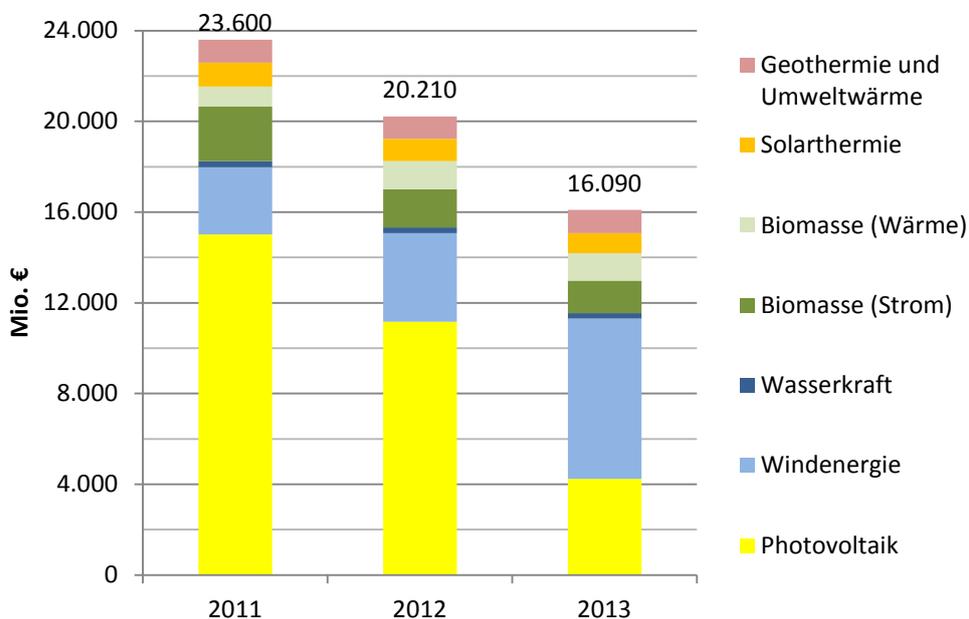
DIW Berlin

## 2.3 Die Datengrundlage – Teil 2: Investitionen

Die Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland bilden den Ausgangspunkt der Ermittlung der Umsätze mit Anlagen und Komponenten der in Deutschland produzierenden Hersteller (vgl. Kapitel 2.5.). Nach Datenstand Mai 2014 wurden im Jahr 2013 rund 16,1 Mrd. Euro in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland investiert. Im Jahr 2011 waren es noch 23,6 Mrd. Euro und im Jahr 2012 20,2 Mrd. Euro gewesen.

Abbildung 2-5

**Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

Abbildung 2-5 und Tabelle 2-14 illustrieren, dass die Veränderungen der Gesamtinvestitionen vor allem auf die Entwicklung in den Bereichen Photovoltaik und Windenergie zurückgehen. Während die Investitionen in Photovoltaikanlagen bis 2012 die Gesamtinvestitionen dominierten, sank ihr Anteil von 64 % 2011, auf 55 % 2012 und auf nur noch gut 26 % 2013. Investitionsstärkste Sparte war 2013 die Windenergie, die vor allem dank der starken Zuwächse im Offshore-Bereich einen Anteil von 44 % (nach 13 % 2011 und 19 % im Jahr 2012) an den gesamten Investitionen erreichte. Zu den im Vergleich zu 2011 und 2012 rückläufigen Gesamtinvestitionen trugen auch sinkende Zubauzahlen bei Biomasseanlagen zur Stromerzeugung sowie der sinkende Zubau von Solarthermieanlagen bei. Investitionen in Anlagen zur Nutzung von Geothermie und Umweltwärme sowie von Wasserkraft blieben im Ver-

gleich zu den Vorjahren weitgehend unverändert. Anlagen zur Nutzung von Wärme aus Biomasse konnten von 2011 auf 2012 zulegen und veränderten sich 2013 kaum.

Tabelle 2-14

**Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland**

Investitionen in Mio. €	2011	2012	2013
Photovoltaik	15.010	11.170	4.240
Windenergie	2.970	3.900	7.060
Wasserkraft	270	250	250
Biomasse (Strom)	2.400	1.690	1.430
Biomasse (Wärme)	880	1.230	1.210
Solarthermie	1.060	990	880
Geothermie und Umweltwärme	1.010	980	1.020
Summe	23.600	20.210	16.090

Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

Die in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien getätigten Investitionen werden auf Basis der im Betrachtungsjahr installierten Leistung bzw. Anlagenzahl ermittelt. Dabei handelt es sich jeweils um Bruttowerte, d.h. etwaige stillgelegte bzw. ersetzte Anlagen (-leistungen) werden nicht abgezogen. Mit Hilfe spezifischer Investitionskosten in Euro/kW bzw. Euro/Anlage werden daraus die gesamten Investitionen je Sparte im Betrachtungsjahr berechnet. Als Investitionszeitpunkt gilt dabei in der Regel der Zeitpunkt der Fertigstellung einer Anlage. Im Fall von großen Projekten, deren Realisierung sich über mehrere Jahre erstreckt, ergibt sich dabei ein Bilanzierungsproblem: Werden die Anlageninvestitionen zum Zeitpunkt der Fertigstellung bilanziert, so ergeben sich möglicherweise erhebliche Sprünge zwischen den Jahren, die nicht unbedingt dem tatsächlichen Mittelabfluss entsprechen. Dies ist bei der Interpretation der hier präsentierten Investitionssummen zu berücksichtigen.

In den nachfolgenden Abschnitten wird das zu Grunde liegende Mengengerüst und Preisgerüst dargestellt und die Entwicklung der einzelnen Sparten erläutert. Grundlage für das Mengengerüst sind die von der AGEE-Stat (vgl. BMWi 2014) verwendeten Daten, auf die Basis des Preisgerüsts wird im jeweiligen Abschnitt verwiesen.

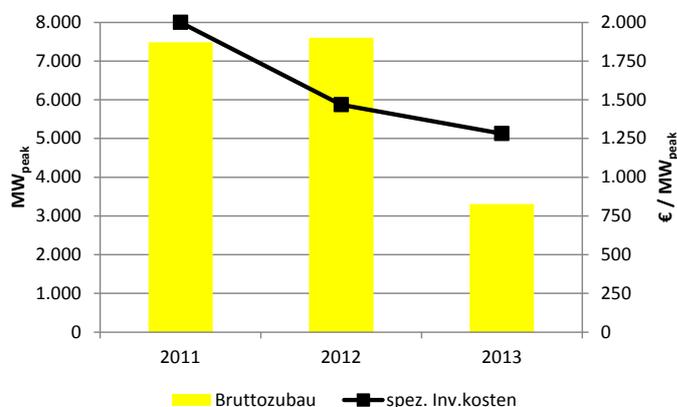
**2.3.1 Photovoltaik**

Wichtigster einzelner Einflussfaktor für den in Abbildung 2-6 zu beobachtenden Rückgang der Investitionen ist die Entwicklung der Photovoltaik. Während in den Jahren von 2004 bis

2010 ein starker Ausbau im PV-Bereich erfolgt war, gingen die Investitionen nach 2010 erheblich zurück. In den Jahren 2011 und 2012 ging der Rückgang überwiegend auf den beträchtlichen Preisverfall der Photovoltaikanlagen zurück, wohingegen sich 2013 bei nur noch moderat sinkenden Preisen der durch die Änderungen des EEG ausgelöste stark rückläufige PV-Zubau auswirkte (vgl. Abbildung 2-6). Die ausgewiesenen spezifischen Preise stellen das gewichtete Mittel der zugebauten Anlagengrößen dar und basieren auf Kelm et al. (2014) sowie BSW Solar (2014).

Abbildung 2-6

### Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Photovoltaikanlagen in Deutschland



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

### 2.3.2 Windenergie

In den Jahren 2011 bis 2013 wiesen die Investitionen im Bereich der Windenergie ein deutliches Wachstum auf.

Dies gilt für den Bereich der Windkraftanlagen an Land, insbesondere aber für die Windkraftanlagen auf See. Abbildung 2-7 zeigt die an Land zugebaute Leistung von Windkraftanlagen, die im Jahr 2013 den höchsten Wert seit 2002 erreichte. Die mittlere Anlagenleistung nahm im betrachteten Zeitraum stetig zu. Die spezifischen Investitionskosten variieren in Abhängigkeit von der Anlagenleistung und Nabenhöhe beträchtlich.

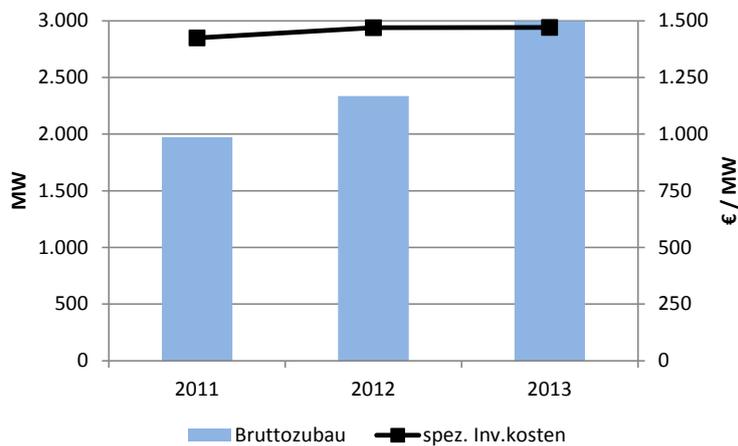
Im Mittel stiegen die auf Basis von Falkenberg et al. (2014) und Deutsche Windguard (2013) ermittelten spezifischen Kosten vom Jahr 2011 zum Jahr 2012 etwas an und blieben 2013 weitgehend unverändert.

Abbildung 2-8 illustriert die starke Zunahme der neu installierten Windkraftanlagen auf See. Zusammen mit den als weitgehend stabil angenommenen, auf Grundlage von Falkenberg et

al. (2014) ermittelten spezifischen Investitionskosten ergibt sich ein starkes Wachstum der Investitionssumme.

Abbildung 2-7

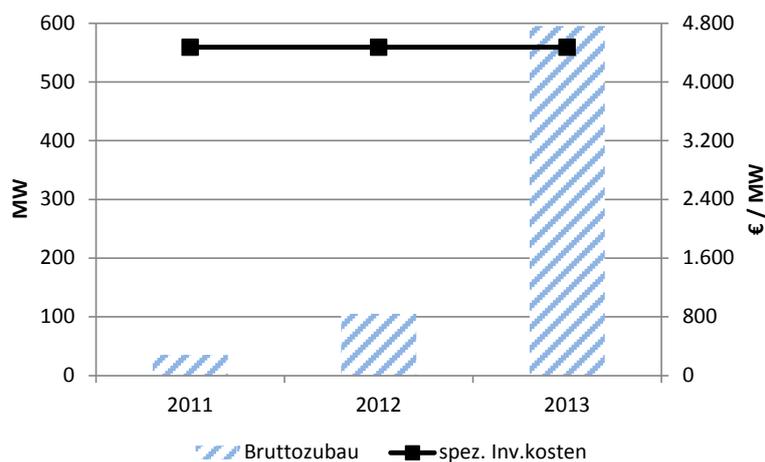
**Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Windkraftanlagen an Land in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

Abbildung 2-8

**Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Windkraftanlagen auf See in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

**2.3.3 Wasserkraft**

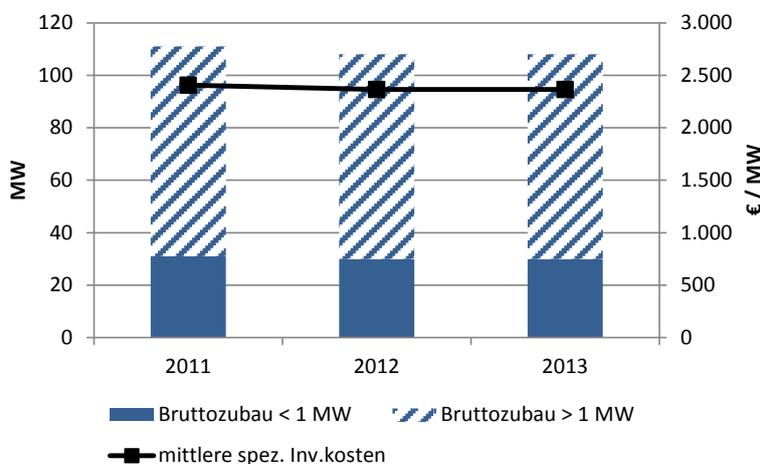
Abbildung 2-9 präsentiert den Leistungszubau im Bereich der Wasserkraftanlagen, differenziert nach Anlagen kleiner und größer 1 MW Leistung. Da die Nutzung der Wasserkraft in

Deutschland eine lange Tradition hat und der größte Teil der wirtschaftlich nutzbaren Potenziale bereits erschlossen ist, entfällt ein erheblicher Teil des Bruttozubaues auf die Modernisierung bestehender Anlagen.

Die spezifischen Investitionskosten basieren auf der Auswertung leistungsspezifischer Kostendaten für Neubau und Modernisierung nach Dumont et al. (2011) unter Verwendung von Anlagendaten der Bundesnetzagentur.

Abbildung 2-9

**Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Wasserkraftanlagen in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

**2.3.4 Biomasse - Strom**

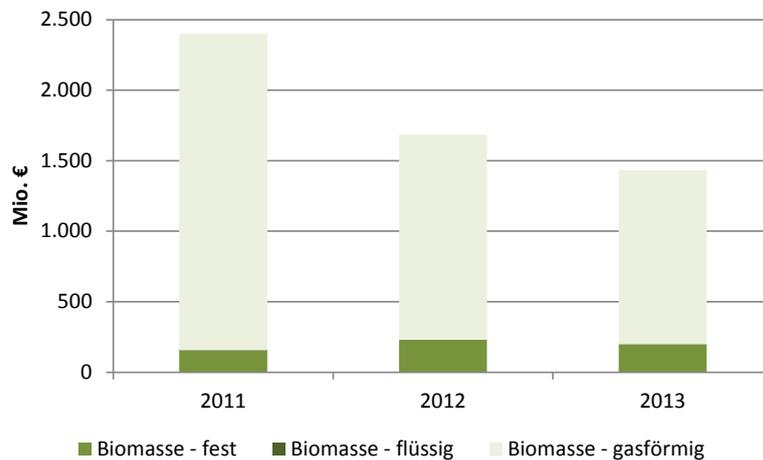
Die Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse lassen sich nach dem eingesetzten Brennstoff (fest, flüssig, gasförmig) unterscheiden: Kraftwerke und Heizkraftwerke zur Verbrennung fester Biomasse (insbesondere Altholz und Industrierestholz), Anlagen zur Verbrennung flüssiger Biomasse (in der Regel mit Pflanzenöl betriebene BHKW) sowie Anlagen zur Nutzung gasförmiger Biomasse – hierzu zählen Biogasanlagen zur vor-Ort-Verstromung, Biomethan-BHKW, Anlagen zur Nutzung von Klär- und Deponiegas sowie Anlagen zur Aufbereitung von Biogas zur Einspeisung in das Erdgasnetz.

Abbildung 2-10 zeigt die ermittelten Investitionen nach Brennstoff. Auf Grund hoher Pflanzenölpreise und somit nicht zu erreichender Wirtschaftlichkeit von Pflanzenöl-BHKW wurden in den betrachteten Jahren keine solchen Anlagen zugebaut. Das Geschehen im Bereich der Stromerzeugung aus Biomasse wird dominiert von den Aktivitäten im Bereich der Biogasan-

lagen, welcher in Folge geänderter EEG-Vergütungen im betrachteten Zeitraum einen erheblichen Rückgang des Zubaus zu verzeichnen hatte.

Abbildung 2-10

#### Entwicklung der Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland



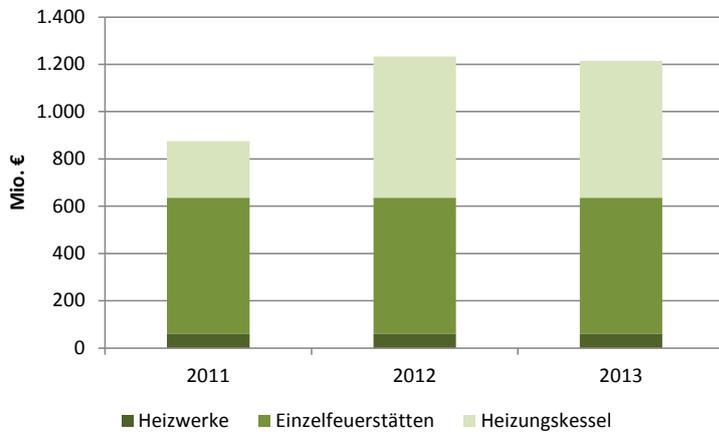
Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

#### 2.3.5 Biomasse - Wärme

Der Bereich der Anlagen zur Wärmeerzeugung aus Biomasse umfasst drei Segmente: Einzelfeuerstätten (Kachelöfen, Heizkamine und Kaminöfen), Heizungskessel zur Nutzung von Holzpellets, Hackschnitzeln sowie Scheitholz, sowie Heizwerke. Wie Abbildung 2-11 zeigt, haben sich der Zubau und die damit verbundenen Investitionen in Heizwerke und Einzelfeuerstätten im Verlauf der betrachteten Jahre kaum verändert. Demgegenüber wuchsen die Zahl der installierten Biomasseheizungskessel und die dadurch ausgelösten Investitionen von 2011 auf 2012 um das Zweieinhalbfache und verblieb auch 2013 annähernd auf dem erreichten höheren Niveau.

Abbildung 2-11

**Entwicklung der Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland**



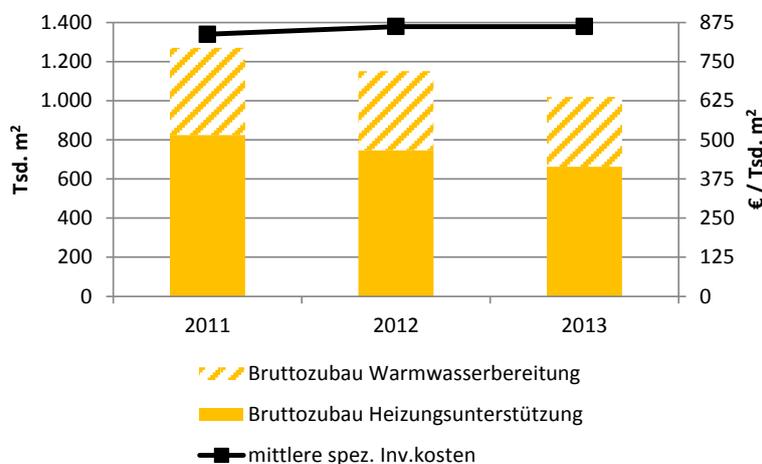
Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

**2.3.6 Solarthermie**

Wie Abbildung 2-12 zeigt, ging im Betrachtungszeitraum die jährlich zugebaute Fläche an Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung bzw. zur Warmwasserbereitung im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr um 9 % bzw. 11 % zurück. Demgegenüber verzeichneten die auf Basis von Auswertungen des Marktanzreizprogrammes (u.a. Langniß et al. 2012) ermittelten spezifischen Investitionskosten nur einen leichten Anstieg, was in Kombination mit den Zubauzahlen zu einem leichten Rückgang der Investitionssumme führte.

Abbildung 2-12

**Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Solarthermie in Deutschland**



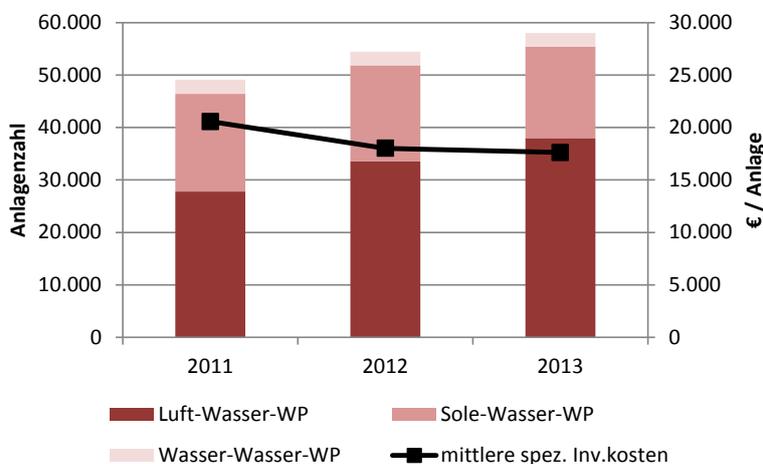
Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

### 2.3.7 Geothermie und Umweltwärme

Beim Bau von Anlagen zur Nutzung tiefer Geothermie handelt es sich in der Regel um Projekte, die sich über mehrere Jahre erstrecken. Um starke Schwankungen in den jährlich ausgewiesenen Investitionssummen zu vermeiden, wurden für die tiefen Geothermieprojekte (vgl. Projektliste tiefe Geothermieprojekte des GtV) die Investitionskosten auf die jeweilige Bauzeit verteilt. Die erforderlichen Daten wurden über eine Internetrecherche ermittelt. Für das Jahr 2011 resultierten danach Investitionen von rd. 84 Mio. Euro, für die Jahre 2012 und 2013 beliefen sich die Investitionen auf 102 bzw. 110 Mio. Euro.

Die Investitionen im Bereich Umweltwärme ergeben sich aus der Zahl der im jeweiligen Jahr installierten Wärmepumpen, die mit spezifischen Investitionskosten je Anlage auf Basis der Auswertung des Marktanreizprogramms bewertet werden. Abbildung 2-13 zeigt die im betrachteten Zeitraum zunehmende Gesamtzahl installierter Wärmepumpen. Dieses Wachstum geht auf das Segment Luft-Wasser-Wärmepumpen zurück, während der Anlagenzubau bei den Luft-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen leicht rückläufig war.

**Abbildung 2-13**  
**Entwicklung von Bruttozubau und spezifischen Investitionskosten im Bereich Wärmepumpen in Deutschland**



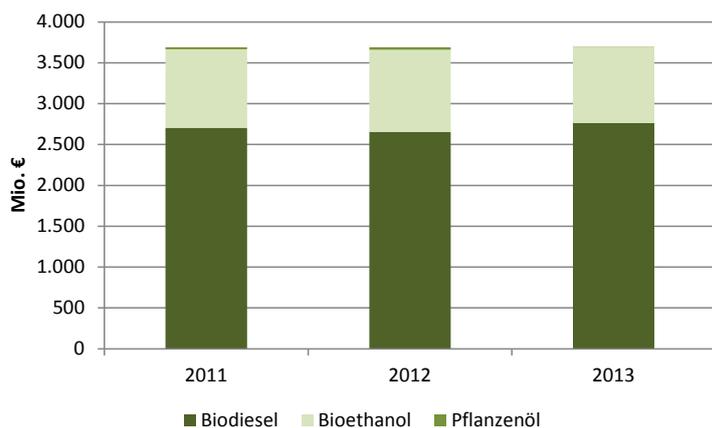
Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

### 2.3.8 Bereitstellung von Kraftstoffen und Brennstoffen aus Biomasse

Im folgenden Abschnitt werden die Kosten für die Bereitstellung von Kraftstoffen und Brennstoffen aus Biomasse dargestellt. Die Kosten für Biokraftstoffe werden auf Basis von Jahresdurchschnittspreisen für die jeweilige Kraftstoffart nach FNR (2014) ermittelt, wobei unterschiedliche Kraftstoffarten und Vertriebswege berücksichtigt werden. Für den Absatz von

Biodiesel ist beispielsweise zwischen Beimischung zu Mineralöldiesel sowie dem Absatz als Reinkraftstoff zu unterscheiden. Wie Abbildung 2-14 zeigt, entfällt der größte Teil der Kosten auf Biodiesel, gefolgt von Bioethanol. Pflanzenöl spielt im Gegensatz zu früheren Jahren im Verkehr kaum noch eine Rolle.

Abbildung 2-14

**Entwicklung der Kosten für Biokraftstoffe in Deutschland**

Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

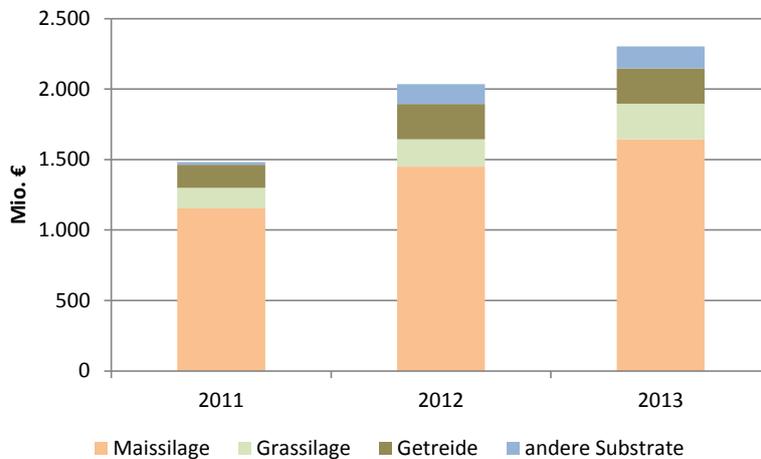
Hauptbestandteile der in Abbildung 2-15 dargestellten kostenrelevanten Substrate für die Biogasproduktion sind Maissilage, Grassilage sowie Getreide-Ganzpflanzensilage und Mindergetreide. Zu den „anderen Substraten“ gehören u.a. Landschaftspflegematerial, Zuckerrübe und Zwischenfrucht. Die spezifischen Kosten für die verschiedenen Substrate basieren auf Angaben der FNR (2014) und des DBFZ. In den Jahren 2011 bis 2013 stiegen mit dem Substrateinsatz auch die Substratkosten entsprechend der wachsenden Stromerzeugung aus Biogas an.

Flüssige Brennstoffe für die stationäre Nutzung wie Palmöl, Rapsöl sowie sonstige Pflanzenöle spielen verglichen mit den anderen Biomassebrennstoffen in den Jahren 2011 bis 2013 nur noch eine untergeordnete Rolle. Die auf Grundlage von Pflanzenölpreisen nach FNR (2014) ermittelten Brennstoffkosten belaufen sich auf rd. 70 Mio. € 2011, 58 Mio. € 2012 und 84 Mio. € 2013.

Zu den umsatzrelevanten festen Biomassebrennstoffen gehören vor allem Altholz, Wald- und Industrierestholz, Holzpellets, Holzhackschnitzel, Holzbriketts sowie der kommerziell gehandelte Teil des Brennholzes. Abbildung 2-16 zeigt die auf Basis von Mantau (2013) ermittelten Kosten für feste Biomassebrennstoffe – getrennt nach Stromerzeugung und Wärmebereitstellung.

Abbildung 2-15

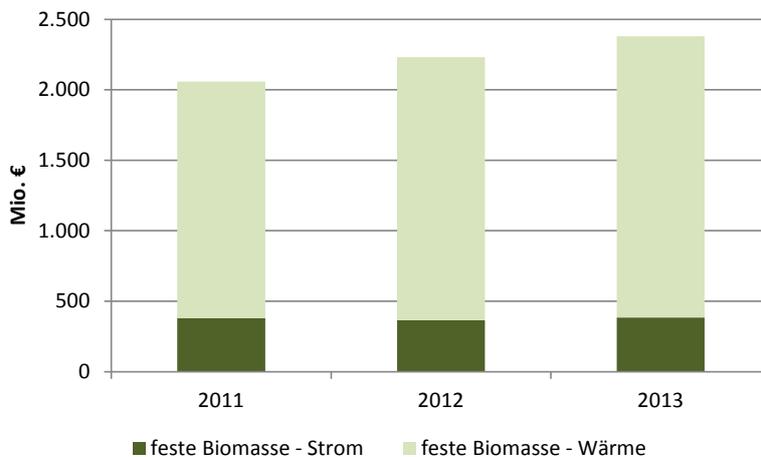
**Entwicklung der Substratkosten für Biogasanlagen in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

Abbildung 2-16

**Entwicklung der Brennstoffkosten für feste Biomasse in Deutschland**



Quelle: Eigene Berechnungen der AGEE Stat.

**2.4 Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien – Datengrundlage und methodisches Vorgehen**

Im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland sind in großem Umfang Investitionen für neue Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien getätigt worden. Bei der Untersuchung der wirtschaftlichen Effekte dieses Ausbaus war es deshalb sinnvoll, ein besonderes Augenmerk auf die sorgfältige und detailreiche Abbildung und Untersuchung der

Herstellung von EE-Anlagen zu richten (vgl. Abschnitt 2.2). In den letzten Jahren ist der Bestand von EE-Anlagen in Deutschland stetig und dynamisch angewachsen, dabei wurden neue Anlagen aus deutscher Produktion und aus ausländischer Produktion installiert. Zu einem geringen Teil fand auch ein Austausch von älteren durch neue Anlagen statt (Repowering).

Durch den wachsenden Bestand an Anlagen gewinnen die wirtschaftlichen Aktivitäten im Zusammenhang mit Betrieb sowie Wartung und Instandsetzung zunehmend an Bedeutung. Während die wirtschaftlichen Effekte der Herstellung von EE-Anlagen nur einmal im Jahr der Produktion anfallen, entfalten der Betrieb und die Wartung von installierten Anlagen jährliche Effekte über die gesamte Lebensdauer der Anlage. Darüber hinaus sind Betrieb und Wartung nahezu immer mit lokaler Wertschöpfung verbunden, da sie zu einem erheblichen Teil als Dienstleistungen vor Ort erbracht werden müssen. Zuletzt entfiel rund ein Fünftel der gesamten Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien auf Betrieb und Wartung. Wegen der sich ändernden Relationen zwischen Neuinstallationen und Bestand ist davon auszugehen, dass die relative Bedeutung von Betrieb und Wartung in Zukunft spürbar steigen wird.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen ist es sinnvoll, die empirischen Grundlagen für die Abbildung des Produktionsbereichs „Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ gegenüber der Vorgängerstudie zu verbessern und auf eine breitere Datengrundlage zu stellen. Da sowohl die in diesem Markt agierenden Akteure (Hersteller, Betreiber, Projektierer, Handwerker) wie auch die durchgeführten Leistungen sehr heterogen sind, werden die Informationen für eine stärkere empirische Fundierung des Bereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien durch leitfadengestützte Tiefeninterviews gewonnen.

Für die Abbildung des Produktionsbereichs „Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ sind zwei methodisch unterschiedliche Arbeitsschritte zu leisten:

1. Schätzung von Input-Output-Vektoren (I-O-Vektor) differenziert nach Technologiebereichen aus Informationen der durchgeführten leitfadengestützte Tiefeninterviews bei Unternehmen sowie aus anderen Quellen (Literaturauswertung, technisch-ökonomische Informationen, ergänzende Informationen aus der amtlichen Input-Output-Rechnung);
2. Abschätzung der Höhe der Aufwendungen für Betrieb, Wartung und Instandhaltung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien differenziert nach Technologieberei-

chen aus Informationen der durchgeführten leitfadengestützte Tiefeninterviews sowie anderen vorliegenden Informationsquellen.

Bei den im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritten zur Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien werden folgende zehn Technologien (im Folgenden auch gelegentlich als Sparten bezeichnet) getrennt betrachtet:

- (1) Wind onshore,
- (2) Wind offshore,
- (3) Photovoltaik,
- (4) Solarthermie,
- (5) Wasserkraft,
- (6) Biomasse Heiz- und Kraftwerke (Biomasse groß),
- (7) Biomassekleinanlagen (Biomasse klein),
- (8) Biogas,
- (9) Geothermie tief und
- (10) Wärmepumpen.

Eine detaillierte Unterscheidung nach Technologien ist notwendig, weil sich sowohl die Art und Struktur der Leistungen wie auch deren Umfang sich deutlich zwischen den Technologien unterscheiden. Anlagen des Technologiebereichs Solarthermische Kraftwerke (CSP) werden in Deutschland nicht betrieben und fehlen deshalb bei der Darstellung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung.

#### **2.4.1 Durchführung und Aufbereitung der Unternehmensinterviews zu Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

Wie bereits erläutert wurde bei der Gewinnung von detaillierten Informationen zum Produktionsbereich Betrieb und Wartung leitfadengestützte Tiefeninterviews bei Unternehmen der Branche durchgeführt.

Als Grundlage für die Erhebung der Betriebs-, Wartungs- und Instandsetzungskosten beim Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt. Im ersten Teil des Gesprächsleitfadens werden allgemeine Angaben zum Unternehmen in Erfahrung gebracht. Es geht darum, das Unternehmen zu charakterisieren, um bei der

Auswertung eine Einordnung zu ermöglichen. Es werden sowohl allgemeine Strukturmerkmale, wie rechtlicher Status, Beschäftigtenzahl, Jahresumsatz und internationale Ausrichtung, als auch eine Einschätzung der Zukunftsperspektiven abgefragt. Im zweiten Teile des Gesprächsleitfadens werden die jeweiligen Geschäftsfelder und die Schwerpunkttechnologien des Unternehmens abgefragt. Als mögliche Geschäftsfelder werden

- Betrieb von EE-Anlagen,
- der Projektierung von EE-Anlagen,
- Herstellung von EE-Anlagen,
- Wartung und Reparatur von EE-Anlagen,
- sonstigen Dienstleistungen für die Instandhaltung und den Betrieb von EE-Anlagen sowie
- anderes Geschäftsfeld

vorgegeben. Ist das Unternehmen in verschiedenen Geschäftsfeldern tätig, wird der Unternehmensschwerpunkt ermittelt. Außerdem erfolgt die schwerpunktmäßige Zuordnung des Unternehmens zu einem der 10 vorgegeben Technologiebereiche.

Im dritten Teil, dem Hauptteil des Leitfadens, liegt der Fokus auf den Einschätzungen der befragten Unternehmen zum Betrieb sowie zur Wartung und Instandsetzung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Hier interessiert die Methode, die Unternehmen für die Kalkulation der Höhe der Aufwendungen für Betrieb, Wartung und Instandsetzung verwenden. Neben der Messgröße an sich wird im Rahmen von qualitativen Zusatzinformationen gegebenenfalls auch auf weitere Einflussfaktoren eingegangen. Daraufhin erfolgt eine Abschätzung der Kostenstruktur, vertiefend werden Details der Betriebs- und Wartungskosten angesprochen. An dieser Stelle interessiert auch welche Leistungen das Unternehmen durch eigene Mitarbeiter (eigene Wertschöpfung) erbringt und in welchem Umfang es Waren und Dienstleistungen von anderen inländischen Unternehmen und aus dem Ausland dazukaufte. Den Unternehmen wird in diesem Zusammenhang technologiespezifisch eine Liste von Waren und Dienstleistungen vorgelegt, die möglicherweise als Vorleistungen in den Prozess der Erbringung von Betrieb, Wartung und Instandhaltung einfließen. Diese Informationen sind nützlich, um die Vorleistungsverflechtung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Kontext der Input-Output-Rechnung abzubilden. Abschließend werden Einschätzungen über die Anzahl der benötigten Beschäftigten für die Planung und Durchführung von Projekten (einschließlich der Installation der Anlagen etc.) in Erfahrung gebracht. Vor allem jene Unternehmen, die als Projektierer und Hersteller arbeiten, können darüber Auskunft erteilen.

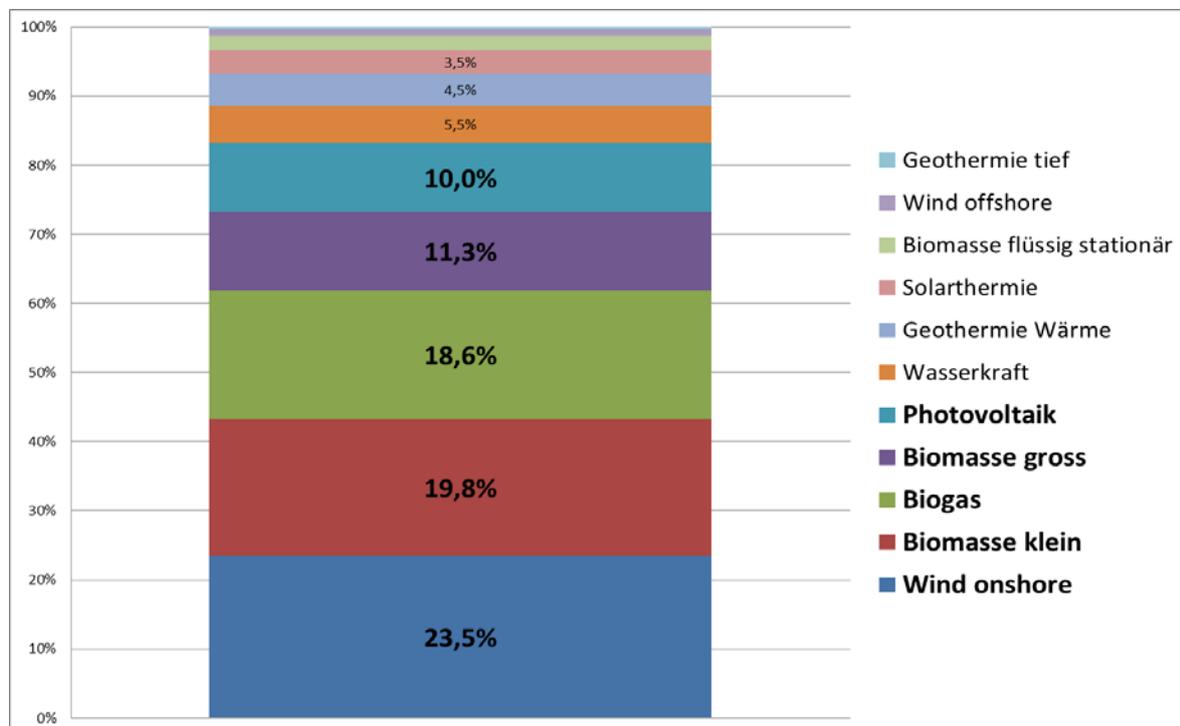
Der Gesprächsleitfaden wurde einem Pretest unterzogen und in einigen Aspekten auf Grund der dort gewonnenen Erfahrungen verbessert.

Es wurde eine umfangreiche Adressdatei von potentiell zu befragenden Unternehmen aufgebaut. Die Adressen wurden aus einschlägigen Verzeichnissen, durch die Auswertung von Fachzeitschriften (redaktioneller Teil und Anzeigenbereich), durch die Auswertung von Messerverzeichnissen sowie durch die Benennung von Branchenexperten gewonnen. Es wurde darauf geachtet, das breite Spektrum der Akteure (Hersteller, Betreiber, Projektierer, Handwerker) bei der Zusammenstellung der Adressen zu berücksichtigen.

Die Auswahl der Unternehmensinterviews erfolgte so, dass im Hinblick auf die Technologieschwerpunkte der Unternehmen die wichtigen Bereiche nach Möglichkeit ausreichend repräsentiert wurden. Gemessen an ihrem Beitrag zur Bruttobeschäftigung im Bereich Betrieb und Wartung sind insbesondere die Bereiche Wind onshore, Biomasse klein, Biogas, Biomasse groß sowie Photovoltaik von besonderer Bedeutung (vgl. Abbildung 2-17). Auf diese Bereiche entfielen im Jahr 2011 über 80% der Beschäftigung im Bereich Betrieb und Wartung.

Abbildung 2-17

**Beschäftigung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien – Anteile der Sparten an insgesamt in % im Jahr 2011**



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Unter diesen Vorgaben der Unternehmensauswahl wurden insgesamt 40 leitfadengestützte Tiefeninterviews durchgeführt. Wie Tabelle 2-15 zu entnehmen ist, wurden die meisten Interviews in den Sparten Wind onshore und Biogas durchgeführt, die beide auch zu den Bereichen gehören, die im Hinblick auf die Beschäftigung die größte Relevanz besitzen. Auch für die meisten anderen Technologiebereiche deckt sich der Anteil an den insgesamt durchgeführten Interviews recht genau mit ihrer Bedeutung im Hinblick auf die Beschäftigung. Für den Bereich Wind offshore liegen bisher nur begrenzte Erfahrungen vor, im Zuge des weiteren Ausbaus sollte hier die empirische Grundlage durch zusätzliche Informationen aktualisiert und verbessert werden. Der Bereich Biomasse klein ist deutlich unterrepräsentiert, weil für diese Anlagen nur schwierig geeignete und auskunftsbereite Ansprechpartner zu identifizieren waren. Für den Bereich Geothermie tief konnten keine erfolgreichen Interviews durchgeführt werden.

Tabelle 2-15

**Durchgeführte Unternehmensinterviews nach Technologiebereichen**

	Anzahl		Anteil der Technologiebereiche in %	
		davon Betreiber	Interviews	Beschäftigung 2011
Wind onshore	11	2	27,5	23,5
Biomasse klein	3	2	7,5	19,8
Biogas	10	4	25,0	18,6
Biomasse groß	3	3	7,5	11,3
Photovoltaik	4	3	10,0	10,0
Wasserkraft	4	3	10,0	5,5
Geothermie Wärme	2		5,0	4,5
Solarthermie	2		5,0	3,5
Wind offshore	1	1	2,5	0,9
Geothermie tief			0,0	0,3
Summe	40	18	100,0	100,0

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Zur Validierung der Ergebnisse der Unternehmensbefragung sind nach der Auswertung der durchgeführten Unternehmensinterviews Gespräche (in der Regel telefonisch) mit ausgewählten Branchenexperten geführt worden.

Insgesamt zeigte sich, dass die Unternehmen im Bereich Betrieb, Wartung und Instandsetzung eine große Vielfalt an Unternehmenstypen und Geschäftsmodellen aufweisen. Viele Unternehmen sind nicht nur in einem Geschäftsfeld tätig, sondern Projektierer sind oft auch als Betreiber oder als Anbieter von Serviceleistungen tätig. Auch technologieübergreifende Aktivitäten, allerdings in der Regel in technisch verwandten Bereichen, sind durchaus üblich. Besonders in der Windindustrie sind die Hersteller auch in großen Umfang als Anbieter von Service und Wartungsleistungen tätig, in den ersten Betriebsjahren neu installierter Anlagen ist dies die Regel, zumal es hier Überlappungen mit Garantieren und Gewährleistungen gibt.

Unternehmen, die in den wartungsintensiveren Technologiefeldern (wie Biogas und Wind) als Projektierer tätig sind, legen ihren Fokus zunehmend auch auf Service und Wartungsleistungen sowie auf Repowering-Maßnahmen. Es wurde auch die Einschätzung geäußert, bei einem in Zukunft erwarteten deutlichen Wachstum des Service und Wartungsmarktes strukturelle Verschiebungen bei den Anbieter (Kooperationen, Übernahmen) zu erwarten sind.

#### **2.4.2 Input-Output-Vektoren für die Abbildung von Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

Die konkrete Vorgehensweise bei der Abbildung des zusätzlichen Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Rahmen der Input-Output-Rechnung orientiert sich methodisch an der Vorgehensweise, die auch für den zusätzlichen Bereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien angewandt wurde. Als wesentliche Informationsgrundlage dienen die Ergebnisse der durchgeführten Unternehmensinterviews (vgl. Abschnitt 2.4.1) wohingegen beim Produktionsbereich Herstellung auf Ergebnisse einer telefonischen Unternehmensbefragung zurückgegriffen wurde. Ansonsten folgt die methodische Vorgehensweise den Grundlagen, zuvor die zuvor ausführlich im Abschnitt Methodische Grundlagen zur Abbildung eines neuen Sektors im Analyse-rahmen der Input-Output-Rechnung (Abschnitt 2.2) erläutert wurde.

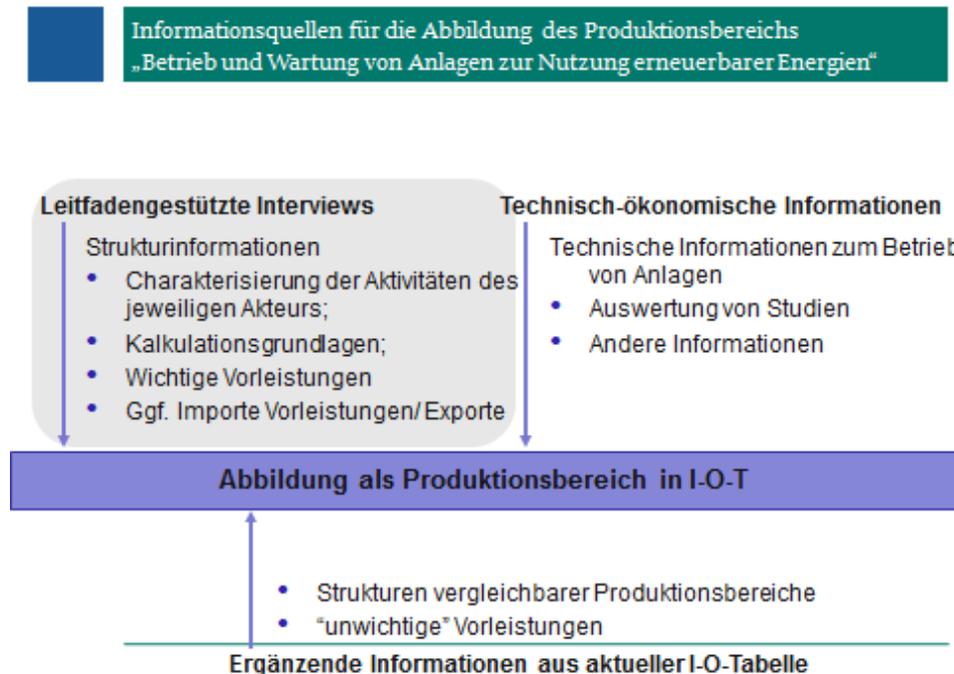
Als wichtige Informationsquellen werden für die Abbildung des Produktionsbereichs Wartung und Betrieb somit herangezogen:

- Ergebnisse der durchgeführten leitfadengestützten Unternehmensinterviews,
- technisch-ökonomische Informationen,
- ergänzende Informationen aus der amtlichen Input-Output-Rechnung.

Abbildung 2-18 stellt die durchzuführenden Arbeitsschritte und die verwendeten Informationsquellen schematisch dar.

Abbildung 2-18

**Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Kontext der Input-Output-Rechnung**



Quelle: Darstellung des DIW Berlin.

**2.4.2.1 Auswertung der Ergebnisse der leitfadengestützten Unternehmensinterviews**

Neben wichtigen Informationen zur Charakterisierung der Organisation und der Geschäftsfelder der befragten Unternehmen lassen sich aus den Ergebnissen wichtige Informationen über die bezogenen Vorleistungen von inländischen Zulieferern und von Vorleistungsimporten gewinnen. Obwohl nicht alle befragten Unternehmen verwertbare oder vollständige Angaben zu ihren Vorleistungen machen konnten, brachten die Unternehmensinterviews für die „wichtigen“ Technologiebereiche (Wind onshore, Biogas, PV, Biomasse groß, Wasser) verwertbare Ergebnisse und eingeschränkt verwertbare Ergebnisse für die Bereiche Wind offshore, Solarthermie und Biomasse klein. Für die Bereiche Wärmepumpen und Geothermie tief konnten keine verwertbaren Detailinformationen zu Vorleistungen gewonnen werden.

Tabelle 2-16

**Als Vorleistungen bezogene Komponenten und Dienstleistungen im Produktionsbereich Betrieb und Wartung**

Wind onshore	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schmierstoffe, Farben</li> <li>Kleinteile für Reparatur und Wartung</li> <li>Reparatur, Regelmäßige Überprüfung</li> <li>Austausch Rotorblatt</li> <li>Austausch andere Komponenten</li> <li>Strom</li> <li>Transport- und Kranleistungen</li> <li>Versicherungen</li> <li>Pacht</li> <li>Verwaltung und sonstige Dienstleistungen</li> <li>Externe Gutachten</li> <li>Vermarktung</li> </ul>
Photovoltaik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinteile für Reparatur und Wartung</li> <li>Turnusmäßige Inspektion</li> <li>Strom</li> <li>Versicherungen</li> <li>Pacht</li> <li>Verwaltung und sonstige Dienstleistungen</li> <li>Externe Gutachten</li> <li>Vermarktung</li> <li>Modulreinigung</li> </ul>
Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinteile für Reparatur und Wartung</li> <li>Generator</li> <li>Turbine</li> <li>Turnusmäßige Inspektion</li> <li>Strom</li> </ul>
Biomasse groß	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinteile für Reparatur und Wartung</li> <li>Generator</li> <li>Turbine</li> <li>Turnusmäßige Inspektion</li> <li>Strom</li> <li>Versicherungen</li> <li>Pacht</li> <li>Verwaltung, sonstige Dienstleistungen</li> <li>Externe Gutachten</li> <li>Vermarktung</li> </ul>
Biogas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abdeckungen</li> <li>Kleinteile für Reparatur und Wartung</li> <li>Instandsetzungen (Pumptechnik, Materialeinbringung Rührwerkstechnik, Tragluftfolien, Abdeckungen)</li> <li>Strom</li> <li>Transport</li> <li>Versicherungen</li> <li>Pacht</li> <li>Verwaltung, sonstige DL</li> <li>Externe Analysen und Gutachten</li> <li>Labortechnik</li> </ul>

Quelle: Unternehmensinterviews, Zusammenstellung DIW Berlin.

Die Vorleistungen konnten identifiziert werden, indem den Unternehmen in den Interviews technologiespezifisch mögliche Komponenten und Dienstleistungen genannt wurden. In Tabelle 2-17 sind die Komponenten und Dienstleistungen zusammengestellt, die von den Unternehmen in Technologiefeldern als bezogene Vorleistungen identifiziert wurden. Für die Mehrzahl der Items konnten auch – wenn auch jeweils nicht von allen Unternehmen - quantitative Einschätzungen abgegeben werden

Die bezogenen technischen Komponenten und Dienstleistungen wurden jeweils entsprechenden Liefersektoren der amtlichen Input-Output-Tabelle (73 Produktionsbereiche nach WZ 2008) zugeordnet.

#### **2.4.2.2 Technisch-ökonomische Informationen**

Die Vorgabe der oben genannten technischen Komponenten und Dienstleistungen war möglich, weil für jedes der betrachteten Technologiefelder auf der Basis von Literaturrecherchen und unter Nutzung der im Forschungskonsortium vorhandenen technischen Expertise eine Auflistung und ungefähre Beschreibung der im jeweiligen Technologiebereich durchzuführenden Aktivitäten für Betrieb, Wartung und Instandhaltung angefertigt wurde. Diese Informationen flossen für alle Sparten in die Abbildung des Produktionsbereichs ein.

#### **2.4.2.3 Ergänzende Informationen aus der amtlichen Input-Output-Rechnung**

Wie oben erläutert konnten durch die Durchführung von leitfadengestützten Interviews in den einzelnen Technologiebereichen wichtige Vorlieferungen zu identifizieren. Nicht möglich ist es jedoch, auf diesem Erhebungsweg für das Unternehmen eher unbedeutende Kostenelemente abzufragen, die im Unternehmen in der Regel dem Bereich der Gemeinkosten zuzurechnen sind. Dies gilt für die hier benötigten Informationen in Besonderem, da die Kostenelemente ja in tiefer gütermäßiger Gliederung benötigt werden. Da im Kontext der Input-Output-Analyse für die Abbildung des neuen Produktionsbereichs eine vollständige Beschreibung der Verflechtung mit den übrigen Produktionsbereichen der Volkswirtschaft aus Konsistenzgründen notwendig ist, werden die in den Unternehmensinterviews nicht unmittelbar abfragbaren Kostenbestandteile „synthetisch“ ermittelt und mit den originär erhobenen Vorleistungen zusammengeführt.

Dazu werden in der aktuellen amtlichen Input-Output-Tabelle (Berichtsjahr 2010) jene Produktionsbereiche identifiziert, die im Hinblick auf das Produktionsprogramm und die zu Grunde liegende Kostenstruktur eine Nähe zum neu zu definierenden Produktionsbereich Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien haben.

Herangezogen wurden die Produktionsbereiche:

- 24 Elektrische Ausrüstungen
- 25 Maschinen
- 29 Reparatur, Instandhaltung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen
- 30 Elektrischer Strom, Dienstleistungen der Elektrizitäts-, Wärme- und Kälteversorgung
- 36 Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten
- 55 Dienstleistungen von Architektur- und Ingenieurbüros und durch technische, physikalische und chemische Untersuchung

Während die Produktionsbereiche 24 Elektrische Ausrüstungen und 25 Maschinen wichtige technische Komponenten produzieren haben die anderen Produktionsbereiche, die überwiegend Dienstleistungen bereitstellen eine erhebliche Proximität bei der Bereitstellung ihrer Leistungen zu dem neuen Bereich Betrieb und Wartung von EE-Anlagen.

Einen schematischen Überblick über die Nutzung der dargestellten Informationsquellen zur Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien gibt Tabelle 2-17.

Tabelle 2-17

**Nutzung der Informationsquellen zur Abbildung des Produktionsbereichs Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

	Ergebnisse der Unternehmensinterviews	Technisch-ökonomische Informationen	Synthetische Ergänzungen aus I-O-Tabelle
Wind onshore	X	X	X
Wind offshore	(X)	X	X
Photovoltaik	X	X	X
Solarthermie	(X)	X	X
Wasserkraft	X	X	X
Biomasse groß	X	X	X
Biomasse klein	(X)	X	X
Biogas	X	X	X
Geothermie tief	--	X	X
Wärmepumpe	--	X	X

Legende:

X Information in Schätzung eingeflossen; (X) Information eingeschränkt eingeflossen, -- keine verwertbaren Ergebnisse

Quelle: Unternehmensinterviews, Zusammenstellung DIW Berlin.

Der Anteil der inländischen Vorleistungen am Bruttoproduktionswert bewegt sich für die überwiegende Anzahl der Sparten im Bereich zwischen 50% und 60%, nur für den Bereich Wärmepumpe ergibt sich ein Anteil von über 80%. Dies ist auf den übergroßen Anteil des notwendigen Betriebsstroms an den Kosten für Betrieb und Wartung bei Wärmepumpen zurückzuführen, hier wurde von einem Fremdbezug des Betriebsstroms ausgegangen. Der Anteil der importierten Vorleistungen bewegt sich für die meisten Sparten im Bereich zwischen 8% und 14%. Er liegt damit deutlich unter dem Anteil im Produktionsbereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, hierin kommt die deutlich höhere Bedeutung von lokal zu erbringenden Dienstleistungen für die Erbringung der Leistungen von Betrieb und Wartung zum Ausdruck. Der Anteil der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion liegt (mit Ausnahme des Sonderfalls Wärmepumpe) zwischen 27% und 35%, worin sich leichte Unterschiede in der Bedeutung der selbsterbrachten Leistungen und des Kapitaleinsatzes je nach Technologiefeld widerspiegeln.

Tabelle 2-18

**Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % im Produktionsbereich Betrieb und Wartung**

	Anteile an der Bruttoproduktion in %			
	inländische Vorleistungen	importierte Vorleistungen	Bruttowertschöpfung	Bruttoproduktion
Wind onshore	52,5	13,1	34,4	100,0
Wind offshore	59,4	8,6	32,0	100,0
Photovoltaik	57,2	13,4	29,4	100,0
Solarthermie	56,7	13,3	30,0	100,0
Wasser	58,2	11,1	30,7	100,0
Biomasse groß	56,0	12,7	31,3	100,0
Biomasse klein	54,8	10,7	34,5	100,0
Biogas	55,8	9,8	34,4	100,0
Geothermie, tief	58,7	13,8	27,5	100,0
Wärmepumpe	83,3	3,0	13,7	100,0

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Betrachtet man die Vorleistungsstrukturen der einzelnen Sparten von Wartung und Betrieb im Detail, so ergeben sich erhebliche Unterschiede. Abbildung 2-19 zeigt dies exemplarisch für die Technologiebereiche Wind onshore und Biogas. Zulieferungen von Vorleistungen aus

dem Maschinenbau spielen in beiden Technologien eine wichtige Rolle, weil wichtige Ersatz- und Verschleißteile von dieser Branche geliefert werden. Allerdings ist der Anteil beim Bereich Biogas mit 13,3% fast doppelt so hoch wie bei Wind onshore mit 7,6%. Ansonsten unterscheidet sich die Struktur der Vorleistungslieferungen aber erheblich. Im Bereich Wind onshore sind Sonstige Fahrzeuge (dort ist die Herstellung von Rotorblättern überwiegend vertreten) und Verkehrsleistungen wichtige Zulieferer, im Bereich Biogas sind dagegen Metallerzeugnisse und Strom wichtige Zuliefererbranchen. Beide betrachteten Bereiche beziehen in bedeutendem Umfang externe Dienstleistungen, die von Unternehmen bereitgestellt werden, die im Produktionsbereich Reparatur und Instandhaltung von Maschinen angesiedelt sind.

Betrachtet man die Vorleistungsstrukturen, die sich im Produktionsbereich Betrieb und Wartung für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien aggregiert über alle Sparten im Jahr 2013 ergeben (Abbildung 2-20), so besitzt der Produktionsbereich „Elektrischer Strom“ das größte Gewicht (7,9% gemessen am Bruttoproduktionswert). Danach folgen als weitere wichtige Zulieferbereiche Maschinen (6,4%), Metallerzeugnisse (4,2%) sowie Reparatur und Instandhaltung von Maschinen (3,4%). In diesen Branchen der Volkswirtschaft fallen also über alle Bereiche von Wartung und Betrieb von EE-Anlagen betrachtet die größten indirekten Produktionseffekte an. Sie profitieren also neben den neu entstehenden Unternehmen, die diese Leistungen direkt anbieten, am stärksten von der in >Zukunft zunehmenden Bedeutung von Wartung, Betrieb und Instandhaltung im Bereich erneuerbare Energien.

Abbildung 2-19

**Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien- Wind onshore und Biogas**

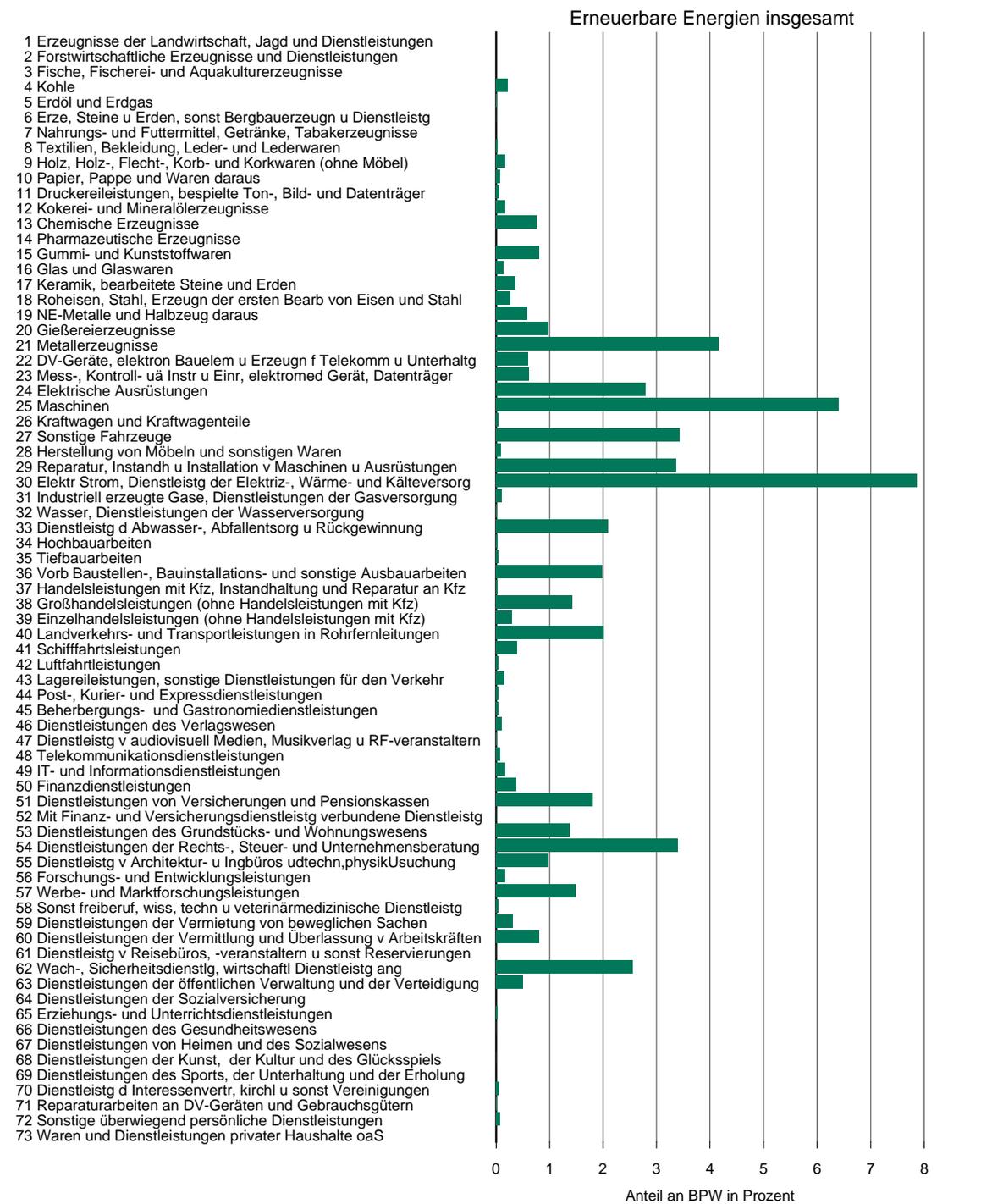


Quelle: Schätzungen des DIW Berlin.

DIW Berlin

Abbildung 2-20

**Inländische Vorleistungen der Produktionsbereiche Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Erneuerbare Energien insgesamt**



Quelle: Schätzungen des DIW Berlin.

### 2.4.3 Abschätzung der Höhe der Aufwendungen für Betrieb, Wartung und Instandhaltung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien

In den Interviews wurde im Zusammenhang mit den Fragen zu den Betriebs- und Wartungskosten oft auf die Vielfalt der Einflussgrößen hingewiesen, so dass sich viele Befragte schwer taten eine verallgemeinerbare Aussage zu treffen.

Eine separate Ausweisung der Betriebs- und der Wartungskosten ist oft schwierig, weil bei vielen Anlagentypen Wartungsverträge bestehen, die in die Berechnung der Betriebskosten einbezogen werden. Darum werden diese Begriffe oft auch unscharf verwendet. Tabelle 2-19 gibt einen Überblick, welche Informationen in den Unternehmensinterviews zu den

*Der Bereich Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wurde bislang nicht systematisch erforscht; die auffindbare Datenbasis ist lückenhaft und aufgrund unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen kaum vergleichbar.*

*Auffindbare Kennzahlen decken vornehmlich Informationen über die Betriebskosten, Investitionen, Personalkosten, Finanzierung und Zinsen ab. Aufwendungen für den Betrieb werden meist als prozentualer Anteil der Investitionskosten oder bezogen auf die installierte elektrische Leistung ausgewiesen. Angegeben wird auch die Lebensdauer der Anlage bzw. der Anlagenteile, da sie für die betriebswirtschaftlichen Berechnungen von großer Bedeutung ist.*

*Für ausgewählte Technologien wurden folgende Kosten (jährlich) für Betrieb und Wartung genannt: Wasserkraft (Neubau): 1,21-2,65% der Investitionskosten; Photovoltaik: 30€/kWp; Windkraft Onshore: 1,5 -3% der Investitionskosten; Windkraft Offshore: 0,03€/kWh und Biogas: 4,5% der Investitionskosten.*

*Eine weitere Differenzierung der Kosten ist in der Literatur nur vereinzelt auffindbar, was mit Blick auf die Vielfalt der Anlagenkonzepte bei den einzelnen Technologien und äußerer Einflussfaktoren, wie etwa dem Standort, nicht verwunderlich ist. Darüber hinaus ist die Kostenentwicklung im Zeitverlauf zu betrachten, da mit zunehmendem Alter der Anlagen mit einer Kostensteigerung zu rechnen ist. Differenziertere Informationen wurden in erster Linie für die Biogasherstellung und den Betrieb von Windkraftanlagen gefunden. Mehr unter Thobe&Lehr GWS Discussion Paper, 2015.*

erwarteten Lebensdauern der Anlagen als Kalkulationsgrundlage, zu den Leitgrößen zur Bestimmung der Aufwendungen für Betrieb und Wartung sowie zur Dimension der spezifischen Aufwendungen gegeben wurden.

Tabelle 2-19

**Ergebnisse der Unternehmensinterviews im Hinblick auf Parameter zur Abschätzung der Höhe der Aufwendungen für Betrieb und Wartung nach Technologiebereichen**

	Erwartete Lebensdauer der Anlage als Kalkulationsgrundlage	Genannte Leitgrößen zur Bestimmung der Aufwendungen für Betrieb und Wartung	Dimension der spezifischen Aufwendungen
Wind onshore	20 - 25; teilweise etwas höher	Strommenge; (installierte Kapazität)	cent/kWh
Wind offshore	25	Strommenge; (installierte Kapazität)	cent/kWh
Photovoltaik	20 - 30;	installierte Kapazität KWp; Investitionssumme (kumuliert oder nach vintage); Umsätze	Euro/ (kWp*Jahr); % der Investitionssumme; % des Umsatzes
Solarthermie	20-25;	Investitionssumme (kumuliert); (Kollektorfläche in qm)	% der Investitionssumme
Wasserkraft	40-100	Umsatz; installierte Leistung	% des Umsatzes; installierte Leistung
Biomasse groß	20	Investitionssumme (kumuliert)	% der Investitionssumme
Biomasse klein	20	Investitionssumme (kumuliert)	% der Investitionssumme
Biogas	20	Investitionssumme (kumuliert); installierte Leistung	% der Investitionssumme; Euro/kW
Geothermie tief	--	--	--
Wärmepumpe	--	--	--

-- : keine verwertbaren Ergebnisse

Quelle: Unternehmensinterviews, Zusammenstellung DIW Berlin.

Bei den Leitgrößen wurden häufig die produzierten Strommengen, die installierte Kapazitäten oder – und dieses in der Mehrzahl der Technologiebereiche – die Investitionssumme genannt.

Um die Berechnung der Ausgaben für Betrieb und Wartung methodisch auf eine einheitliche Grundlage zu stellen, wurden als Leitgröße die jährlichen Investitionssumme in den jeweiligen Bereichen herangezogen, die im in ihrem zeitlichen Verlauf in den nationalen Szenarien des DLR technologiespezifisch enthalten sind. (siehe Abschnitt 4.1). Die spezifischen Ausgaben für Betrieb und Wartung in % der jährlichen Investitionssumme beruhen überwiegend

auf Informationen aus den von Experten geprüften Datensätzen, die diesen Szenarien zugrunde liegen.

Die sich aus diesen Berechnungsgrundlagen ergebenden Ausgaben für Betrieb und Wartung sind in Tabelle 2-20 dargestellt.

Tabelle 2-20

**Spezifische Investitionskosten und Ausgaben für Betrieb und Wartung in den Jahren 2012 und 2013**

	Spezifische Investitionskosten in %	Kumulierte Investitionen in Mill. Euro		Ausgaben für Betrieb und Wartung in Mill. Euro	
		2013	2012	2013	2012
Wind onshore	4,0%	42.357	38.863	1.694	1.555
Wind offshore	3,7% / 5,5%	3.605	1.291	135	71
Photovoltaik	1,0%	87.824	83.620	878	836
Biogas	6,0%	18.148	17.740	1.089	1.064
Biomasse groß	5,5%	15.250	14.381	839	791
Biomasse klein	1,0%	28.293	27.486	283	275
Solarthermie	1,0%	12.850	12.376	129	124
Wärmepumpe	3,5%	9.844	8.908	345	312
Wasserkraft	5,0%	9.170	8.916	459	446
Geothermie tief	3,0%	835	755	25	23
<b>Erneuerbare Energien insgesamt</b>				<b>5.875</b>	<b>5.496</b>

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Die Höhe der Ausgaben beträgt im Jahr 2013 insgesamt 5,8 Mrd. Euro (5,5 Mrd. Euro in 2012). Die höchsten Ausgaben fallen im Bereich Wind onshore (1,7 Mrd. Euro), Biogas (1,1 Mrd. Euro) und in der Photovoltaik (878 Millionen Euro) an. Danach folgen die Bereiche Biomasse groß und Wasserkraft. Zu beachten ist generell, dass in den Betriebskosten die Brennstoffkosten nicht erhalten sind.

## 2.5 Übersicht Bruttobeschäftigung– Ergebnisse 2012 und 2013

Die Entwicklung der Bruttobeschäftigung wurde im Rahmen dieses Projektes in drei in jährlichem Abstand vorgelegten Zwischenberichten abgeschätzt [O’Sullivan et al. 12, 13, 14], wobei jeweils der aktuell verfügbare Datenbestand zu Grunde gelegt wurde. Die Ergebnisse

für 2012<sup>12</sup> und 2013 werden im Rahmen dieses Endberichts noch einmal aufgegriffen und erläutert. Eine Aktualisierung der Abschätzung des Jahres 2011 auf Basis der neuen Investitionsabschätzungen (vgl. Abschnitt 2.3) wurde im Rahmen dieses Projektes nicht vorgenommen werden, es erfolgt jedoch eine kurze Einordnung der Entwicklung.

Die Ermittlung der Bruttobeschäftigung im Rahmen der Input-Output Analyse basiert auf den Umsätze von Unternehmen, die in Deutschland ansässig sind. Diese Umsätze wiederum beruhen auf den Investitionen, die im EE-Bereich in Deutschland getätigt werden (siehe Abschnitt 2.3). Unter Berücksichtigung des Außenhandels, der vor allem auf Ergebnissen der Unternehmensbefragung basiert (vgl. Abschnitt 2.1.3), wurden die Umsätze für den Bereich des Anlagenneubaus abgeleitet.

Tabelle 2-21

**Umsätze aus nationalen wie internationalen Investitionen in Deutschland ansässiger Unternehmen sowie Kosten/Umsatz aus Betrieb und Wartung des EE-Anlagenbestandes für die Jahre 2012/2013 in Mio. €**

	Umsatz aus Investitionen in EE-Anlagen 2012	Umsatz aus Investitionen in EE-Anlagen 2013	Kosten/Umsatz für Betrieb und Wartung von EE-Anlagen 2012	Kosten/Umsatz für Betrieb und Wartung von EE-Anlagen 2013
Wind onshore	9.170	10.640	1.550	1.690
Wind offshore	1.930	1.930	70	200
Photovoltaik	8.180	3.560	840	880
Solarthermie	1.010	940	120	130
Solarthermische Kraftwerke	130	100	-	-
Wasserkraft	880	910	450	460
Tiefengeothermie	110	120	20	30
oberflächennahe Geothermie	1.160	1.200	310	350
Biogas	1.850	1.750	1.060	1.090
Biomasse Kleinanlagen	950	950	280	280
Biomasse Heiz-/ Kraftwerke	640	600	790	840
Summe	26.010	22.700	5.490	5.950

Quelle: Eigene Berechnungen.

Der Umsatz in Deutschland ansässiger Unternehmen im Bereich des EE-Neuanlagenbaus lag 2012 bei rund 26 Mrd. €. Für die Abschätzung des Umsatzes im Jahr 2013 wurde neben der allgemeinen Marktentwicklung und den veröffentlichten Unternehmensangaben auf Ex-

<sup>12</sup> Hierbei handelt es sich um die Werte, die in O'Sullivan et al (2014) dargestellt wurden.

portabschätzungen der befragten Unternehmen zurückgegriffen [O’Sullivan et al. 2014]. Insgesamt ergab sich daraus ein Umsatz von rund 22,7 Mrd. € und damit ein Rückgang um ca. 13% im Vergleich zu 2012, der vor allem auf die deutlich gesunkenen Neuinstallationen der Photovoltaik in Deutschland zurückzuführen ist (siehe Abschnitt 2.3).

Den mit Abstand größten Anteil am Umsatz im Bereich des Anlagenneubaus hat die onshore Windindustrie. 2012 lag dieser Anteil bei rund 35%. Auf Grund des deutlichen Rückgangs der Photovoltaik-Installationen und des gleichzeitig starken Wind onshore Ausbaus, lag dieser Anteil 2013 sogar bei knapp 47%. Erweitert man diese Betrachtung auf die gesamte Windenergiebranche, hatte sie knapp 43% am Umsatzanteil deutscher Unternehmen des Jahres 2012 und 55% im Jahr 2013. Der Anteil der Photovoltaik betrug 2012 noch 31% und lag 2013 bei knapp 16%. Die Biogas-Branche hat in dieser Betrachtung einen Anteil zwischen 7 und 8% und das Gewicht der anderen Technologien liegt meist unterhalb von 5%. Die drei Wärmetechnologien Solarthermie, oberflächennahe Geothermie und Biomasse Kleinanlagen erreichen zusammen einen Anteil von 12% bzw. knapp 14%.

Die Kosten, die für den Betrieb und die Instandhaltung der Anlagen anfallen sind bereits in Abschnitt 2.4 beschrieben worden. Ähnlich wie bei den erbrachten Dienstleistungen im Bereich der Anlagenneuinstallation (siehe Abschnitt 2.1.3), wird im Bereich Betrieb und Wartung davon ausgegangen, dass die unmittelbaren Leistungen von im Inland ansässigen Unternehmen erbracht werden. Diese Unternehmen greifen bei ihrer Leistungserstellung natürlich auch auf importierte Vorleistungen zurück (siehe Abschnitt 2.1.3).

Betrachtet man, wie die Ausgaben für Betrieb und Wartung sich auf die Einzeltechnologien verteilen, so wird eine sehr viel gleichmäßigere Aufteilung im Vergleich zu den Umsätzen des Anlagenneubaus deutlich (vgl. Tabelle 2-21).

Die wichtigste Einzeltechnologie ist auch bei Betrieb und Wartung die onshore Windenergie mit einem Anteil von etwa 28% an den gesamten Umsätzen aus Betrieb und Wartung. In Summe liegt der größte Aufwand jedoch bei den Technologien die im Biogas- und Biomassebereich anzusiedeln sind. Etwa 37% der gesamtdeutschen Umsätze aus Betrieb und Wartung fallen in diese Kategorie<sup>13</sup>, 32% sind der Windenergie (onshore und offshore) zuzuordnen, 17% den Solartechnologien, knapp 8% der Wasserkraft und 6% der Geothermie.

Neben dem Anlagenneubau und dem Betrieb sowie der Wartung des Anlagenbestands, ist auch die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen für die Beschäftigung im Bereich

---

<sup>13</sup> Dabei sind die die Brennstoffkosten nicht mitberücksichtigt.

erneuerbarer Energien relevant. Die Umsätze dieses Bereiches werden in einem sehr hohen Detaillierungsgrad ermittelt. Ausgehend von den Investitionen, die in Abschnitt 2.3 beschrieben wurden, sind alle verfügbaren Informationen bezüglich des Außenhandels<sup>14</sup> zur Ermittlung der Umsätze hinzugezogen worden. Für die Brennstoffbereitstellung konnte so ein Umsatz von 4.236 Mio. € für 2012 und 4.413 Mio. € für 2013 ermittelt werden (vgl. Tabelle 2-22). Hinzu kommen die Umsätze aus der Biokraftstoffbereitstellung in Höhe von 3.712 Mio. € (2012) bzw. 4.430 Mio. € (2013).

Tabelle 2-22

**Umsatz in der Biomasse- und Biokraftstoffbereitstellung 2012/2013 in Mio. €**

	Umsatz in der Biomassebereitstellung 2012	Umsatz in der Biomassebereitstellung 2013	Umsatz in der Biokraftstoffbereitstellung 2012	Umsatz in der Biokraftstoffbereitstellung 2013
Biogas NAWARO	2.027	2.089		
Altholz AI & AII	66	70		
Altholz AIII & AIV	40	39		
Industrierestholz	104	125		
Waldrestholz	386	397		
Landschaftspflegeholz	91	94		
Kurzumtriebsplantagen	7	7		
Hackschnitzel	61	66		
Pellets	462	548		
Holzbricketts	46	46		
Brennholz	942	927		
Pflanzenöl	4	5	31	2
Biodiesel			3.195	3.913
Bioethanol			486	515
Summe	4.236	4.413	3.712	4.430

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Der größte Umsatz im Bereich der Biomasse wird mit der Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) für den Einsatz in Biogasanlagen getätigt. Beinahe die Hälfte der Umsätze aus der Biomassebereitstellung entfallen auf diesen Bereich. Die Biomasse, die für die Verfeuerung in Biomasse Heiz-/Kraftwerken bereitgestellt wird setzt sich aus den diversen Altholzfraktionen, dem Industrie- und Waldrestholz, dem Landschaftspflegeholz sowie den Erzeugnissen der Kurzumtriebsplantagen zusammen und trägt mit etwa 16% zu den

<sup>14</sup> Für weitere Informationen zu der gewählten Herangehensweise siehe Lehr et al (2011).

Umsätzen der Biomassebereitstellung bei. Hackschnitzel, Pellets, Holzbriketts und Brennholz kommen in Deutschland überwiegend in Biomassekleinanlagen zum Einsatz. Ihr Anteil an den Umsätzen der Biomassebereitstellung liegt bei 36%. Die Nachfrage nach Pflanzenöl aus deutscher Herstellung zur Nutzung in stationären Anlagen ist auf einem sehr niedrigen Niveau. Der Großteil des eingesetzten Pflanzenöls ist importiertes Palmöl. Die Struktur der Biokraftstoffbereitstellung in Deutschland ist ganz klar durch die Biodieselproduktion mit einem Anteil von 88% am Umsatz dominiert.

Ein vierter Bereich der in die hier vorgenommene Analyse mit einbezogen wird, sind die öffentlich zur Verfügung gestellten Mittel, die vor allem in der Forschung eingesetzt werden.<sup>15</sup> Für die Jahre 2012 und 2013 konnten öffentlich bereitgestellte Mittel in Höhe von 462 Mio. € bzw. 542 Mio. € identifiziert werden. Der größte Teil dieser Mittel stammt dabei aus der Bundesförderung und ist zum überwiegenden Teil auf die Mittel der Energieforschung im EE-Bereich zurückzuführen.

Tabelle 2-23

**Öffentlich bereitgestellte Mittel für Forschung, Öffentlichkeitsarbeit und Wirtschaftsförderung im Bereich erneuerbarer Energien in Mio. €**

	2012	2013
Bundesförderung	317	398
Landesförderung	109	109 <sup>1</sup>
EU-Förderung	28	27
Stiftungsförderung <sup>2</sup>	8	8
Summe	462	542

<sup>1</sup> Wert ist von 2012 fortgeschrieben

<sup>2</sup> Werte sind von 2006 fortgeschrieben

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Die direkte wie indirekte Beschäftigung, die aus diesen Umsätzen resultiert, wird auf Basis der Input-Output-Analyse ermittelt. Die hierfür verwendeten Datengrundlagen sind in Abschnitt 2.2 für den Bereich des Anlagenneubaus sowie in Abschnitt 2.4 für den Betrieb und die Wartung des Anlagenbestands beschrieben. Die Herangehensweise in der Biomasse- und Biokraftstoffbereitstellung ist ausführlich in Lehr et al (2011) dargestellt. Die Umsetzung der öffentlichen Mittelbereitstellung in die Input-Output-Systematik ist eingehend in Kratzat et al. (2007) beschrieben. Neben den in Tabelle 2-23 dargestellten Mitteln in diesem Segment sind jedoch einige Ergänzungen vorgenommen worden, deren Mitteleinsatz im Rahmen

<sup>15</sup> Für mehr Informationen hierzu sei auf Kratzat et al. (2007) verwiesen.

dieser Studie nicht erfasst werden konnte. Dabei geht es zum einen um die Beschäftigten in den Ministerien auf Bunde- und Landesebene sowie um die Mitarbeiter der Universitäten, die mit spezifischen EE-Lehrangeboten betraut sind. Für die Beschäftigten der Ministerien ist in Kratzat et al. (2007) eine entsprechende Abfrage durchgeführt worden. Die daraus resultierende Beschäftigung in Höhe von etwa 300 Personen ist für die Folgejahre übernommen worden. Im Bereich der EE-Lehrangebote der Universitäten ist in O’Sullivan et al. (2014) erstmals eine Abschätzung erfolgt. Demnach wird davon ausgegangen, dass in den rund 140 Studiengängen, die im Bereich erneuerbarer Energien identifiziert werden konnten, etwa 500 Beschäftigte hinzugekommen sind.

Die Bruttobeschäftigung im EE-Bereich, die für das Jahr 2012 geschätzt wurde, lag bei insgesamt 399.800 Personen. 66% dieser Beschäftigten entfallen dabei auf den Anlagenneubau (einschließlich Exporte), 15% auf Betrieb und Wartung des Anlagenbestands, 17% auf die Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen und knapp 2% auf die öffentlich geförderte Forschung und Verwaltung.

Tabelle 2-24

**Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland 2012**

	Beschäftigung durch Investitionen (einschl. Export)	Beschäftigung durch Wartung & Betrieb	Beschäftigung durch Brenn-/ Kraftstoffbereitstellung	Beschäftigung gesamt 2012
Wind onshore	87.200	16.800		104.000
Wind offshore	17.100	700		17.800
Photovoltaik	89.900	10.400		100.300
Solarthermie	11.000	1.200		12.200
Solarthermische Kraftwerke	1.400			1.400
Wasserkraft	8.100	4.800		12.900
Tiefengeothermie	1.200	200		1.400
oberflächennahe Geothermie	12.800	2.200		15.000
Biogas	18.600	11.600	20.200	50.400
Biomasse Kleinanlagen	10.200	3.900	14.700	28.800
Biomasse Heiz-/ Kraftwerke	6.500	8.200	8.200	22.900
Biokraftstoffe			25.400	25.400
Summe	264.000	60.000	68.500	392.500
öffentlich geförderte Forschung/Verwaltung				7.300
Summe				399.800

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 2-25

**Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland 2013**

	Beschäftigung durch Investitionen (einschl. Export)	Beschäftigung durch Wartung & Betrieb	Beschäftigung durch Brenn-/Kraftstoffbereitstellung	Beschäftigung gesamt 2013
Wind onshore	100.800	18.200		119.000
Wind offshore	17.500	1.300		18.800
Photovoltaik	45.100	10.900		56.000
Solarthermie	10.100	1.300		11.400
Solarthermische Kraftwerke	1.100			1.100
Wasserkraft	8.300	4.800		13.100
Tiefengeothermie	1.300	200		1.500
oberflächennahe Geothermie	13.300	2.500		15.800
Biogas	17.200	11.800	20.200	49.200
Biomasse Kleinanlagen	10.100	3.900	14.600	28.600
Biomasse Heiz-/Kraftwerke	6.000	8.600	8.400	23.000
Biokraftstoffe			25.600	25.600
Summe	230.800	63.500	68.800	363.100
öffentlich geförderte Forschung/Verwaltung				8.300
Summe				371.400

Quelle: Eigene Berechnungen.

Von 2012 auf 2013 sank die Bruttobeschäftigung im Bereich erneuerbare Energien um 7% auf 371.400. Der Rückgang ist ausschließlich auf das Segment des Anlagenneubaus zurückzuführen. Hier sind 2013 13% weniger Menschen beschäftigt gewesen als 2012. Damit entfallen noch 62% der ermittelten EE-Beschäftigten des Jahres 2013 auf dieses Segment. Ein Rückgang ist dabei in Folgenden Sparten zu beobachten: Photovoltaik (-50%), Solarthermie (-8%), Solarthermische Kraftwerke (-21%), Biogas (-8%), Biomasse Heiz-/Kraftwerke (-8%). Diese negative Entwicklung ist vor allem durch den Anstieg der Beschäftigung im onshore Wind-Segment (+16%) gedämpft worden.

Auf Grund des stetigen Ausbaus erneuerbarer Energien ist eine kontinuierliche Zunahme der Aktivitäten in Betrieb und Wartung des Anlagenbestands festzustellen. Von 2012 auf 2013 stieg die Beschäftigung in diesem Segment um 6%, so dass 63.500 Personen (17%) auf diesen Bereich entfielen.

In der Biomasse-/Biokraftstoffbereitstellung konnte lediglich eine marginale Zunahme der Beschäftigung um 300 auf 68.800 Personen verzeichnet werden (19% der gesamten EE-Beschäftigten).

Der Bereich der öffentlich geförderte Forschung und Verwaltung stellt etwa 2% der gesamten EE-Beschäftigten, in 2013 konnte hier ein Anstieg um 14% verzeichnet werden.

Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der EE-Beschäftigungsentwicklung seit 2004, so ist bis zum Jahr 2011 eindeutig eine stetige Zunahme der Bruttobeschäftigung zu erkennen. Danach war die Tendenz eher negativ. Eine klare Aussage darüber, ob die Beschäftigungsentwicklung bereits ab 2011 negativ war oder erst ab 2012, kann nicht mit Sicherheit gegeben werden. Auf Grund neuer Inputdaten, die Anfang 2013 erstellt wurden, u.a. zu den getätigten Investitionen liegen für 2011 keine Beschäftigungszahlen mehr vor, die mit der Entwicklung in 2012 und 2013 bezüglich der Ausgangsdaten konsistent sind. Die Entwicklung, die auf den alten Investitionsangaben beruhte zeigt eine leichte Abnahme der Beschäftigung von 2011 auf 2012 in Höhe von -1% [O'Sullivan et al 2013]. Da die aktualisierten Inputparameter sowohl positive als auch negative Veränderungen aufweisen, kann ohne eine genaue neue Berechnung hier keine eindeutige Aussage bezüglich der Tendenz getroffen werden.

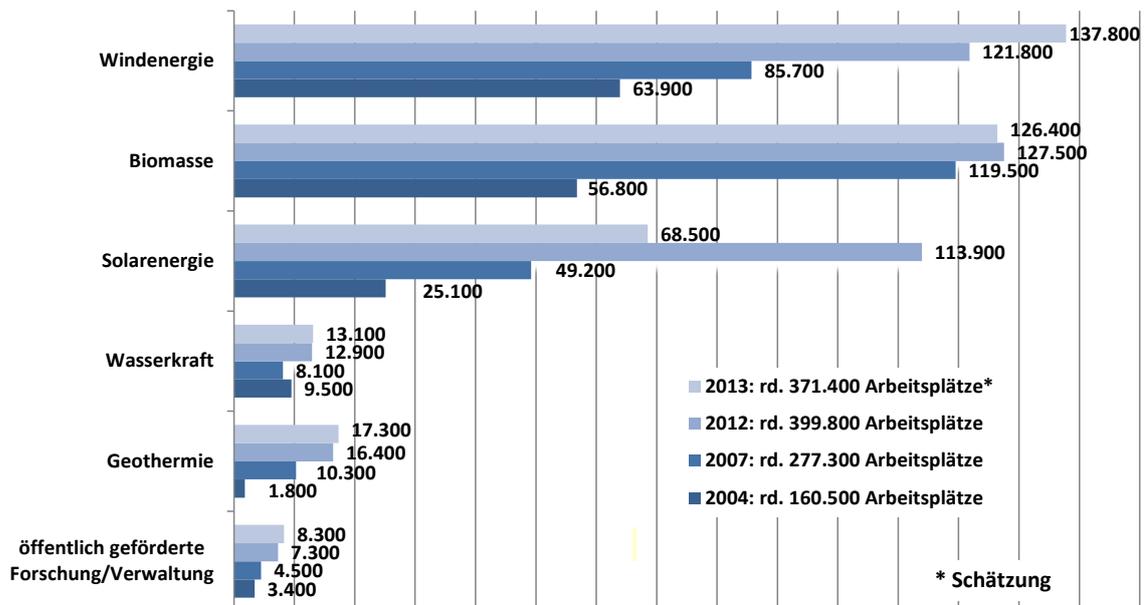
Nimmt man die Betrachtung technologiespezifisch vor, so wird deutlich, dass in jeder Technologie in dem Zeitraum zwischen 2004 und 2013 Schwankungen in der Beschäftigung des Anlagenneubaus vorkamen. In allen Sparten konnten zeitweise negative Entwicklungen beobachtet werden, die meist innerhalb von zwei Jahren wieder von einem Aufschwung abgelöst wurden. Eine besondere Rolle in dieser Betrachtung nehmen die Sparten Photovoltaik und Biogas ein. Beiden ist gemein, dass sie bis 2011 ein enormes Wachstum zu verzeichnen hatten, welches ab 2012 durch einen deutlichen Rückgang abgelöst wurde. In der Photovoltaik-Sparte stieg die Beschäftigung des Anlagenneubaus von etwa 17.000 Personen 2004 auf über 100.000 Personen 2011 und ging innerhalb von zwei Jahren um mehr als die Hälfte auf 45.000 zurück. Die Entwicklung des Biogasanlagenneubaus verlief ähnlich. 2004 lag die Beschäftigung bei knapp 2.000 Personen und stieg bis 2011 auf knapp 22.000 Personen. Der Rückgang auf etwa 17.000 Beschäftigte 2013 ist dabei nicht so dramatisch verlaufen, wie in der Photovoltaik. Am stetigsten verlief die Beschäftigung im Bereich Windenergie, auch weil hier Marktschwankungen im In- und Ausland von den deutschen Unternehmen besser ausbalanciert wurden.

Die zeitliche Entwicklung der Beschäftigung über alle Tätigkeitsfelder im EE-Bereich hinweg ist in Abbildung 2-21 zusammengefasst. Die Windenergie-Branche konnte demnach seit 2004 ihre Beschäftigung mehr als verdoppeln und stellt 2013 am meisten Arbeitsplätze. Die

Beschäftigung des Biomassebereichs steht an zweiter Stelle und ist auf einem vergleichsweise stabilen Niveau in der Größenordnung von 120.000 Personen. Diese Stabilität der Beschäftigung im Zeitverlauf ist vor allem auf die Verteilung zwischen den Tätigkeitsfeldern zurückzuführen. Über die Hälfte der Beschäftigten sind im Bereich des Betriebs- und der Wartung bzw. der Biomassebereitstellung für die Bestandsanlagen beschäftigt, die demnach keinen negativen Entwicklungen im Anlagenneubau oder bei der Nachfrage nach Biokraftstoffen aus deutscher Produktion unterliegen. Die Entwicklung der Solarenergie ist insbesondere durch die Photovoltaik geprägt. Eine negative Entwicklung auf sehr viel geringerem Niveau konnte jedoch nach 2011 auch bei den Solarthermischen Kraftwerken beobachtet werden. Die Beschäftigung in der Niedertemperatur-Solarthermie war dagegen in dem gesamten Zeitraum seit 2004 vergleichsweise stark fluktuierend. Die Wasserkraft-Branche ist eine vergleichsweise stabile Branche mit hohen Exportanteilen, deren Beschäftigung einen relativ stabilen Verlauf aufweist. Die Geothermie ist insbesondere durch die oberflächennahe Geothermie und die Umweltwärme geprägt. Hier konnte im Zeitverlauf ein sehr starker Anstieg, wenn auch auf vergleichsweise niedrigem Niveau beobachtet werden. Die Beschäftigung, die durch öffentliche Mittel induziert wurde hat sich im zeitlichen Verlauf ebenfalls mehr als verdoppelt.

Abbildung 2-21

**Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland**

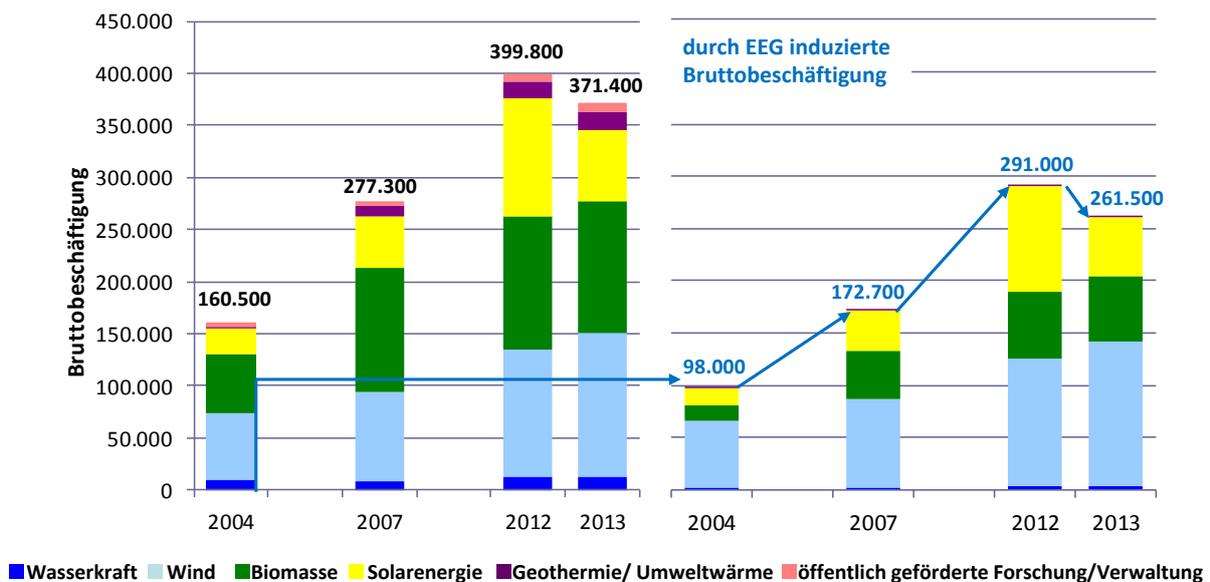


Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Entwicklung der EE-Industrie in Deutschland hängt stark mit der Förderung der heimischen Nachfrage zusammen. Eine besondere Rolle spielt dabei das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG). Abbildung 2-22 zeigt die Beschäftigung, die diesem Instrument zugerechnet wird. Dabei wird u.a. davon ausgegangen, dass die Exporterfolge der Sparten, die erst durch die staatlichen Förderinstrumente entstanden sind, dem EEG zuzurechnen sind.<sup>16</sup> In Summe konnten 261.500 Personen (70% der EE-Beschäftigten) 2013 der Wirkung des EEG zugerechnet werden. Im Vergleich zu 2012 entspricht das einem Rückgang von etwa 10%. 2004 lag der Anteil der Beschäftigung, die auf die Wirkung des EEG zurückzuführen war noch bei 61%. Die stetige Zunahme dieses Anteils unterstreicht den Erfolg des EEGs im Vergleich zu anderen Förderinstrumenten im Wärme oder Biokraftstoffmarkt.

Abbildung 2-22

**Entwicklung der Beschäftigung in der Branche der Erneuerbaren Energien sowie der durch EEG induzierten Beschäftigung von 2004 bis 2012**



Quelle: Eigene Berechnungen.

## 2.6 Blick in die Regionen – Daten und Ergebnisse

### 2.6.1 Entwicklungslinien

Bereits im ersten umfassenden Bericht zu den Beschäftigungseffekten des Ausbaus erneuerbarer Energien wurden regionale Aspekte thematisiert und analysiert (vgl. Staiß et al. 2006,

<sup>16</sup> Die Herangehensweise zur Abgrenzung ist in Lehr et al. 2011 detailliert beschrieben.

93ff). Die erste Unternehmensbefragung ermöglichte die Analyse einiger interessanter Aspekte zur Verteilung der Unternehmen und Beschäftigten sowie zu Vorleistungsverflechtungen. Schon bei dieser Analyse musste man konstatieren, dass das Konzept, die Art der Stichprobe und der inhaltliche Fokus der Unternehmensbefragung beinhaltet, dass Auswertungen nach Regionen nur begrenzt möglich sind. Daher wurden im ersten Bericht die Daten anderer Institutionen ergänzt um erste Grundaussagen zur Verteilung zwischen vier Großregionen in Deutschland zu erhalten. Die verhältnismäßig große Anzahl von Unternehmen und Beschäftigten in Ostdeutschland konnte für das Jahr 2004 bereits nachgewiesen werden. Thematisiert wurde auch, dass gerade dort die Vorleistungen meist nicht aus der eigenen Region bezogen werden sondern aus den westdeutschen Regionen. Der Anteil Ostdeutschlands an der Bruttobeschäftigung in Deutschland wurde fortan regelmäßig abgeschätzt. Für das Jahr 2010 wurde erstmals eine Abschätzung auf Ebene der Bundesländer durchgeführt (Distelkamp et al. 2011). In einer Pilotstudie sollte ein Verfahren erprobt werden, das insbesondere eine Schätzung der indirekten Effekte auf regionaler Ebene ermöglicht. Zu den Vorleistungsverflechtungen liegen weder seitens der amtlichen Statistik noch auf Grundlage von gesamtdeutschen Erhebungen im ausreichenden Maße Informationen vor, die eine Umsetzung analog zur nationalen Schätzung ermöglichen. Für die Technologie Wind onshore wurde daher ein regionales Allokationsmodell entwickelt, welches Vorleistungslieferungen innerhalb und zwischen Bundesländern quantitativ schätzt und in den gesamtdeutschen Kontext stellt. Ein weiterer Baustein, der für eine Ermittlung der Bruttobeschäftigung auf Länderebene unabdingbar ist, ist eine breite Datenbasis aus regionalen Statistiken und Informationen, welche die Auswertung der Unternehmensbefragung im Rahmen des Projektes ergänzt. Auf Grundlage dieser Vorarbeiten wurde für das Berichtsjahr 2011 erstmals die Bruttobeschäftigung in den Bundesländern für alle Technologien berechnet (Ulrich et al. 2012). Mit dem Vordringen in weniger gut dokumentierte Sparten und Technologien mussten dazu nochmals deutlich mehr Datenquellen und Indikatoren ergänzt werden. Die Ergebnisse dieser Studie wurden für ein Bundesland mithilfe anderer Schätzungen validiert (ebd. S. 54). Seit dieser Erstschätzung für die Bundesländer sind die Zahlen zweimal aktualisiert worden, zuletzt im Sommer 2014 für das Berichtsjahr 2013. Einige Einschätzungen sind seit der ersten Thematisierung geblieben: Die Bruttobeschäftigung ist nicht proportional zur Größe der jeweiligen regionalen Arbeitsmärkte verteilt und regionalökonomisch sowie technologisch sind die Regionen sehr unterschiedlich aufgestellt.

### 2.6.2 Methodik und neue Erkenntnisse

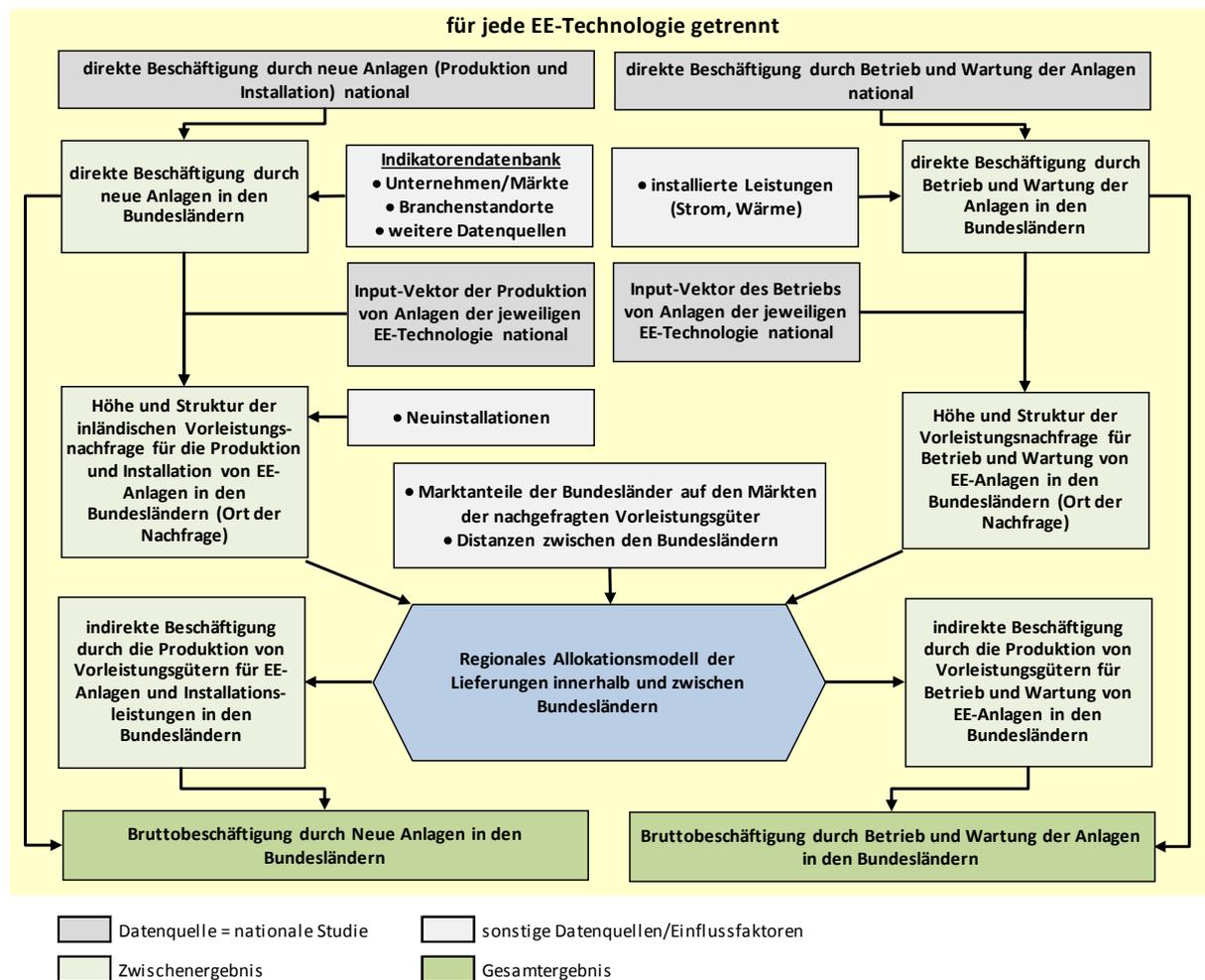
Von entscheidender Bedeutung für eine fundierte Schätzung von Regionalwerten ist die Aufteilung in direkte und indirekte Beschäftigung. Für die regionale Zuordnung der Bruttobeschäftigung (Lokalisierung) der einzelnen EE-Technologien ist es ferner wichtig, zwischen Neue Anlagen (für Investitionen und Export) sowie Betrieb und Wartung zu unterscheiden. Für ein vollständiges Bild der regionalen Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien gilt es zudem auch die Beschäftigung durch Brenn-/ Kraftstoffbereitstellung (aus Biomasse) in den Bundesländern abzuschätzen.

Die Grundstruktur der Vorgehensweise bei der Abschätzung der Bruttobeschäftigung durch neue Anlagen sowie Betrieb und Wartung von EE-Anlagen ist in Tabelle 2-26 dargestellt. Die Lokalisierung der direkten Beschäftigung durch neue Anlagen erfolgt durch die systematische Auswertung von Informationen zu den Standorten von Anlagen- und Komponentenherstellern und deren Beschäftigtenanzahl. Hierbei spielen auch Daten aus der Unternehmensbefragung eine Rolle. Die Lokalisierung der direkten Beschäftigung durch Betrieb und Wartung erfolgt auf Grundlage von Informationen zur regionalen Verteilung der installierten Leistungen. Ausgehend von der direkten Beschäftigung werden im Rahmen einer tief gegliederten Input-Output-Analyse, wie sie auf deutschlandweiter Ebene zur Ermittlung der gesamten Bruttobeschäftigung verwendet wurde, Vorleistungen für diese Produktion zur Abschätzung der indirekten Beschäftigung ermittelt. Im Ergebnis erhält man so eine Abschätzung zu Höhe und Struktur der Nachfrage nach inländischen Vorleistungsgütern, differenziert nach dem Ort der Nachfrage. Für eine Lokalisierung der indirekten Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien stellt sich aber die Frage nach dem Herkunftsort dieser Vorleistungen. In dem hierzu entwickelten Regionalmodell werden die Lieferverflechtungen innerhalb und zwischen den Bundesländern mithilfe fundierter Hypothesen abgebildet. Einflussfaktoren auf die Höhe der Parameter in diesem nach 63 Gütergruppen differenzierten Modell sind die Marktanteile (und damit auch implizit die Größe) der Bundesländer bei den jeweils nachgefragten Gütern sowie die Distanzen zwischen den Bundesländern.

Die Regionalisierung der Beschäftigung aus der Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen aus Biomasse findet auf Grundlage von Indikatorensets statt. Diese bilden die unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen ab und werden für die einzelnen Biomassetypen unterschiedlich gewichtet. Die Datengrundlagen für die Ermittlung der Indikatoren sind sehr vielfältig. Sie reichen von der Statistik über Anbaukulturen bis zu den installierten Leistungen von Biomasse-Heiz(kraft)werken.

Tabelle 2-26

**Methodik der Regionalisierung der Bruttobeschäftigung für die Bundesländer**



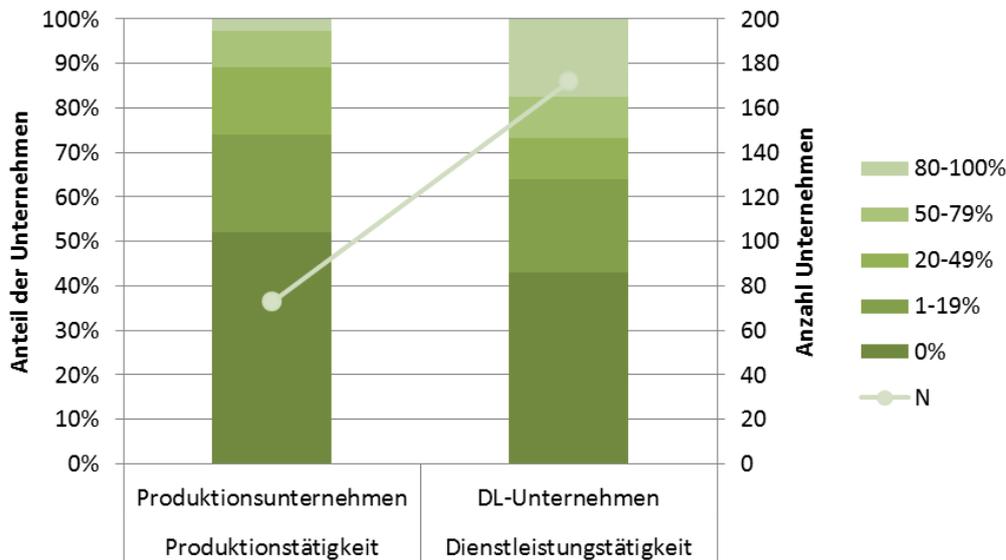
Quelle: BMU 2012, eigene Anpassung.

Die Schätzung der Bruttobeschäftigung für die Bundesländer erfordert eine detaillierte Erfassung und Modellierung von indirekten Effekten im regionalen Kontext. Auf Ebene der Bundesländer besteht die Notwendigkeit bei der Ermittlung von Effekten der Vorleistungsverflechtung nach dem "Woher?" und dem "Wohin?" zu fragen. Wie bereits bei der Vorstellung der Methodik thematisiert (vgl. Distelkamp et al. 2011, Ulrich et al. 2012) sind empirische Grundlagen zu regionalen Verbleib von Vorleistungsnachfrage bzw. den regionalen Lieferverflechtung nicht oder nur themenspezifisch für alle Bundesländer vorhanden. Deswegen wurde in der Unternehmensbefragung im Sommer 2013 danach gefragt, welchen Anteil der Vorleistungen Unternehmen aus einem Umkreis von 100km bezogen werden. Unterschieden wurde nach Produktions- und Dienstleistungstätigkeiten. 328 Unternehmen

beantworteten mindestens eine dieser Fragen, darunter 110 Produktionsunternehmen und 173 Dienstleistungsunternehmen.

Abbildung 2-23

**Angaben der Unternehmen zur Herkunft von bezogenen Vorleistungen, Anteil im Umkreis von 100 km**



Quelle: Eigene Berechnungen.

In Abbildung 2-23 sind die Angaben zum 100km-Umkreis-Anteil in fünf Klassen eingeteilt. Über die Hälfte der Produktionsunternehmen gaben an, dass sie keine Vorleistungen aus der Region beziehen, nur 3% beziehen mehr als 80% der Vorleistungen für Produktionstätigkeiten aus der Region. Dieser Anteil ist bei Dienstleistungsunternehmen deutlich höher. Rund 17% der Unternehmen gaben an mehr als 80% der Vorleistungen für ihre Dienstleistungstätigkeit aus dem Umkreis von 100 km zu beziehen. Aber auch hier kommen mehr als 43% nicht aus der eigenen Region. Gewichtet man die Angaben mit dem inländischen EE-Umsatz der Unternehmen ergibt sich für die Produktions-Vorleistungen eine intraregionale Quote von etwa 36%, Für Dienstleistungs-Vorleistungen beträgt der Mittelwert 38%.

Die Verteilung der Unternehmen mit Angaben auf die Technologieschwerpunkte konzentriert sich auf die Solarenergie. Sowohl bei den Technologien als auch den Vorleistungen waren Mehrfachnennungen möglich (vgl. Tabelle 2-27).

Die schwache Besetzung in einigen Technologien und die Möglichkeit zur Mehrfachnennung erschweren eine detaillierte Auswertung der Spartenzugehörigkeit. Für die Sparte Biogas scheint der Mittelwert für den intraregionalen Anteil verglichen mit Auswertungen für Photovoltaik und Windenergie besonders gering zu sein. Für die Windenergie ist der intraregionale Anteil an Vorleistungen zumindest für Dienstleistungstätigkeiten besonders hoch. Das

Erbringen der Dienstleistung "Betrieb & Instandhaltung" hat jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Angaben zum Vorleistungsbezug.

Tabelle 2-27

**Verteilung der Anzahl Unternehmen mit Angaben zur Herkunft der Vorleistungen auf Technologiegruppen und Art der Vorleistungen**

	Alle Unternehmen	Angaben zu VL für Produktionstätigkeit	Angaben zu VL für Dienstleistungstätigkeit
Windenergie	96	10	90
Solarenergie	304	77	254
biogene Energieträger	201	37	180
Sonstige	98	23	83

Quelle: Eigene Berechnungen.

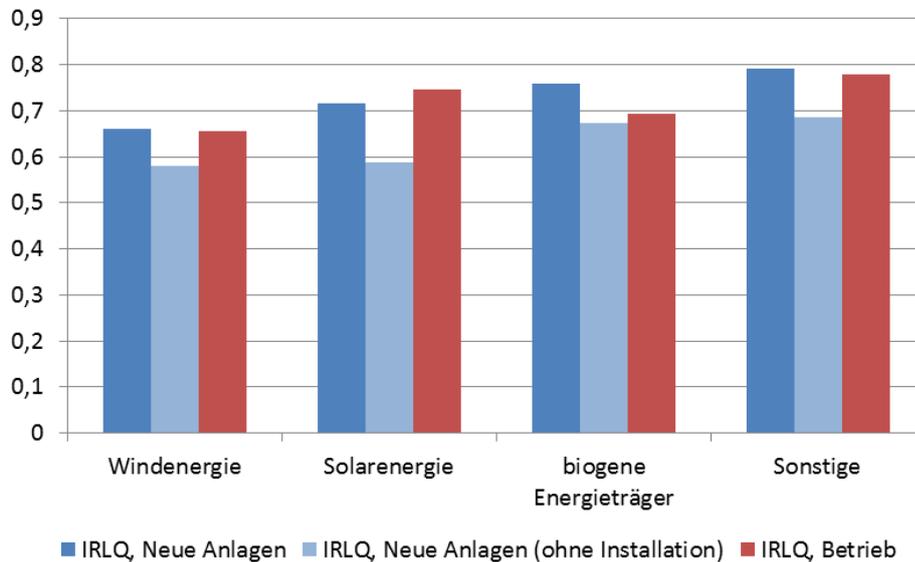
Diese Auswertungen ermöglichen nicht die fundierte Ableitung eines Modells zu den inter- und intraregionalen Lieferverflechtungen in Deutschland. Jedoch ermöglicht der Vergleich dieser Auswertungen mit Ergebnissen des Allokationsmodells eine gewisse Validierung. Einige Faktoren müssen dabei berücksichtigt werden:

- Für vier Bundesländer bedeutet ein Umkreis von 100km bereits eine Integration von Lieferungen von außerhalb des Bundeslandes. Für die meisten anderen Bundesländer unterschätzt die 100km-Quote die Intra-Länder-Quote.
- Das Allokationsmodell bzw. die zugrundeliegenden Kostenstrukturen berücksichtigt alle Vorleistungen, welche für den Aufbau einer neuen Anlage oder Betrieb einer bestehenden Anlage notwendig ist. Die institutionelle Sicht der Unternehmen auf ihre Tätigkeiten kann davon stark abweichen. Dienstleistungen, die als Gemeinkosten gelten, werden in der Regel weniger betrachtet als Materiallieferungen.
- Die Installation der Anlage ist im Modell den indirekten Effekten zuzuordnen (vgl. Kapitel 2.2.) Diese Bauleistungen sind ein großer Kostenfaktor und werden eher regional bereitgestellt.

Abbildung 2-24 zeigt die intraregionale Lieferquote, die sich aus den Ergebnissen des Allokationsmodells ergibt. Dabei wird nur der Erstrundeneffekt (entspricht etwa den Informationen, die in der Umfrage abgefragt wurden) ausgewertet. Die Quoten liegen mit 65-80% deutlich über den 30-40%, die sich in der Befragung ergeben haben. Alle zuvor erwähnten Faktoren tragen zu diesem Niveauunterschied bei. Zu sehen ist außerdem ein Durchschnitt aus allen Bundesländern, in denen Länder wie Bayern und NRW ein großes Gewicht haben.

Abbildung 2-24

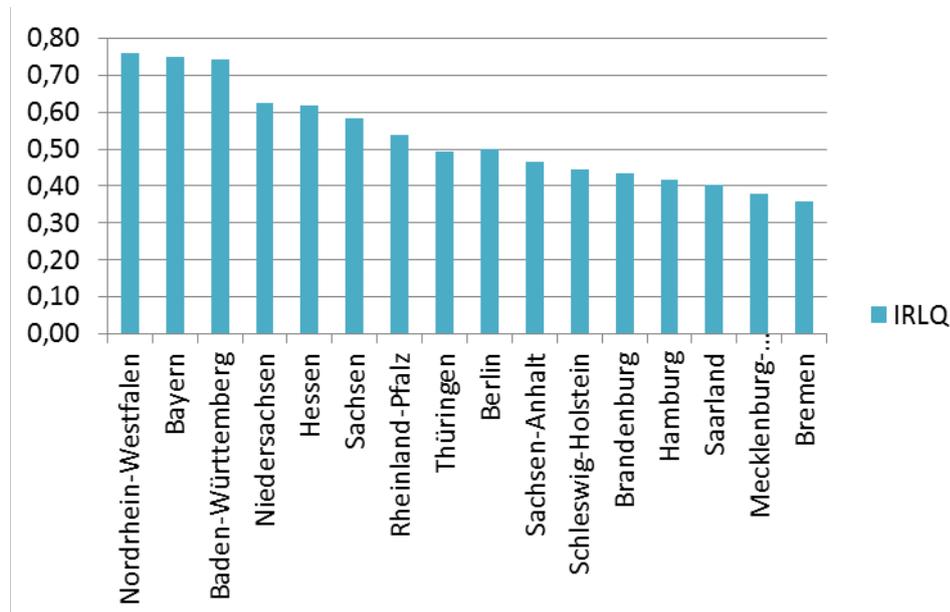
**Ergebnisse des Allokationsmodells zur Intraregionalen Lieferquote (IRLQ), Unterschiede nach Technologiegruppen**



Quelle: Eigene Berechnungen.

Der Einfluss der Struktur und des Gewichts der Bundesländer zeigt sich deutlich in Abbildung 2-25. Darin ist die durchschnittliche interregionale Quote im Kontext der gesamten EE-Nachfrage im Bereich "Neue Anlagen" zu sehen. Aus den Ergebnissen des Allokationsmodells wurde die im Modell als lokal angenommene Nachfrage nach Bauarbeiten und DL des Grundstückswesens ausgeschlossen. Zu beachten ist, dass der dargestellte Mittelwert bereits die Einflüsse der regionalen Branchenstruktur, der regionalen Branchenanteile und der bundesdeutschen Nachfragestruktur (nach Technologien) berücksichtigt. Für Bundesländer, für die ein Umkreis von 100km am ehesten repräsentativ ist (z.B. Schleswig-Holstein, Thüringen, Saarland) liegen die Werte zwischen 40 und 49%.

Abbildung 2-25

**Ergebnisse des Allokationsmodells zur Intraregionalen Lieferquote (IRLQ), Unterschiede zwischen den Bundesländern für „Neue Anlagen“**

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 2.6.3 Ergebnisse – Status quo

Im Folgenden wird über die regionale Zuordnung der für das Jahr 2013 ermittelten Bruttobeschäftigung berichtet. Unter der bundesweiten Summe von 371.400 sind auch 8.300 Beschäftigte durch öffentliche Mittel, in Behörden, der Verwaltung sowie in Forschung und Entwicklung zusammengefasst. Die Regionalisierung der Bruttobeschäftigung berücksichtigt diese Beschäftigung in der Verwaltung und Forschung im Bereich Erneuerbare Energien nicht, weshalb der nationale Eckwert 363.100 beträgt.

Das Bundesland mit den meisten Arbeitsplätzen ist Bayern mit über 60.000 relativ dicht gefolgt von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen und schließlich – weitere 5.000 Beschäftigte weniger – Baden-Württemberg. Auf den untersten Rängen (vgl. „Rang b“ in Tabelle 2-28) befinden sich die Stadtstaaten und – mit der geringsten Bruttobeschäftigung von knapp 2.700 – das Saarland. Diese Darstellung spiegelt jedoch im Wesentlichen die Größenverhältnisse unter den Bundesländern wieder. Daher stellt sich ein Indikator, welcher die Bruttobeschäftigung je 1.000 Beschäftigte insgesamt darstellt, als deutlich aussagekräftiger und spannender heraus. Dieser „B-Anteil“ (vgl. Spalte c in Tabelle 2-28) spiegelt die relative Bedeutung wieder, welche die EE-Beschäftigung für den jeweiligen regionalen Arbeitsmarkt

hat. Im Durchschnitt kommen auf 1.000 Beschäftigte fast 10 EE-Beschäftigte, d.h. etwa jeder 100. Arbeitsplatz steht in Zusammenhang mit dem Ausbau erneuerbare Energien.

Tabelle 2-28

**Bruttobeschäftigung nach Bundesländern, Rangliste nach regionaler Bedeutung und Aufteilung nach Aktivitäten bzw. Tätigkeitsschwerpunkten**

Rang		Bundesland	Δ Rang (c)	Bruttobeschäftigung insgesamt			Anteile		
c	b			2012	2013	je 1000 Beschäftigte (2013)	Neue Anlagen	Betrieb & Wartung	Biomassebrenn-/Kraftstoffe
				a	b	c	c		
1	(5)	Sachsen-Anhalt		25.610	24.320	26,8			
2	(10)	Mecklenburg-Vorpommern	↗	14.220	14.980	23,2			
3	(7)	Brandenburg	↘	21.820	17.580	18,8			
4	(2)	Niedersachsen		55.180	55.200	16,0			
5	(15)	Bremen	↗	5.150	5.510	14,4			
6	(9)	Schleswig-Holstein	↗	15.300	15.740	13,7			
7	(12)	Thüringen	↘	14.520	11.460	12,5			
8	(1)	Bayern	↗	66.960	60.540	9,8			
9	(8)	Sachsen	↘	19.490	16.400	9,3			
10	(13)	Hamburg	↗	8.300	9.010	8,6			
11	(4)	Baden-Württemberg	↘	44.310	40.540	7,7			
12	(11)	Rheinland-Pfalz	↘	14.060	12.610	7,3			
13	(6)	Hessen		22.520	20.160	6,9			
14	(3)	Nordrhein-Westfalen		55.430	50.330	6,2			
15	(16)	Saarland		2.630	2.650	5,6			
16	(14)	Berlin		6.990	6.070	3,9			
		Westdeutschland		289.840	272.290	8,9			
		Ostdeutschland		102.650	90.810	13,5			
		Deutschland		392.490	363.100	9,7			

Quelle: Eigene Berechnungen.

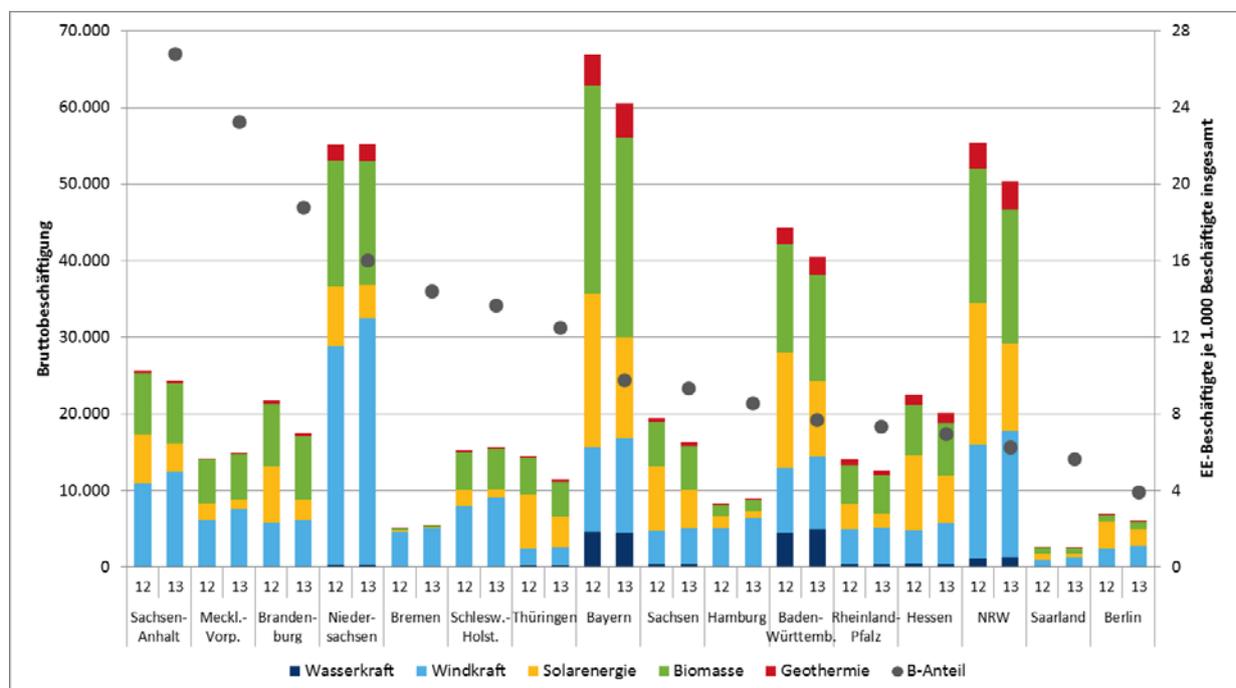
In einer Rangliste nach dieser Kennzahl findet sich Bayern im Mittelfeld wieder und Nordrhein-Westfalen befindet sich auf einem der letzten Plätze. Vor allem zeigt sich, dass die EE-Branche in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg eine überragende Bedeutung hat. Es folgen die Küstenbundesländer mit Werten zwischen 14 und 16 EE-Beschäftigte je 1.000 Beschäftigte insgesamt (etwa jeder 70.). Eine vergleichsweise geringe Bedeutung hat die EE-Brachen in Berlin, aber auch im Saarland und in Nordrhein-Westfalen. Alle Flächenländer Ostdeutschlands befinden sich in der oberen Hälfte der Rangliste. Insgesamt entfällt genau ein Viertel der Bruttobeschäftigung auf Ostdeutschland, obwohl hier nur 18% der Arbeitnehmer in Deutschland arbeiten.

Die Bruttobeschäftigung im Bereich Windenergie ist in den nördlichen Bundesländern von besonders großer Bedeutung. Neben den Küstenanrainern zeichnen sich Sachsen-Anhalt und

– etwas weniger deutlich – Brandenburg durch relativ hohe Anteile aus. Die Bruttobeschäftigung durch den Ausbau der Nutzung von Solarenergie ist in den ostdeutschen Flächenländern besonders stark vertreten. Nur in Mecklenburg-Vorpommern kann die Bedeutung dieser Technologiegruppe als durchschnittliche eingestuft werden, so wie in weiten Teilen West- und Süddeutschlands. Auch die Nutzung biogener Energieträger hat im Osten eine überdurchschnittlich hohe Bedeutung für den Arbeitsmarkt. Unter den großen Flächenländern Westdeutschlands zeigt nur Nordrhein-Westfalen eine unterdurchschnittliche Bedeutung.

Abbildung 2-26

**Verteilung der Länder-Bruttobeschäftigung auf Technologiegruppen, sortiert nach regionaler Bedeutung**



Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Bruttobeschäftigung kann des Weiteren unterschieden werden in Effekte durch den Bau und die Installation neuer Anlagen, durch Betrieb und Wartung bestehender Anlagen sowie für die Bereitstellung von Biomasse für die Verwendung als Brenn- und Kraftstoff. Die Verteilung auf diese drei Komponenten ist in Tabelle 2-28 graphisch dargestellt, wobei die Größe der Balken sich aus der relativen Bedeutung (c) ergibt. Im Durchschnitt stehen knapp 64% der Beschäftigung im Zusammenhang mit der Anlagenproduktion und –installation, ca. 21% können dem Bereich Betrieb und Wartung zugerechnet werden. Der Betrieb und die Wartung bestehender Anlagen hat in Ostdeutschland eine besonders hohe Bedeutung, was im Wesentlichen auf die Struktur in Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Branden-

burg zurückzuführen ist. Große Bedeutung des Bereichs „Neue Anlagen“ ist vor allem in den Standorten der Windkraftindustrie – Norddeutschland plus Sachsen-Anhalt zu beobachten. Die Standorte der PV-Industrie haben nicht (mehr) diesen deutlichen Einfluss auf die Struktur in den entsprechenden Bundesländer. Auffällig ist allgemein die ausgeglichene Struktur in den Flächenländern insbesondere in Ostdeutschland auf der einen und die dominante Bedeutung von Produktionstätigkeiten für kleinere Bundesländer insbesondere die Stadtstaaten auf der anderen Seite. Die Beschäftigung aus der Bereitstellung von Biomasse spielt dabei eine besondere Rolle. Jedoch werden nicht in allen Flächenländern die Biomassepotenziale intensiv genutzt, hier besteht ein deutliches Gefälle von Nordost nach Südwest.

#### **2.6.4 Jüngste Entwicklungen**

Für die räumliche Verteilung der relativen Bedeutung der EE-Beschäftigten (vgl. Abbildung 2-26) gibt es unterschiedliche Erklärungshintergründe. Für die Entwicklung der Bruttobeschäftigung in den Bundesländern war zwischen 2012 und 2013 vor allem der Einbruch der PV-Installationen prägend. Der Rückgang war in den Bundesländern unterschiedlich stark wie in Abbildung 2-27 zu sehen ist. Die Unterschiede im Ausbautempo sind generell recht hoch. In Mecklenburg-Vorpommern sind im Jahr 2013 pro Einwohner über 400 MW an Photovoltaik und Windenergie installiert worden, während in Nordrhein-Westfalen ein Wert von 40 MW erreicht wurde.

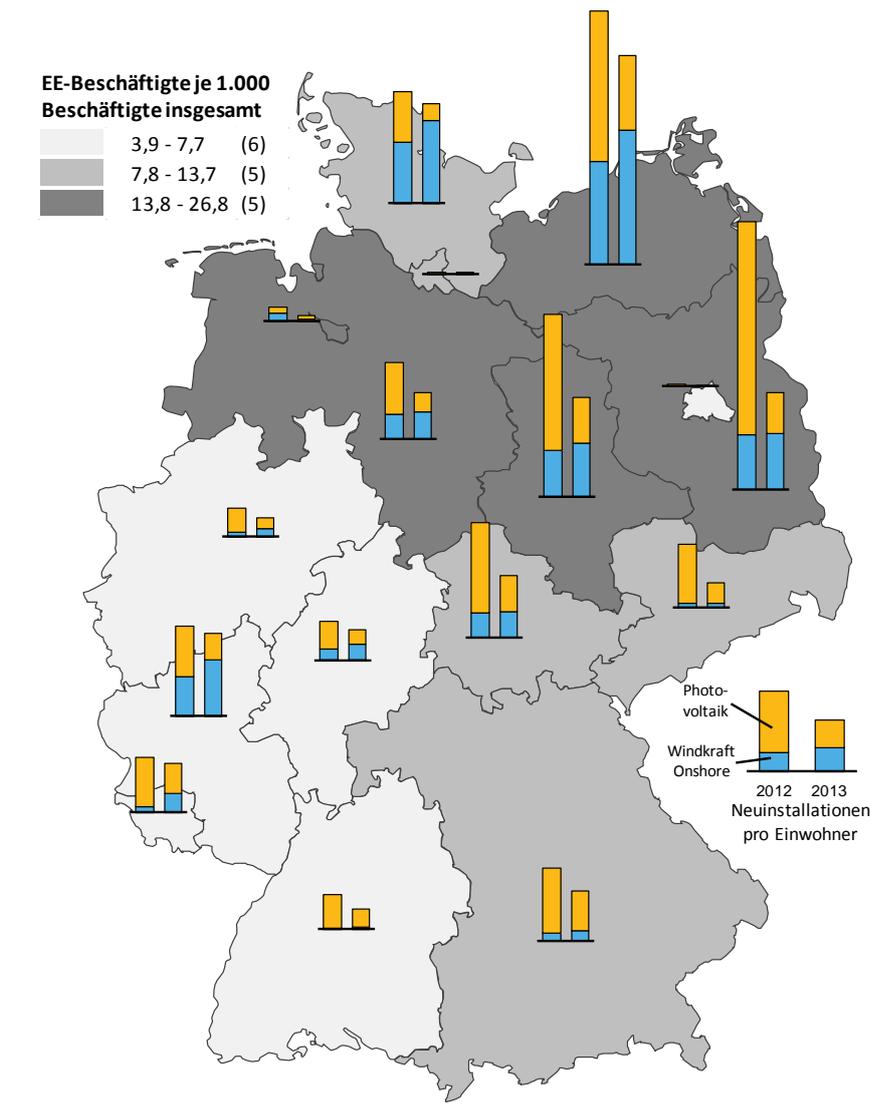
Für die Bruttobeschäftigung eines Jahres sind jedoch vor allem die Veränderungen in den Neuinstallationen bedeutsam. In diesem Kontext war der Rückgang für den Süden Ostdeutschlands besonders dramatisch, während in Rheinland-Pfalz und im Saarland sich die Neuinstallationen nur wenig verändert haben.

Des Weiteren hat sich die Konsolidierung der PV-Industrie fortgesetzt, wobei einige Werke geschlossen und in großen Umfang Mitarbeiter entlassen wurden. Davon waren insbesondere Brandenburg und Thüringen betroffen. Von besonderer Bedeutung war die positive Entwicklung für den Windenergiemarkt und die Windenergieinstallationen. Diese Gegenläufigkeit zwischen den Entwicklung in der Solarenergie und Windenergie hat jene Bundesländer besser gestellt, die ihren Schwerpunkt auf Beschäftigte in der Windenergie haben, während Solarenergie-Standorte in besonderem Maße negativ betroffen waren. Diese Entwicklungsmuster sind in Abbildung 2-28 zu sehen. Die Bruttobeschäftigung ist in den norddeutschen Bundesländern weiter gestiegen – nur für Niedersachsen ergibt sich eine Stagnation. Die Bedeutung der sich positiv entwickelnden Windenergie spielt dabei eine große Rolle. Im Binnenland sind stärkere Rückgänge in Ostdeutschland zu beobachten, wobei Sachsen-Anhalt durch die Bedeutung der Windenergie von dramatischen Entwicklungen verschont

geblieben ist. Die eher durchschnittlichen Entwicklungen im Westen und im Süden korrespondieren mit weniger starken Rückgängen der PV-Industrie und einer eher ausgeglichenen Beschäftigungsstruktur bzgl. der Technologiegruppen. Für das Saarland ergibt sich noch ein überdurchschnittliches Wachstum, im Wesentlichen weil die Neuinstallationen kaum zurückgegangen sind.

Abbildung 2-27

**Verteilung der Neuinstallationen (Wind onshore, Photovoltaik) in den Jahren 2012 und 2013**



Quelle: BWE, BNA\_PV.

Es stellt sich allgemein die Frage, wie hohe (relativ oder absolut) Bruttobeschäftigung in den einzelnen Bundesländern zustande kommen, oder warum sich die Bruttobeschäftigung innerhalb Deutschlands wie beschrieben verteilt. Aus den Strukturen und Entwicklungen der

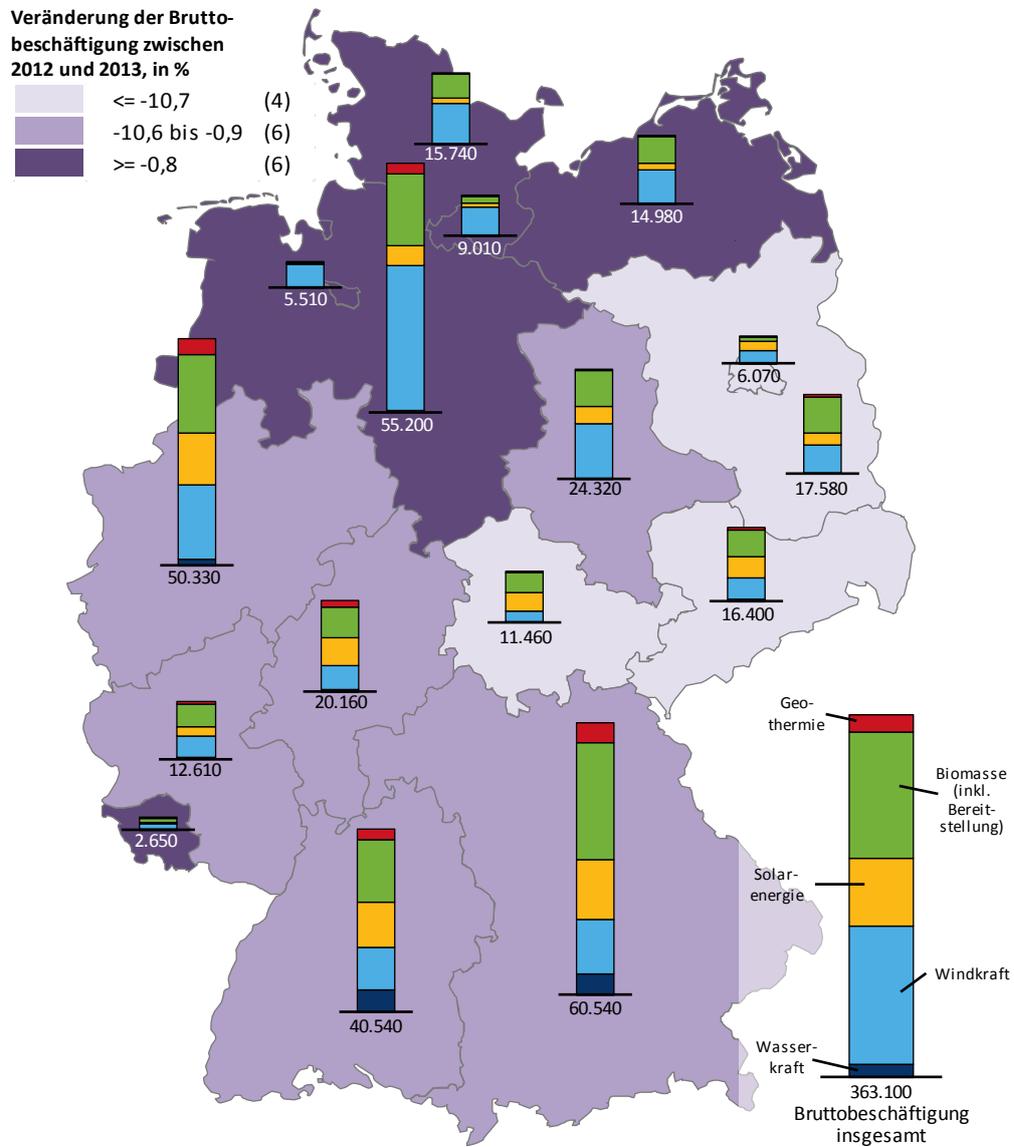
letzten Jahre lassen sich die prägenden Einflüsse auflisten aber auch grob in ihrer Bedeutung gewichte. Besonders hohen Werten liegen meist einer der folgenden, in ihrer Bedeutung sortierten Einflüsse zugrunde.

- a. Konzentration von Unternehmen, die EE-Stromerzeugungsanlagen herstellen. Diese Unternehmen sind häufig auf Windkraft und Photovoltaik spezialisiert und haben sich fast ausschließlich auf diesem Geschäftsfeld etabliert. Dabei sind auch die Zentralverwaltungsstandorte von Bedeutung.
- b. EE-Ausbau im jeweiligen Jahr, insbesondere in der Stromerzeugung.
- c. Anbauflächen für Ölfrüchte und Pflanzen für Biogassubstrat.
- d. Bestand an installierten EE-Anlagenkapazitäten, die zu einem Grundbestand an Beschäftigung für Wartung und Betrieb führen
- e. Konzentration von Unternehmen, die sich aus dem Geschäftsfeld der konventionellen Technologien heraus im Bereich EE etabliert haben. Hier handelt es sich um Betriebe, die Komponenten von Heizungsanlagen fertigen, die sowohl mit fossilen als auch mit erneuerbaren Brennstoffen befeuert werden können. Aber auch solarthermische Anlagen und Wärmepumpen werden von diesen Unternehmen teilweise gefertigt.
- f. Sonstige Unternehmen, die fast ausschließlich EE-Anlagen oder Biokraftstoffe herstellen.
- g. Neuinstallation und Bestand an Anlagen zur Erzeugung von Wärme, sowie Bereitstellung von fester Biomasse als Brennstoff.

Der Ausbau von EE-Stromerzeugungsanlagen zählt demnach zu den wichtigsten Einflüssen auf die EE-Beschäftigung – in zweifacher Hinsicht, denn das Niveau des Ausbaus bestimmt auch langfristig die Höhe der Bruttobeschäftigung im Bereich Wartung. Diese Komponente dürfte in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Die aufgelisteten Einflüsse führen dazu, dass sich eine gewisse Konzentration der EE-Beschäftigten innerhalb Deutschlands herausgebildet hat. Auch die Tätigkeitsschwerpunkte haben sich regional unterschiedlich entwickelt. Als räumlich ausgleichender Faktor ist die indirekte Beschäftigung durch Vorleistungslieferungen zu nennen. Sie sorgt unter anderem dafür, dass auch in Bundesländern mit unterdurchschnittlichen Ausbautätigkeiten, aber mit hohen Marktanteilen für Maschinenbau- und Elektrotechnikprodukte, die Bedeutung des Ausbaus erneuerbarer Energien für den Arbeitsmarkt ein beachtliches Niveau erreicht hat.

Abbildung 2-28

Entwicklung der Bruttobeschäftigung zwischen den Jahren 2012 und 2013 sowie Struktur im Jahr 2013



Quelle: Eigene Berechnungen.

### **3 Zwischenfazit: Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute – und morgen?**

Betrachtet man die mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland einhergehende Entwicklung der Bruttobeschäftigung in diesem Bereich, so kann man bei einem Anstieg der Beschäftigung von 160.000 Personen im Jahr 2004 auf rund 370.000 Personen im Jahr 2013 von einer erfolgreichen Entwicklung sprechen. Zu dieser Entwicklung haben die Investitionen in neue EE-Anlagen, die Exporterfolge deutscher Anbieter auf den Weltmärkten, die steigende Bedeutung des Betriebs und der Wartung des in Deutschland installierten Anlagenbestandes, die Bereitstellung von Biomasse sowie die Aufwendungen für Forschung beigetragen. Trotz der Marktkonsolidierung im PV-Bereich, die zuletzt zu spürbaren Beschäftigungseinbußen geführt hat, trotz turbulenter Entwicklungen bei den Biokraftstoffen, trotz einiger Anreize, die Fehlentwicklungen begünstigt zu haben schienen und korrigiert wurden, hat sich im Laufe der Jahre eine innovative und international erfolgreiche Industrie herausgebildet, die zusammen mit ihren Zulieferern rund 370.000 Menschen Arbeit bietet.

Das Umfeld des EE-Ausbaus hat sich seit dem ersten Bericht in 2006 sowohl international – global ebenso wie europäisch – als auch national erheblich verändert. Der EE-Anteil am Stromverbrauch stieg von 11,6 % (2006) auf 25,6 % im Jahr 2013. Die Photovoltaik wuchs von 2,9 GW installierter Leistung (2006) auf 35,9 GW im Jahr 2013 an. Der Preis für ein kW Photovoltaik fiel von 5.100 €/kWp auf 1.450 Euro pro kWp.

Andere europäische Vorreiter der Förderung erneuerbarer Energien wie Spanien zeigten einen Sinneswandel in der Förderung und schafften die heimische Solarindustrie dadurch ab, sogar bevor sie ausprobieren konnte, ob diese der neuen Konkurrenz aus Asien gewachsen war. Die deutsche Solarindustrie zeigt sich der Konkurrenz teilweise gewachsen, die marktbeherrschende Stellung mussten Amerikaner und deutsche Hersteller jedoch an asiatische Hersteller, allen voran den Chinesen abtreten. Auch bei den Neuinstallationen hat Asien allen anderen Ländern und Regionen den Rang abgelaufen.

In der Untersuchung 2006 wurden zwei unterschiedliche Ausbaupfade für Deutschland verglichen, denn die Weiterentwicklung der Förderung war zu diesem Zeitpunkt noch ungewiss. Sie ist es wieder, jedoch sind die Ausbauziele zunächst durch die europäischen Ziele und zuletzt durch die Energiewendebeschlüsse der Bundesregierung festgelegt. Diese Ziele werden wahrscheinlich weiterhin verfolgt und umgesetzt.

Was also treibt die Beschäftigung durch die erneuerbaren Energien in der Zukunft? Dieser Frage widmet sich der zweite Teil dieser Untersuchung. Dabei werden drei wichtige Einflussgrößen identifiziert. Zunächst übt der heimische Ausbau erheblichen Einfluss auf die Beschäftigung aus. Anlagen, die in Deutschland hergestellt und betrieben werden sorgen zumindest in den beteiligten Branchen für mehr Beschäftigung. Allerdings sorgen sie – derzeit noch - auch für Mehrkosten durch die Umverteilung der Differenzkosten, die sich in den Preisen der Energieversorgung niederschlagen und dämpfende Wirkungen auf die Volkswirtschaft insgesamt entfalten.

Die internationale Marktentwicklung und Deutschlands Rolle auf diesen Märkten bestimmen die Exporte von EE-Anlagen und Produktionsanlagen. Die Nachfrage des Auslands nach deutschen EE-Anlagen oder nach Produktionsanlagen wiederum führt zu Beschäftigung in den exportierenden Wirtschaftszweigen, ohne dass sich die Kosten für Energie im Inland ändern.

Daher werden im Folgenden die nationalen und internationalen Szenarien ebenso ausführlich dargestellt wie die sich daraus ableitenden Investitionen und die Wertschöpfung deutscher Unternehmen entlang dieser nationalen und internationalen Wertschöpfungsketten. Die Einflussgrößen entfalten ökonomische Wirkungen und beschleunigen oder hemmen die wirtschaftliche Entwicklung. Nachfolgend wird daher auch die Frage beantwortet, ob die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung mit EE-Ausbau besser oder schlechter verläuft als ohne. Zu diesem Zweck müssen mehrere Szenarien entwickelt werden, die eine solche Aussage erlauben. Das bedeutet, dass für den EE-Ausbau ein kontrafaktisches Szenario entwickelt werden muss, das zum Vergleich herangezogen werden kann. Ebenso wird das Möglichkeitsfeld der zukünftigen Beteiligung am internationalen Handel ausgelotet, indem unterschiedliche Welten für diesen Handel und für Deutschlands Anteil hieran entwickelt werden.

## **4 Der Ausbau erneuerbarer Energien bis 2050 – National und International**

### **4.1 Ausbau national**

#### **4.1.1 Ausbauszenario und Nullszenario – Szenarienphilosophie**

Die Abschätzung der nationalen Effekte des EE-Ausbaus basiert im Wesentlichen auf dem EE-Ausbauszenario der vom DLR erarbeiteten BMU-Studie „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland“ (BMU 2012) und dem dortigen Szenario A. Gegenüber den „Langfristszenarien“ aus dem Jahre 2011 wurde das sogenannte „Ausbauszenario“ (s.u.) der vorliegenden Studie jedoch aktualisiert. Hierbei wurde der tatsächlichen Entwicklung bis einschließlich 2013 beim EE-Ausbau in Deutschland bzw. den Kostenentwicklungen von EE-Technologien Rechnung getragen, die so in BMU (2012) noch nicht abzusehen waren. Aktualisierungen der Mengengerüste - Energieverbrauch, Energiebereitstellung aus erneuerbaren und konventionellen Energien, installierte Leistungen Strom- und Wärmeerzeugung – betreffen in erster Linie den kurzfristigen Zeitraum bis ca. 2030. Nach 2030 ist das „Ausbauszenario“ der vorliegenden Studie weitgehend identisch mit dem Szenario A der „BMU Langfristszenarien 2011“. Daher wird hier auf eine detaillierte Dokumentation des Ausbauszenarios verzichtet.

Die „Langfristszenarien“ des BMU sind grundsätzlich als Zielszenarien (normative Szenarien) zu verstehen, die einen konsistenten, technisch machbaren und ökonomisch sinnvollen Transformationspfad des Energiesystems Deutschlands in Hinblick auf die im Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi 2010a) definierten Ziele bzgl. Effizienz, Einsatz von erneuerbaren Energien und CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung aufzeigen. Daher sind die „Langfristszenarien“ unter keinen Umständen als Prognose einer zukünftigen Entwicklung zu verstehen (schon gar nicht in der kurzen Frist) – im Gegenteil: Elementarer Bestandteil von Zielszenarien ist die Analyse, welche der im Szenario unterstellten Entwicklungen (z.B. bzgl. Effizienz, EE-Ausbau, Netzausbau, Akzeptanz bestimmter Technologien etc.) in welchem Maße nicht ohne weitere Anpassungen der energiepolitischen, ökonomischen, aber auch gesellschaftlichen Rahmenbedingungen eintreten werden, um so Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger abzuleiten, deren Umsetzung als nötig erachtet wird, um die zuvor definierten Ziele zu erreichen. Darüber hinaus ermöglichen es Zielszenarien, weitergehende Fragestellungen wie z.B. zur Versorgungssicherheit oder zu den Kosten der im Szenario skizzierten Energieversor-

gung quantitativ zu untersuchen, um so ggf. mehrere Szenarien hinsichtlich dieser Parameter zu vergleichen und zu bewerten.

Über die jährlichen Mengengerüste hinaus sind die Langfristszenarien mittels des Energiesystemmodells REMix<sup>17</sup> des DLR in dem Sinne validiert, dass die in den Langfristszenarien angenommenen installierten Leistungen an konventionellen und erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien in Zusammenspiel mit konservativen Annahmen zum Speicherausbau und zum Lastmanagement in der Lage sind, zu jeder Stunde des Jahres eine sichere Stromversorgung Deutschlands zu sicher zu stellen.

Zur Bestimmung der Nettoeffekte des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf die Beschäftigung und wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland wird dem Ausbauszenario ein sogenanntes „Nullszenario“ gegenüber gestellt.

Die Grund-„Philosophie“ des Nullszenarios ist es, den Anlagenbestand zur Strom- und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien auf dem Niveau von 1995 eingefroren zu lassen. Damit beschreibt das Nullszenario, wie die deutsche Energieversorgung heute und in Zukunft aussehen könnte, wenn seit 1995 keine Instrumente zur Förderung der erneuerbaren Energien zum Einsatz gekommen wären, damit kein EE-Ausbau stattgefunden hätte (und auch bis 2050 nicht erfolgen würde) und entsprechend der Energiebedarf durch fossile Energien gedeckt werden müsste. Als Stichjahr für den Beginn des EE-Ausbaus wurde das Jahr 1995 gewählt, da erst nach diesem Stichjahr durch den Einsatz staatlicher Förderinstrumente ein substantielles Wachstum „neuer“ EE-Technologien erfolgte. Die seit langem bestehende Nutzung der Wasserkraft sowie der Biomasse in Einzelheizungen werden mit dem Stichjahr 1995 im Nullszenario eingefroren. Im Verkehrssektor spielen entsprechend dieser Philosophie Biokraftstoffe und EE-H<sub>2</sub> im Nullszenario keine Rolle. Aus der Differenz zwischen dem Ausbauszenario und dem Nullszenario, das die Referenz- bzw. die „Null“-Linie des EE-Ausbaus darstellt, lassen sich mittelbar oder unmittelbar die oben erwähnten ökonomischen Effekte des EE-Ausbaus für die Vergangenheit, aber auch für die zukünftige EE-Entwicklung, wie sie im Ausbauszenario angenommen ist, quantifizieren.

Bzgl. des *Nutzenergiebedarfs* (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Kälte, mechanische Energie, Strom für IKT und Elektrogeräte) und bei Umfang und Struktur des Güterverkehrs bestehen keinerlei Unterschiede zwischen dem Ausbauszenario und dem Nullszenario.

---

<sup>17</sup> Das dynamische Energiesystem Modell REMix kann auf Basis zeitlich und räumlich hochaufgelöster Daten zu z.B. fluktuierender EE-Stromeinspeisung und Strombedarf überprüfen, inwieweit die in einem Szenario angelegten installierten Leistungen von EE- und konventionellen Stromerzeugern unter Berücksichtigung von Netzrestriktionen und einem europaweiten Last- und Erzeugungsausgleich jederzeit der Strombedarf gedeckt werden kann.

Entsprechend werden auch im Nullszenario die Effizienzziele des Energiekonzeptes bzgl. der Steigerung der Endenergieproduktivität, der Reduktion des Stromverbrauchs (Endenergieverbrauch der „klassischen“ Verbraucher), des Endenergieverbrauchs im Verkehr sowie bzgl. der energetischen Gebäudesanierung erreicht.

Beide Szenarien – Ausbauszenario wie Nullszenario - gehen davon aus, dass die Beschlüsse des Bundestages zum Kernenergieausstieg fristgerecht umgesetzt werden, d.h. die letzten Atomkraftwerke gehen im Jahr 2022 vom Netz. Bis dahin ist die jährliche Stromproduktion aus Atomkraftwerken in beiden Szenarien identisch. Der verbleibende Strombedarf wird im Nullszenario aus fossil befeuerten Kondensationskraftwerken und KWK-Anlagen gedeckt – abgesehen von einem Sockel von 27 TWh/a aus erneuerbaren Energien (überwiegend Wasserkraft, wenig Biomasse und Wind) – dem EE-Ausbaustand von 1995. Jedoch findet im Stromsektor des Nullszenarios eine relative Verschiebung von Kohle hin zu Gas statt, um den steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionskosten (Tabelle 4-2) Rechnung zu tragen. Auch wärmeseitig wird der EE-Sockel des Jahres 1995 – 76 PJ/a (nahezu ausschließlich Biomasse) – im Nullszenario beibehalten. Die Struktur der restlichen Wärmeversorgung ähnelt der Struktur von 1995 (bei insgesamt geringerem Wärmebedarf, s.o.).

Der Anteil der Personenverkehrsleistung, die über Elektromobilität gedeckt wird, ist in beiden Szenarien identisch (50% im Jahr 2050). Im Nullszenario wird jedoch der verbleibende Anteil der Personenverkehrsleistung ausschließlich von PKW mit Verbrennungsmotoren gedeckt, die wiederum ausschließlich mineralische Kraftstoffe einsetzen. Im Ausbauszenario spielen dagegen H<sub>2</sub>-Brennstoffzellenfahrzeuge mit 15% der Fahrleistung im Jahr 2050 eine signifikante Rolle. Darüber hinaus wird der Bedarf an Kraftstoffen in Verbrennungsmotoren (auch in Hybriden) in zunehmendem Maße über Biokraftstoffe gedeckt.

#### **4.1.2 Rahmendaten beider nationalen Szenarien**

Für beide Szenarien wird eine Reihe von Daten exogen behandelt, die nicht direkt oder indirekt vom EE-Ausbau beeinflusst werden. Die Bevölkerung zum Beispiel ist in beiden Szenarien gleich. Beide Szenarien gehen von einer kontinuierlich sinkenden Bevölkerung aus: Im Jahre 2050 wird die Bevölkerung Deutschlands nur noch ca. 90% des heutigen (2012) Wertes betragen. Ein Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche und ein Trend zu Single-Haushalten und Kleinfamilien führt hingegen zunächst zu einem Anstieg der Wohnfläche, die erst nach 2025 zurückgeht, im Jahr 2050 aber immer noch leicht über dem heutigen Niveau liegt. Zunehmende Wirtschaftsleistung, aber auch eine Zunahme des Transitverkehrs in Deutschland führen zu einer deutlichen Zunahme des Güterverkehrs in Deutschland um nahezu 50% bis 2050, während der Rückgang der Bevölkerung trotz höherer Pro-Kopf-Fahrleistung bis 2050

zu einem Personenverkehrsaufkommen führt, dass mit 1.053 Mrd. Personenkilometern ca. 7% unter dem Niveau von 2012 liegt (1.135 Mrd. pkm).

Die Basis der Ermittlung der Differenzkosten zwischen dem Ausbauszenario und dem Null-Szenario sind die Annahmen zur zukünftigen Kostenentwicklung der konventionellen und EE-Technologien in den Bereichen Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Szenarien für die Entwicklung der fossilen Energieträger und von CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten bis 2050. Alle Annahmen zu Investitionskosten, Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikats-Preisen sind im Ausbauszenario und im Nullszenario identisch.

Annahmen bzgl. der spezifischen Investitionen in erneuerbare und konventionelle Strom- und Wärmeerzeugung folgen weitgehend den Annahmen in BMU (2012), mit Aktualisierungen der Ist-Werte (s. Abschnitt 2.3) und ggf. dadurch nötig gewordenen Anpassungen der Annahmen zu ihrer zukünftigen Entwicklung. Abweichungen von BMU (2012) sind in Tabelle 4-1 dokumentiert.

Tabelle 4-1

**Spezifische Investitionskosten für erneuerbare Strom- und Wärmetechnologien**

	Einheit	2010	2012	2020	2030	2040	2050
Solarthermie	€/m <sub>2</sub>	731	862	578	410	345	305
PV	€/kW <sub>p</sub>	2.632	1.468	1.050	960	920	880
Wind onshore	€/kW <sub>el</sub>	1.461	1.469	1.273	1.198	1.173	1.160
Wind offshore	€/kW <sub>el</sub>	4.169	4.169	3.465	2.650	2.250	2.050
Wasser < 1 MW	€/kW <sub>el</sub>	4.142	3.975	4.375	4.750	5.375	6.000
Wasser > 1 MW	€/kW <sub>el</sub>	1.782	1.734	1.845	1.992	2.066	2.140
Biomasse-Einzelheizung	€/kW <sub>th</sub>	1.378	1.305	1.144	1.104	1.062	1.062
Biomasse Heizkraftwerk	€/kW <sub>el</sub>	5.072	4.994	4.717	4.794	4.787	4.818
Biogas-Anlage	€/kW <sub>el</sub>	3.577	3.414	3.143	3.017	2.865	2.824

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Entwicklung der Importpreise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle sowie von CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten folgt in dieser Studie im Wesentlichen den Annahmen des „Current Policies“-Szenarios des World Energy Outlooks (WEO) 2013 der IEA (2013)<sup>18</sup>. Die Annahmen zum Importpreis für Steinkohle mussten jedoch gegenüber IEA (2013) angepasst werden, da IEA (2013) für 2012 von Weltmarktpreisen für Steinkohle ausgeht, die um ca. 20% niedriger liegen, als die entsprechenden Werte in BMWi (2014) für Deutschland und für das Jahr 2012 tatsächlich ausgewiesen waren. Darüber hinaus endet der Betrachtungshorizont in IEA

<sup>18</sup> Annahmen hier: konstanter Wechselkurs 1€=1.285 US\$; mittlerer Wechselkurs 2012 laut Bundesbank 2014.

(2013) im Jahre 2035. Daher wurde für die vorliegenden Studien der Trend der Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise aus IEA (2013) über das Jahr 2035 hinaus bis 2050 extrapoliert.

Die Vergangenheitsentwicklung zeigte einerseits mehrere starke Preissprünge des Ölpreises, andererseits im Mittel jedoch eine stetig steigende Tendenz. Während in den 1990er Jahren ein Preis von 20\$ pro Barrel als niedrig bezeichnet wurde, gilt heute ein Preis von 60\$ pro Barrel bereits als außerordentlich günstig. Daher ist grundsätzlich die Annahme weiter steigender Preise fossiler Energieträger gerechtfertigt.

Die hier verwendeten Annahmen zur Preisentwicklung fossiler Energieträger und von CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten liegen leicht bis deutlich niedriger als die entsprechenden Preisannahmen des zentralen Preispfades A der BMU-Langfristszenarien 2011 (BMU 2012). Tabelle 4-2, Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 zeigen eine Übersicht: Während BMU (2012) für das Jahr 2050 einen Rohölpreis von 24,0 €/GJ erwartet (dortiger Preispfad A), gehen die Annahmen hier von einem 5% niedrigeren Rohölpreis im Jahr 2050 aus. Annahmen zu Importpreisen für Erdgas liegen in dem hier verwendeten Preisszenario für 2050 um ca. 20% niedriger als die Annahmen im Preispfad A aus BMU (2011), für Steinkohle und CO<sub>2</sub>-Zertifikate betragen sie ungefähr die Hälfte. Diese zum Teil deutlichen Unterschiede bzgl. der Preisannahmen für fossile Energieträger und CO<sub>2</sub>-Emissionen hier und in BMU (2012) spiegeln sich auch in deutlich höheren Differenzkosten des Ausbauszenarios gegenüber den BMU-Langfristszenarien 2011 (gerechnet mit deren Preispfad A) wieder (siehe Abschnitt 4.1.4)

Tabelle 4-2

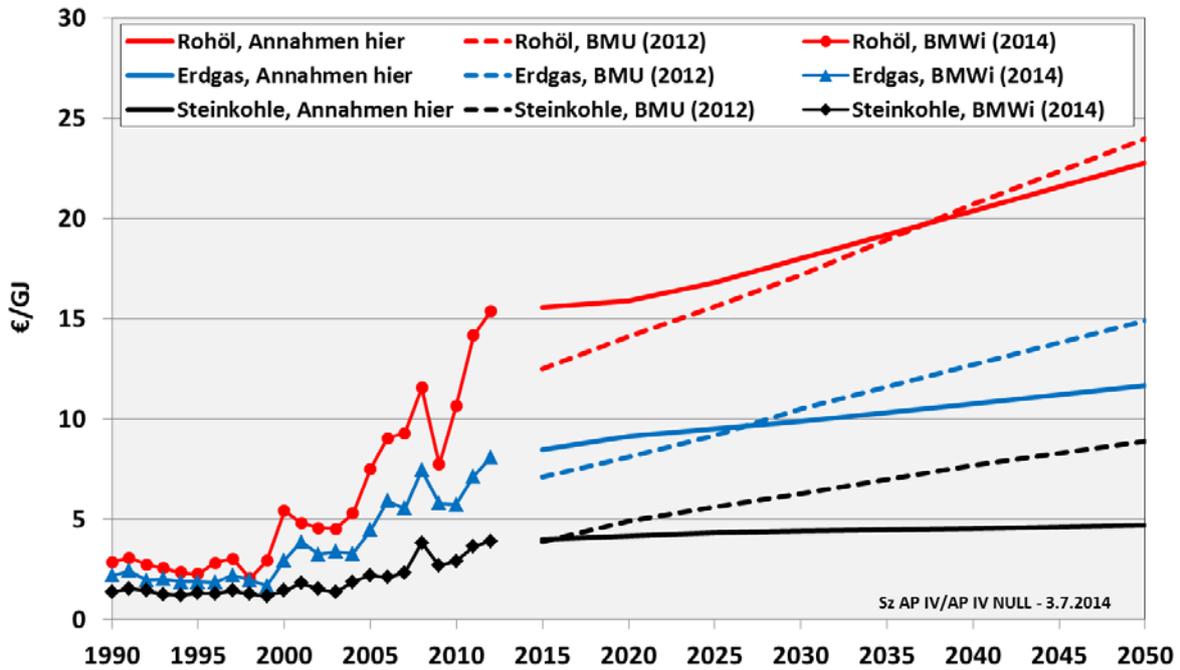
**Importpreise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle sowie von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten (reale Preise in €<sub>2012</sub>); zum Vergleich: Annahmen aus Preispfad A (BMU 2012)**

	Einheit	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Rohöl	€/GJ	8,5	11,1	15,4	15,9	16,8	18,0	20,4	22,8
Erdgas	€/GJ	5,1	6,0	7,8	9,1	9,5	9,9	10,8	11,7
Steinkohle	€/GJ	2,5	3,0	3,9	4,2	4,3	4,4	4,6	4,7
CO <sub>2</sub> -Zertifikate	€/t	22,1	14,3	7,7	11,7	15,6	19,5	27,2	35,0
Rohöl	€/GJ				14,1	15,6	17,2	20,7	24,0
Erdgas	€/GJ				8,1	9,2	10,5	12,7	14,9
Steinkohle	€/GJ				4,9	5,6	6,3	7,7	8,9
CO <sub>2</sub> -Zertifikate	€/t				27,0	35,0	45,0	60,0	75,0

Quellen: BMWi (2014), BMU (2012), eigene Annahmen basierend auf IEA (2013)(siehe Text).

Abbildung 4-1

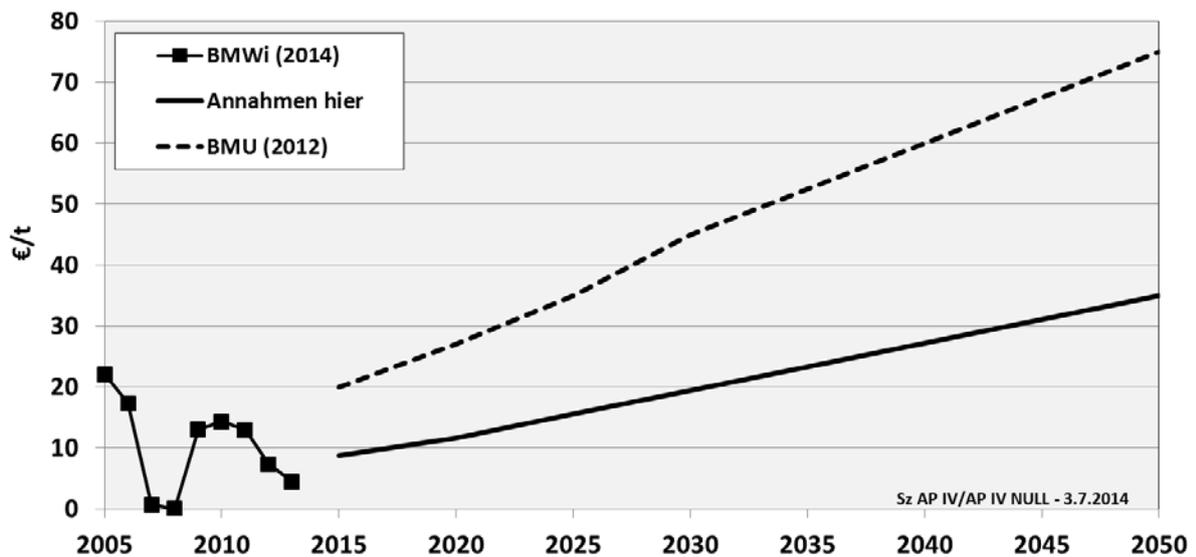
Entwicklung der Importpreise für fossile Energieträger (reale Preise in €<sub>2012</sub>)



Quellen: BMWi (2014), BMU (2012), eigene Annahmen basierend auf IEA (2013)(siehe Text).

Abbildung 4-2

Entwicklung der Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate (reale Preise in €<sub>2012</sub>)



Quellen: BMWi (2014), BMU (2012), eigene Annahmen basierend auf IEA (2013)(siehe Text)

Die BMU-Langfristszenarien 2011 (BMU 2012) gehen davon aus, dass ein funktionierender Markt mit einer entsprechende Verknappung der CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate Rahmenbedingungen dafür schafft, dass die Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate im Jahr 2050 die tatsächlichen externen Kosten der Emissionen widerspiegeln, deren Größenordnung z.B. in Krewitt und Schlomann (2006) auf 70 €/t, in Stern et al. (2006) auf 85 €/t geschätzt wurden. Die vergleichsweise niedrigen Zertifikatpreise für 2050 in den Annahmen hier (35 €/t) implizieren daher, dass auch im Jahr 2050 ein unter Klimagesichtspunkten fairer Wettbewerb fossiler und erneuerbarer Energietechnologien noch nicht vollständig realisiert werden kann.

#### **4.1.3 Energieverbrauch und –Bereitstellung im Ausbau- und im Nullszenario**

Sowohl das Ausbauszenario als auch das Nullszenario unterstellen, dass die anspruchsvollen Effizienzziele bzgl. Strom- und Endenergieverbrauch, wie sie im Energiekonzept der Bundesregierung formuliert sind (BMWi 2010a), bis zum Jahr 2050 im Wesentlichen erreicht werden können<sup>19</sup>. Ausbauszenario wie Nullszenario gehen daher von identischem Endenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte, Warmwasser, Prozesswärme und –Kälte sowie für Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnologien und stationäre mechanische Energie aus. Ebenso ist das Personen- und Güterverkehrsaufkommen (in pkm/a bzw. tkm/a) in beiden Szenarien identisch. Unterschiede zwischen beiden Szenarien ergeben sich allerdings für den Endenergieverbrauch im Verkehrssektor, da dort die unterschiedlichen Antriebstechnologien bzw. eingesetzten Endenergieträger mit ihren charakteristischen spezifischen Endenergieverbräuchen im Ausbauszenario zu einem leicht geringeren Endenergieverbrauch als im Nullszenario führen, was sich auch im gesamten Endenergieverbrauch bemerkbar macht (siehe Tabelle 4-3 und Tabelle 4-4).

Trotz eines identischen Endenergieverbrauchs an Strom in beiden Szenarien unterstellt das Ausbauszenario einen deutlich höheren Bruttostromverbrauch (Tabelle 4-3) als das Nullszenario (Tabelle 4-4). Ursache hierfür ist der – nicht als Endenergie zu zählende - Strom, der im Umwandlungssektor nur im Ausbauszenario für die H<sub>2</sub>-Elektrolyse für den Verkehrssektor eingesetzt wird.

---

<sup>19</sup> Die im Energiekonzept anvisierte Reduktion des Stromverbrauchs um 25% bis 2050 bezieht sich in der Logik der Szenarien nicht auf „neue“ Stromverbraucher wie Wärmepumpen und Elektromobilität, die bei hohen EE-Anteilen an der Stromerzeugung ein hohes Potential haben, durch Verdrängung fossiler Brennstoffe und höherer Effizienz signifikant zur CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung beizutragen.

Tabelle 4-3

**Energetische Eckdaten des Ausbauszenarios**

	Einheit	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie <sup>20</sup>	PJ/a	14540	14330	13447	11789	10476	9501	8314	7373
Mineralöl	PJ/a	5169	4796	4530	3704	3172	2781	2329	1790
Kohlen <sup>21</sup>	PJ/a	3626	3470	3345	2169	1787	1149	505	166
Erd-, Erdöl-, Grubengas	PJ/a	3229	3181	3148	3021	2939	2636	1984	1514
Fossile Energien insgesamt	PJ/a	12024	11446	11022	8894	7898	6566	4817	3470
Kernenergie	PJ/a	1778	1534	1322	731	0	0	0	0
Primärenergie EE	PJ/a	768	1413	1385	2279	2614	2935	3497	3904
Anteil EE an PEV	%	5,3	9,9	11,6	19,3	24,9	30,9	42,1	52,9
Endenergie	PJ/a	9239	9308	8993	7991	7386	6820	5992	5236
Endenergie EE	PJ/a	631	997	1138	1722	2015	2297	2742	3029
Anteil EE an EEV	%	6,8	10,7	12,8	21,6	27,3	33,7	45,8	57,8
Strom Endenergie	PJ/a	1864	1900	1880	1742	1645	1619	1526	1415
Strom Endenergie EE	PJ/a	227	372	454	785	908	1031	1167	1217
Anteil EE an EEV-Strom	%	12,2	19,6	24,2	45,1	55,2	63,7	76,5	86,0
Wärme Endenergie <sup>22</sup>	PJ/a	4849	4910	4648	3999	3712	3377	2912	2517
Wärme Endenergie EE	PJ/a	323	496	521	671	789	906	1102	1269
Anteil EE an EEV-Wärme	%	6,7	10,1	11,3	16,8	21,3	26,8	37,8	50,4
Kraftstoff Endenergie <sup>23</sup>	PJ/a	2526	2498	2464	2249	2029	1824	1554	1304
Kraftstoff Endenergie EE	PJ/a	81	129	163	266	317	360	473	542
Anteil EE an Kraftstoff	%	3,2	5,2	6,6	11,8	15,6	19,7	30,4	41,6
Bruttostromverbrauch <sup>24</sup>	TWh/a	605	605	601	564	548	548	562	574
EE Bruttostromerzeugung <sup>25</sup>	TWh/a	63	103	127	224	278	332	425	497
EE-Anteil an Bruttostromverbrauch	%	10,4	17,1	21,2	39,7	50,8	60,7	75,6	86,6
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mt/a	822	787	757	578	498	390	257	158
Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen seit 1990 <sup>26</sup>	%	17	21	24	42	50	61	74	84

Quelle: Eigene Berechnungen

Aufgrund des höheren EE-Anteils und der nach der Wirkungsgradmethode höheren Primärenergieeffizienz der erneuerbaren Energiequellen Sonne, Wind, Geothermie und Umweltwärme gegenüber brennstoff-basierten Erzeugungstechnologien ergibt sich im Ausbausze-

<sup>20</sup> Primärenergieverbrauch in dieser Studie ausschließlich nach der Wirkungsgradmethode berechnet.

<sup>21</sup> Einschließlich sonstige fossile Brennstoffe, einschließlich Stromimportsaldo.

<sup>22</sup> Ohne Stromeinsatz zur Wärmebereitstellung.

<sup>23</sup> Ohne Stromeinsatz im Verkehr.

<sup>24</sup> Bruttostromverbrauch mit Stromverbrauch Pumpspeicher.

<sup>25</sup> Einschließlich EE-Strom Importen.

<sup>26</sup> Emissionen 1990: 993 Mt. CO<sub>2</sub>.

nario trotz des nahezu identischen Endenergieverbrauchs ein deutlich geringerer Primärenergieverbrauch als im Nullszenario: Während der Primärenergieverbrauch im Ausbauszenario von derzeit (2012) 13.447 PJ auf 7.373 PJ im Jahr 2050 zurück geht, liegt er im Jahr 2050 im Nullszenario bei 8.530 PJ (siehe Tabelle 4-3, Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4

**Energetische Eckdaten des Nullszenarios**

	Einheit	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Primärenergie <sup>20</sup>	PJ/a	14795	14485	14051	12357	11230	10459	9454	8530
Mineralöl	PJ/a	5903	6075	5586	4593	4238	3856	3395	2939
Kohlen <sup>21</sup>	PJ/a	3626	3470	3723	3665	3599	3309	3066	2778
Erd-, Erdöl-, Grubengas	PJ/a	3229	3181	3225	3194	3138	3004	2703	2523
Fossile Energien insgesamt	PJ/a	12758	12725	12535	11451	10976	10169	9164	8240
Kernenergie	PJ/a	1778	1534	1322	731	0	0	0	0
Primärenergie EE	PJ/a	290	290	290	290	290	290	290	290
Anteil EE an PEV	%	2,0	2,0	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4
Endenergie	PJ/a	9239	9317	9001	8004	7411	6838	6026	5287
Endenergie EE	PJ/a	259	177	176	172	170	168	166	163
Anteil EE an EEV	%	2,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	3,1
Strom Endenergie	PJ/a	1950	1900	1880	1742	1645	1619	1526	1415
Strom Endenergie EE	PJ/a	101	99	98	94	92	90	88	85
Anteil EE an EEV-Strom	%	5,2	5,2	5,2	5,4	5,6	5,6	5,7	6,0
Wärme Endenergie <sup>22</sup>	PJ/a	4849	4910	4648	3999	3712	3377	2912	2517
Wärme Endenergie EE	PJ/a	77	77	77	77	77	77	77	77
Anteil EE an EEV-Wärme	%	1,6	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	3,1
Kraftstoff Endenergie <sup>23</sup>	PJ/a	2526	2507	2473	2262	2054	1842	1588	1355
Kraftstoff Endenergie EE	PJ/a	81	1	1	1	1	1	1	1
Anteil EE an Kraftstoff	%	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Bruttostromverbrauch <sup>24</sup>	TWh/a	629	605	601	564	536	525	497	464
EE Bruttostromerzeugung <sup>25</sup>	TWh/a	28	28	27	27	27	27	27	27
EE-Anteil an Bruttostromverbrauch	%	4,5	4,5	4,5	4,8	5,0	5,1	5,4	5,8
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mt/a	877	882	876	803	771	711	638	567
Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen seit 1990 <sup>26</sup>	%	12	11	12	19	22	28	36	43

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Nullszenario dominieren nach dem Kernenergieausstieg fossile Energieträger mit über 95% den Primärenergiebedarf. Auf entsprechend hohem Niveau bleiben energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen: Im Vergleich zu 1990 beträgt der Rückgang im Nullszenario 43%, der einerseits Effizienzgewinnen zugute zu halten ist (Tabelle 4-4), andererseits einer relativen Verschiebung des fossilen Energiemixes hin zu Erdgas. Im Ausbauszenario hingegen verdrängen

insbesondere Wind, Solarenergie, Biomasse und Geothermie in zunehmendem Ausmaß fossile Energieträger (Abbildung 4-4): Der EE-Anteil am Primärenergieverbrauch beträgt im Jahr 2050 nahezu 53%. An fossilen Energieträgern werden im Ausbauszenario auch 2050 noch in signifikantem Ausmaß Mineralölprodukte für insbesondere den Schwerlastverkehr eingesetzt; Gas wird überwiegend in KWK zur flexiblen Stromversorgung und Gewährleistung der Systemsicherheit benötigt.

Entsprechend der definierten Ziele können energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Ausbauszenario gegenüber dem Niveau von 1990 um 84% reduziert werden (Tabelle 4-3). Sie betragen im Jahr 2050 noch 158 Mt CO<sub>2</sub>/a. Damit reduziert der EE-Ausbau im Ausbauszenario im Vergleich zum Nullszenario die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2050 um 72% oder 409 Mt/a (Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5

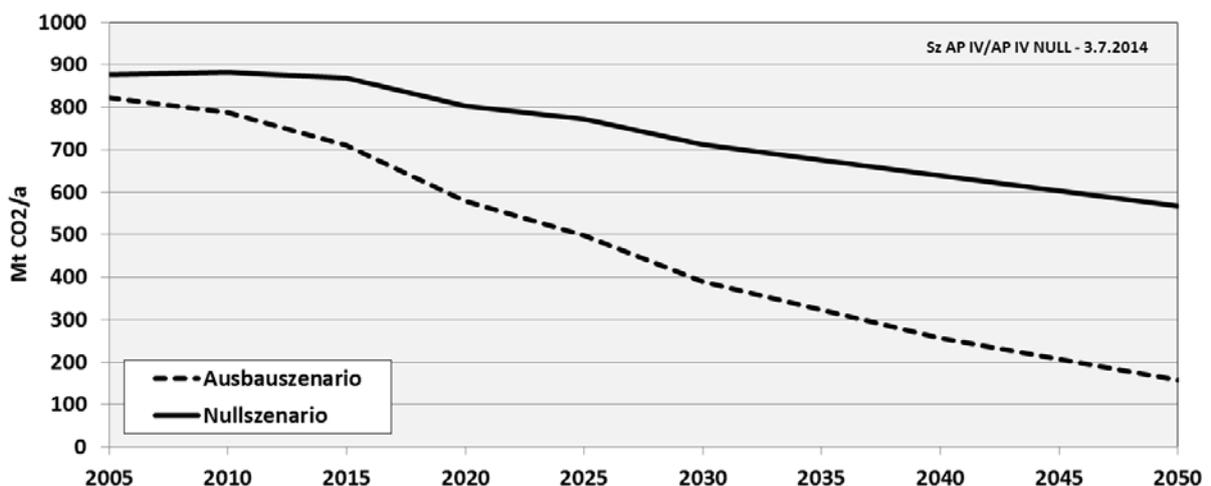
**Differenz Ausbauszenario minus Nullszenario bzgl. Primärenergieverbrauchs (erneuerbar und fossil), energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen, fossiler Energieimporte**

	Einheit	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Erneuerbare Energien	PJ/a	+478	+1123	+1095	+1989	+2324	+2645	+3207	+3614
fossile Energien	PJ/a	-733	-1279	-1513	-2557	-3077	-3602	-4347	-4771
- Mineralöl	PJ/a	-733	-1279	-1057	-889	-1066	-1075	-1066	-1149
- Kohlen	PJ/a	+0	+0	-379	-1496	-1812	-2160	-2561	-2612
- Erdgas	PJ/a	+0	+0	-78	-173	-199	-368	-719	-1010
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mt/a	-54	-95	-119	-225	-273	-322	-382	-409
fossile Energieimporte	PJ/a	-718	-1266	-1334	-1787	-2140	-2413	-2947	-3076

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 4-3

**Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Ausbauszenario und im Nullszenario (in Mt CO<sub>2</sub>/a)**

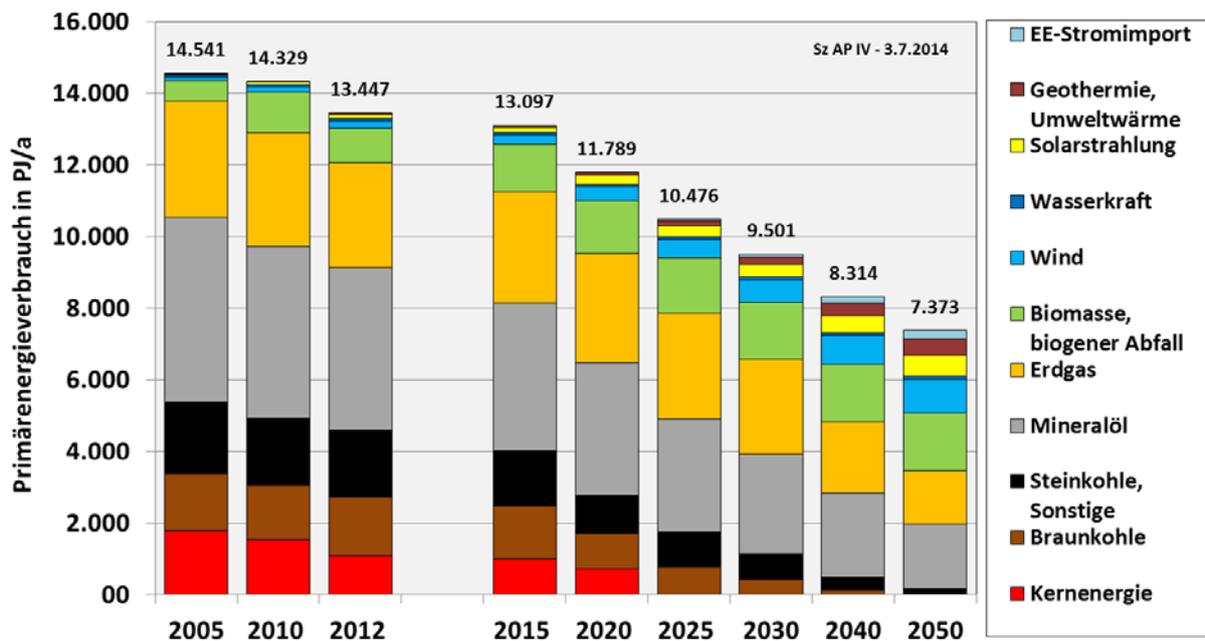


Quelle: Eigene Berechnungen.

Aufgrund der Dominanz fossiler Energieträger bei gleichbleibend hohen Importquoten für Mineralöl, Erdgas und Steinkohle im Nullszenario können im Ausbauszenario gegenüber dem Nullszenario Importe fossiler Energieträger in Höhe von über 3.000 PJ jährlich vermieden werden (Tabelle 4-5). Dem gegenüber stehen EE-Stromimporte im Ausbauszenario von 61,3 TWh/a (220 PJ), womit die Importabhängigkeit der deutschen Energieversorgung im Ausbauszenario im Vergleich zum Nullszenario deutlich abnimmt: Während sich die Primärenergie-Importquote im Ausbauszenario langfristig von derzeit ca. 70% auf unter 50% im Jahr 2050 verringert, werden im Nullszenario auch im Jahr 2050 noch über drei Viertel des Primärenergieverbrauchs importiert.

Abbildung 4-4

**Entwicklung der Struktur des Primärenergieverbrauchs im Ausbauszenario**



Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, wie sie im Ausbauszenario unterstellt wird, zeigen Tabelle 4-6 und Abbildung 4-5: Die EE-Stromerzeugung in Deutschland steigt von derzeit (2012) 142 TWh auf nahezu 430 TWh im Jahr 2050. Einschließlich EE-Strom-Importen (Import von regelbarem CSP-Strom über HGÜ-Leitungen, Import von Wind und anderem EE-Strom über das AC-Netz) beträgt das Brutto-Stromaufkommen aus erneuerbaren Quellen 490 TWh im Jahr 2050. Über die Hälfte der Stromerzeugung – 260 TWh – stammt aus Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen in Deutschland. Photovoltaik, Biomasse und EE-Stromimport tragen mit jeweils ca. 60 TWh ebenfalls signifikant zum EE-Stromaufkommen bei.

Tabelle 4-6

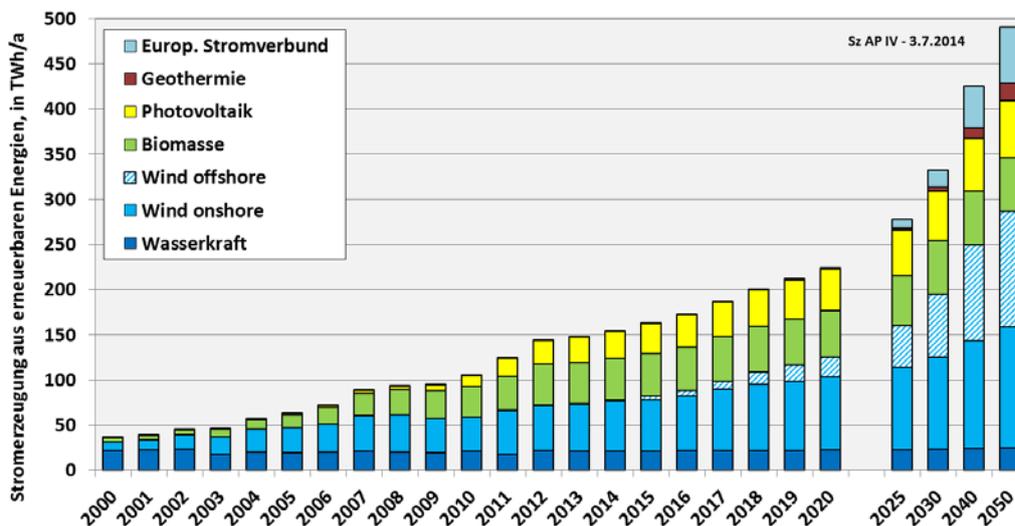
**Entwicklung des Stromaufkommens aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a)**

	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Wasserkraft	19,6	21,0	<b>21,8</b>	<b>22,3</b>	22,9	23,4	24,4	<b>25,0</b>
Windenergie	27,2	37,8	<b>50,7</b>	<b>102,7</b>	137,3	171,8	224,7	<b>261,2</b>
- onshore	27,2	37,6	<b>49,9</b>	<b>80,8</b>	91,4	102,0	119,4	<b>133,2</b>
- offshore	0,0	0,2	<b>0,7</b>	<b>21,8</b>	45,8	69,8	105,3	<b>128,0</b>
Photovoltaik	1,3	11,7	<b>26,4</b>	<b>45,5</b>	50,3	55,1	58,9	<b>63,8</b>
Biomasse	14,4	34,3	<b>43,6</b>	<b>52,1</b>	55,3	58,5	59,2	<b>59,2</b>
- Biogas, Klärgas u.a.	4,0	18,8	<b>27,1</b>	<b>27,7</b>	28,6	29,6	30,3	<b>30,3</b>
- feste Biomasse	7,1	10,8	<b>11,6</b>	<b>18,6</b>	20,8	23,1	23,1	<b>23,1</b>
- biogener Abfall	3,3	4,7	<b>4,9</b>	<b>5,9</b>	5,9	5,9	5,9	<b>5,9</b>
Erdwärme	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,6</b>	2,6	4,6	11,7	<b>19,5</b>
EU-Stromverbund	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	9,9	18,7	46,2	<b>61,3</b>
- solarthermische Kraftwerke	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	1,0	6,0	18,9	<b>28,9</b>
- Wind, andere EE	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	8,9	12,7	27,3	<b>32,4</b>
EE-Strom insgesamt	62,5	104,8	<b>142,4</b>	<b>224,1</b>	278,1	332,2	425,1	<b>490,2</b>
EE-Strom nur Inland	62,5	104,8	<b>142,4</b>	<b>223,1</b>	268,3	313,5	379,0	<b>428,8</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 4-5

**Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a)**



Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Ausbauszenario wird somit im Jahr 2050 über 86% des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen (einschl. EE.-Strom-Importen) gedeckt (Tabelle 4-3). Im Vergleich dazu stagniert der EE-Anteil am Bruttostromverbrauch im Nullszenario bei unter 6%. (Tabelle 4-4).

Im Falle der Wärmebereitstellung auf Basis erneuerbarer Energien geht das Ausbauszenario von mehr als einer Verdopplung zwischen 2012 (147 TWh) bis 2050 (352 TWh) aus. Treibende Kräfte sind dabei der Ausbau der Solarthermie – als Einzelanlagen oder in Nahwärmenetzen und der (tiefen und oberflächennahen) Geothermie. Während die Biomasse derzeit den EE-Wärmesektor dominiert, wird der Zubau begrenzt sein: Im Jahr 2050 werden mit 161 TWh nur ca. 30 TWh (+23%) mehr Biomasse für die Wärmeversorgung eingesetzt als 2012. Limitierte nachhaltige Biomassepotentiale sowie die Nutzungskonkurrenz mit dem Stromsektor (regelbare erneuerbare Energie) und dem Verkehr (Biokraftstoffe insbesondere für Schwerlast- und Flugverkehr) erlauben keine deutliche Ausweitung der energetischen Biomassenutzung im Wärmebereich. EE-Wasserstoff spielt zur Wärmebereitstellung im Ausbauszenario erst ab den 2040er Jahren eine Rolle – dann insbesondere im Bereich der Hochtemperatur-Prozesswärme.

Tabelle 4-7

**Entwicklung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a)**

	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Biomasse	84,9	125,3	<b>131,5</b>	<b>147,1</b>	153,7	160,2	161,1	<b>161,1</b>
- Biogas, Klärgas <sup>27</sup>	3,1	11,4	<b>13,3</b>	<b>16,4</b>	17,6	18,9	19,8	<b>19,8</b>
- feste Biomasse	74,1	106,1	<b>108,4</b>	<b>124,3</b>	129,5	134,8	134,8	<b>134,8</b>
- biogener Abfall	7,6	7,8	<b>9,8</b>	<b>6,5</b>	6,5	6,5	6,5	<b>6,5</b>
Solarkollektoren	3,0	5,6	<b>6,7</b>	<b>18,2</b>	31,2	44,2	72,9	<b>95,3</b>
- Einzelanlagen	3,0	5,4	<b>6,1</b>	<b>14,5</b>	22,2	29,9	43,9	<b>51,8</b>
- Nahwärme	0,0	0,2	<b>0,6</b>	<b>3,7</b>	9,0	14,3	29,0	<b>43,5</b>
Geothermie und Umweltwärme	2,3	6,8	<b>9,0</b>	<b>21,2</b>	34,3	47,3	72,0	<b>89,1</b>
- Einzelanlagen (Wärmepumpen)	1,8	6,2	<b>8,1</b>	<b>17,4</b>	23,6	29,9	36,0	<b>40,5</b>
- Nahwärme (tiefe Geothermie)	0,5	0,7	<b>0,9</b>	<b>3,8</b>	10,6	17,4	36,0	<b>48,6</b>
Wärme aus EE-Wasserstoff	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	<b>7,2</b>
EE-Wärme gesamt <sup>28</sup>	90,1	137,8	<b>147,2</b>	<b>186,5</b>	219,1	251,7	306,0	<b>352,6</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

Der Verbrauch an Biokraftstoffen verdoppelt sich im Ausbauszenario nahezu zwischen 2012 (45,3 TWh) und 2050 (83,3 TWh). Die Nutzung von Biokraftstoffen erfolgt zur Jahrhundertmitte hin zunehmend auch im Flugverkehr, einem Bereich, in dem nicht zu erwarten steht, dass bis 2050 Strom- oder H<sub>2</sub>-basierte Antriebe über ein Nischendasein hinaus kommen werden.

<sup>27</sup> Enthält auch Deponiegas und flüssige Brennstoffe.<sup>28</sup> Ohne EE-Strom für Wärme.

EE-Wasserstoff hingegen wird im Ausbauszenario sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr eine zunehmend wichtige Rolle spielen: Bis 2050 werden 15% der Personenverkehrsleistung und 28% der Güterverkehrsleistung auf der Straße in H<sub>2</sub>-Fahrzeugen erfolgen; der Verbrauch im Verkehrssektor beträgt dann 67 TWh/a.

Tabelle 4-8

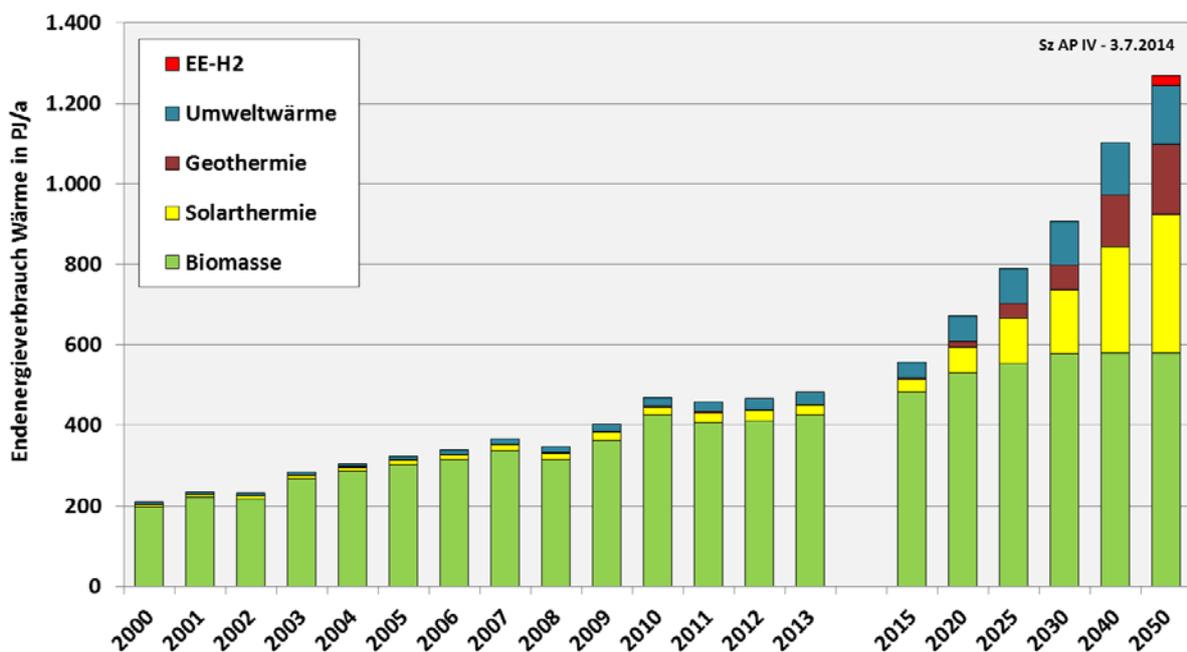
**Entwicklung der Kraftstofferzeugung aus erneuerbaren Energien im Ausbauszenario (in TWh/a)**

	2005	2010	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Biokraftstoffe	22,6	35,8	<b>45,3</b>	<b>73,9</b>	79,7	83,3	83,3	<b>83,3</b>
EE-Wasserstoff	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	8,4	16,6	48,1	<b>67,3</b>
EE-Kraftstoffe gesamt <sup>29</sup>	22,6	35,8	<b>45,3</b>	<b>73,9</b>	88,1	99,9	131,4	<b>150,6</b>

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Abbildung 4-6

**Entwicklung des Endenergieverbrauchs an Wärme aus erneuerbaren Quellen im Ausbauszenario (in PJ/a)**



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

<sup>29</sup> Ohne EE-Strom für Verkehr.

#### **4.1.4 Volkswirtschaftliche Implikationen der Transformation - Investitionen, vermiedene Importkosten, systemanalytische Differenzkosten**

Die jährlich zu installierenden Leistungen – Netto-Zubau wie Ersatzinstallationen - bestimmen in Kombination mit den spezifischen Kosten und den angenommenen Kostendegressionen der Einzeltechnologien das Investitionsvolumen in EE- und konventionelle Technologien im Nullszenario wie im Ausbauszenario.

Definitionsgemäß finden jedoch im Nullszenario über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg keinerlei Investitionen in erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugung statt (vgl. Tabelle 4-9). Insgesamt werden so im Nullszenario jährlich zwischen 17,4 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2015) und 7,3 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2050) in Neu- und Ersatzanlagen für Strom- und Wärmeerzeugung investiert – ausschließlich in fossil gefeuerter Anlagen. Investitionen in fossile Neukraftwerke – als Ersatz veralteter Anlagen gleichen Typs oder Kompensation stillgelegter Stromproduktion aus Kernenergie durch neue fossil befeuerte Kondensationskraftwerke (einschl. KWK-Anlagen) – gehen im Nullszenario von 6,3 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2015) auf 1,3 Mrd. €<sub>2012/a</sub> im Jahr 2050 zurück. Die abnehmende Tendenz der Investitionen ist u.a. durch den rückläufigen Stromverbrauch und damit rückläufigen Bedarf an installierter Leistung begründet, so dass nicht alle in einem Jahr aus Altersgründen vom Netz gehenden Kraftwerke durch Neukraftwerke ersetzt werden müssen. Ferner ist sie durch einen verstärkten Ausbau von weniger investitionsintensiven Gaskraftwerken zu erklären, die aufgrund steigender Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate vom Netz gehende Braun- und Steinkohlekraftwerke zum Teil ersetzen. Außerdem wird auch für konventionelle Kraftwerksneubauten angenommen, dass die spezifischen Investitionskosten (in realen Preisen) noch leicht fallen.

Im Wärmesektor des Nullszenarios zeigt sich eine ähnliche Tendenz: Aufgrund zunehmender energetischer Sanierung des Gebäudebestandes können Ersatzinstallationen von Wärmeerzeugungsanlagen zunehmend kleiner (und günstiger) ausfallen. Im Wärmesektor sinken daher die Investitionen in neue fossile Erzeugungsanlagen von 11,1 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2015) auf 6,0 Mrd. €<sub>2012/a</sub> im Jahr 2050. Insgesamt werden so im Nullszenario jährlich zwischen 17,4 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2015) und 7,3 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2050) in Neu- und Ersatzanlagen für Strom- und Wärmeerzeugung investiert – ausschließlich in fossil gefeuerter Anlagen.

Tabelle 4-10, dokumentieren die entsprechenden Investitionen in die Strom- und Wärmeversorgung im Ausbauszenario. Investitionen in fossile Stromerzeugung betreffen nahezu ausschließlich flexible Gaskraftwerke oder KWK-Anlagen. Insgesamt sinkt das Investitionsniveau in fossile Kondensationskraftwerke und KWK-Anlagen von 8,4 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2015) auf 0,7 Mrd. €<sub>2012/a</sub> (2050). Demgegenüber stehen deutlich höhere Investitionen in erneuerbare

Stromerzeugung, die zwischen 10 und 15 Mrd. €<sub>2012</sub>/a im Zeitraum 2015 bis 2050 (Tabelle 4-10) liegen. Diese Werte liegen deutlich niedriger als die Werte zwischen 2009 – 2012, als u.a. aufgrund der hohen Zubauleistung von Photovoltaikanlagen jährlich zwischen 18 und 23 Mrd. €<sub>2012</sub> in den EE-Stromausbau investiert wurden.

Tabelle 4-9

**Investitionen in erneuerbare und fossile Strom- und Wärmeerzeugung im Nullszenario (in Mio. €<sub>2012</sub>)**

	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Gesamte Neukraftwerke, fossil	6327	4794	1430	3788	1642	1284
- Steinkohle, übrige feste Bestandteile	3048	2220	275	668	314	517
- Braunkohle	1785	1825	322	1728	80	70
- Erdgas, Öl	1494	748	832	1392	1247	697
Gesamte Neukraftwerke EE-Strom	0	0	0	0	0	0
Gesamt Neukraftwerke Strom	6327	4794	1430	3788	1642	1284
Gesamt fossile Heizkessel	11103	9950	8517	8121	6793	5992
- davon direkt Gas	5783	5150	4564	4229	2940	2415
- davon direkt Öl + Kohle	4939	4401	3563	3622	3588	3322
- davon Fern-, Nah-, Objekt-KWK	381	400	390	271	265	254
Gesamte EE-Wärme	0	0	0	0	0	0
Gesamt Wärme	11103	9950	8517	8121	6793	5992
Gesamt Strom + Wärme	17430	14744	9946	11909	8435	7276

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Tabelle 4-10

**Investitionen in erneuerbare und fossile Strom- und Wärmeerzeugung im Ausbauszenario (in Mio. €<sub>2012</sub>)**

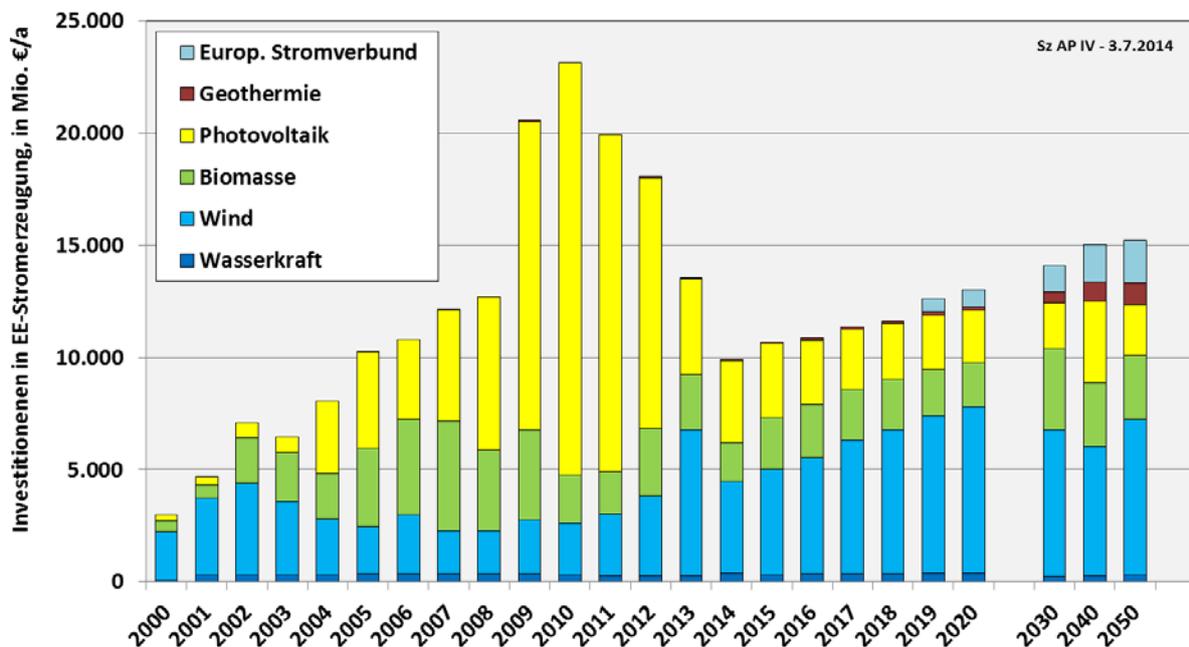
	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Gesamte Neukraftwerke, fossil	8452	832	850	1078	911	708
- Steinkohle, übrige feste Bestandteile	4844	111	41	28	34	194
- Braunkohle	2289	12	0	100	0	0
- Erdgas, Öl	1319	708	810	950	877	514
Gesamte Neukraftwerke EE-Strom	10670	13023	13571	14118	15042	15208
Gesamt Neukraftwerke Strom	19122	13854	14421	15196	15953	15916
Gesamt fossile Heizkessel	9983	8387	6654	5562	3271	1738
- davon direkt Gas	6401	5678	5034	4229	2039	1117
- davon direkt Öl + Kohle	3294	2401	1322	1125	1049	462
- davon Fern-, Nah-, Objekt-KWK	288	308	298	208	183	158
Gesamte EE-Wärme	7095	8408	8433	8458	9560	9855
Gesamt Wärme	17078	16795	15086	14020	12831	11593
Gesamt Strom + Wärme	36200	30649	29507	29216	28784	27509

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Wie Abbildung 4-7 veranschaulicht, dominieren dabei im Zeitraum 2015 bis 2050 mit einem Investitionsvolumen zwischen 4,7 und 7,4 Mrd. €<sub>2012</sub>/a Investitionen in den Windsektor (einschl. Repowering) den EE-Strom-Markt. Investitionen in Biomasse-HKW und Biogasanlagen bewegen sich im Rahmen von 2,0–3,6 Mrd. €<sub>2012</sub>/a. Investitionen in geothermische Stromerzeugung fallen bis 2030 gering aus; danach steigen sie bis auf 1 Mrd. €<sub>2012</sub>/a (2050). Ab ca. 2020 werden darüber hinaus Investitionen in den Stromimport aus dem europäischen (hier insbesondere Wind und PV) und außereuropäischem Ausland (regelbare CSP-Stromimporte über HGÜ-Verbindungen aus Nordafrika) mit einem Investitionsniveau zwischen 0,8 Mrd. €<sub>2012</sub>/a (2020) und 1,9 Mrd. €<sub>2012</sub>/a (2050) relevant.

Abbildung 4-7

Entwicklung der Investitionen in EE-Stromerzeugung im Ausbauszenario (reale Preise in Mio. €<sub>2012</sub>/a)



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

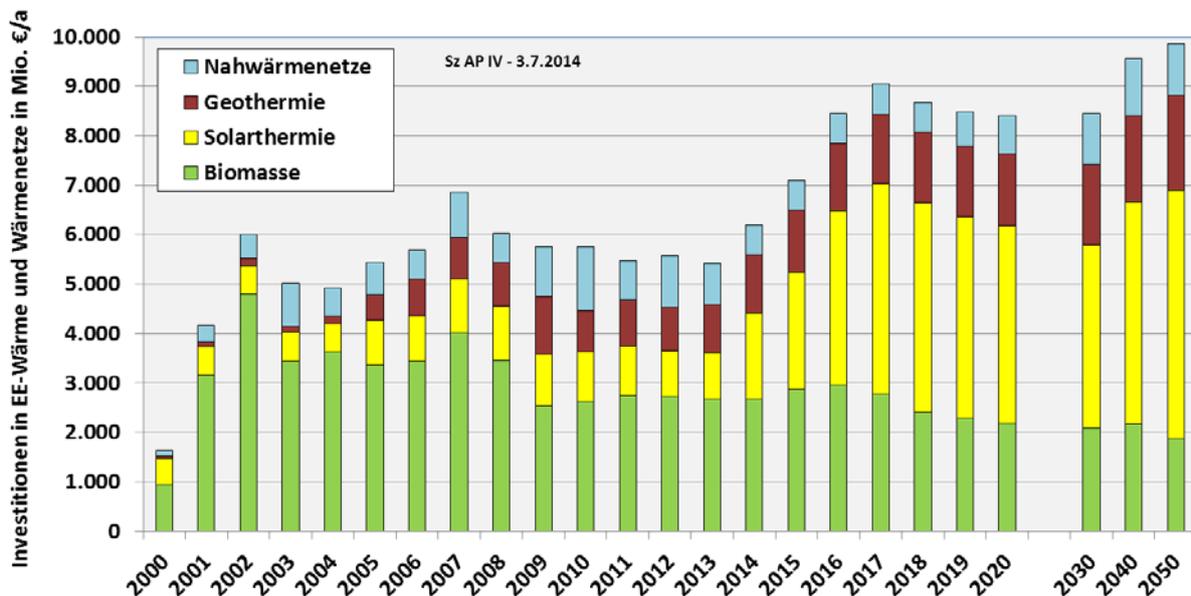
In den Jahren um 2030 besteht ein erheblicher Bedarf an Ersatz derjenigen PV-Anlagen, die im Zeitraum 2009-2012 installiert worden sind (insgesamt über 26 GWp) und um 2030 das Ende ihrer technischen Lebensdauer von 20 Jahren erreicht haben. Aufgrund weiterer deutlicher Kostendegressionen bei PV-Anlagen macht sich der PV-Ersatzbedarf in der Investitionssumme für das Jahr 2030 nur in relativ geringem Maße bemerkbar. Ähnliches gilt für die Jahre um 2050, wenn die 2009-2012 installierten nach 2030 zum zweiten Mal ersetzt werden müssen. Generell liegt das Investitionsniveau in Photovoltaik-Anlagen im Ausbauszenario im Zeitraum 2015 – 2050 zwischen 2,0 und 3,6 Mrd. €<sub>2012</sub>/a. Zum Vergleich: Im Jahr

2010, dem Jahr des höchsten Zubaus in Deutschland, lagen die Investitionen in PV-Anlagen bei über 18 Mrd. €<sub>2012</sub>. Insgesamt ergeben sich im Ausbauszenario im Zeitraum 2015 bis 2050 Investitionen in den Stromsektor – konventionell wie erneuerbar - zwischen 14 und 19 Mrd. €<sub>2012</sub>/a (Tabelle 4-10), die damit durchweg auf einem deutlich höheren Niveau angesiedelt sind als im Nullszenario (Tabelle 4-9).

Im Wärmesektor werden im Ausbauszenario im Jahr 2015 insgesamt in fossile und erneuerbare Wärmeerzeugung sowie Wärmenetze 17,1 Mrd. €<sub>2012</sub> investiert – mit rückläufigem Trend: 2050 beträgt das Investitionsvolumen nur noch 11,6 Mrd. €<sub>2012</sub> (Tabelle 4-10). Wie im Nullszenario macht sich der Rückgang des Wärmebedarfs insbesondere im Wohngebäude-sektor deutlich im Rückgang der Gesamtinvestitionen im Wärmemarkt bemerkbar. Trotz des sehr starken Ausbaus der erneuerbaren Wärmeversorgung – die Investitionen liegen zwischen 2015 und 2050 im Bereich 7-10 Mrd. €<sub>2012</sub>/a – finden auch im Jahr 2050 noch Investitionen in fossile Wärmeerzeugung in Höhe von 1,7 Mrd. €<sub>2012</sub>/a statt. Investitionen in die fossile Erzeugung von Niedertemperatur-Wärme (Raumwärme und Warmwasser) sind jedoch deutlich stärker rückläufig als Investitionen im Bereich industrieller (Hochtemperatur-) Prozesswärme.

Abbildung 4-8

**Entwicklung der Investitionen in EE-Wärmeerzeugung und Nahwärmenetze im Ausbauszenario (reale Preise, in Mio. €<sub>2012</sub>/a)**



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

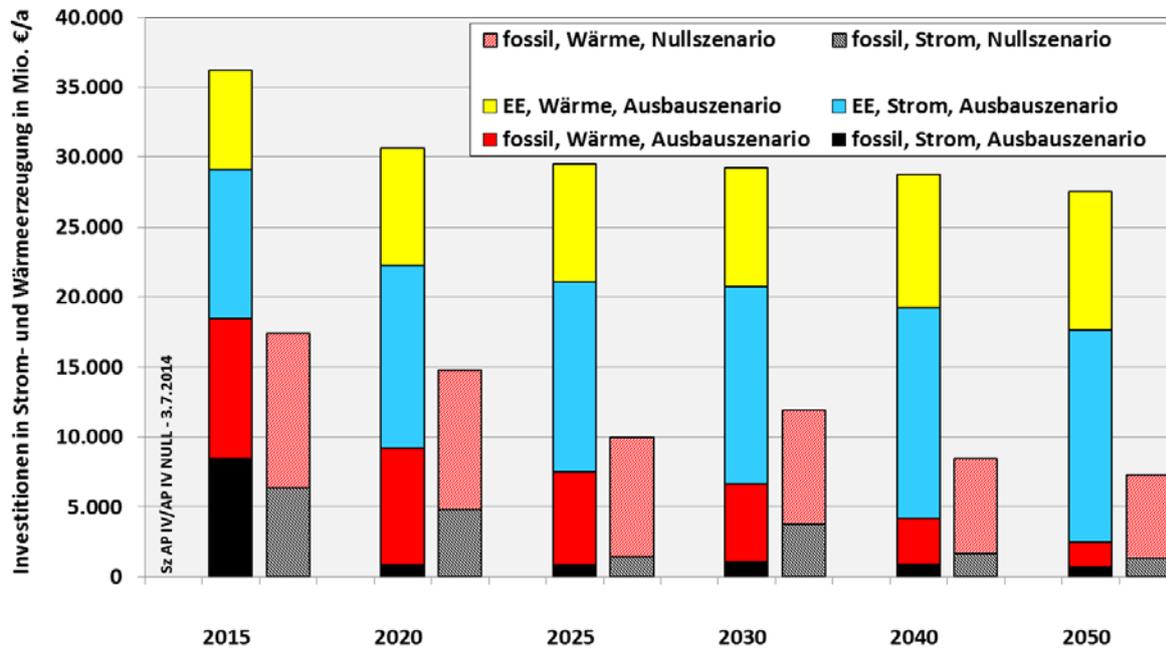
Hingegen steigt das Investitionsniveau in EE-Wärmetechnologien im Ausbauszenario bis 2050 gegenüber heute (5,5 Mrd. €<sub>2012</sub> im Jahr 2012) deutlich an: Im Zeitraum 2020 – 2050

werden jährlich zwischen 8,4 und 9,9 Mrd. €<sub>2012</sub> in EE-Wärme-Technologien investiert. Der dynamische Ausbau im EE-Wärmebereich überkompensiert dabei auch hier die angenommene Kostendegression. Auf dem EE-Wärmemarkt findet allerdings bis 2050 eine deutliche Verschiebung der Anteile der Primärenergiequellen statt: Während im Jahr 2012 Biomasse-Heizkessel, -Fernwärme, Holzöfen etc. nahezu die Hälfte der Investitionen auf dem EE-Wärmemarkt ausmachen, wird im Ausbauszenario zukünftig die Solarthermie – Einzelanlagen und solarthermisch gespeiste Nahwärmenetze – den EE-Wärmemarkt dominieren: Deren Investitionen steigen im Zeitraum 2015 – 2050 von 2,4 auf 5,0 Mrd. €<sub>2012</sub>/a (Abbildung 4-8). Investitionen in die Nutzung von Geothermie und Umweltwärme werden laut Ausbauszenario zukünftig weiter ansteigen - zunächst die Nutzung von Umweltwärme durch Wärmepumpen, ab ca. 2020 in zunehmendem Masse durch hydrothermale Quellen. Insgesamt werden in Geothermie/Umweltwärme im Zeitraum 2015- 2050 zwischen 1,3 und 1,9 Mrd. €<sub>2012</sub> pro Jahr investiert. Die zunehmende Rolle von Stromerzeugung in KWK, von solarthermischen Nahwärmanlagen oder die hydrothermale Nutzung von Geothermie erfordert zunehmend Investitionen in Nah- und Fernwärmenetze, die sich im Ausbauszenario zwischen 0,6 und 1,2 Mrd. €<sub>2012</sub>/a bewegen.

Insgesamt erfordert die Transformation des Energiesystems hin zu einer nachhaltigeren Energieversorgung, wie sie das Ausbauszenario beschreibt, weitaus höhere Investitionen in Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien als im Nullszenario, in dem sich der Strukturwandel im Wesentlichen auf einen Ersatz von Atomkraftwerken durch fossile Kraftwerke und eine leichte Verschiebung von Kohle- zu Gasstrom beschränkt. Abbildung 4-9 illustriert, dass sich die Gesamtinvestitionen in Strom und Wärme im Ausbauszenario auf Werte zwischen 36,2 Mrd. €<sub>2012</sub> (2015) und 27,5 Mrd. €<sub>2012</sub> (2050) belaufen.

Dagegen müssen für die Aufrechterhaltung einer Strom- und Wärmeversorgung, die auf fossilen Brennstoffen basiert, im Nullszenario nur zwischen 17,4 Mrd. €<sub>2012</sub> (2015) und 7,3 Mrd. €<sub>2012</sub> (2050) pro Jahr investiert werden. Das hohe Investitionsvolumen in EE-Anlagen macht deutlich, dass die im Ausbauszenario (und in BMU 2012) angenommene Wachstumsdynamik unbedingt erforderlich ist, damit der Inlandsmarkt die Fähigkeit zu einer Stabilisierung der Umsätze der EE-Branche aufrecht erhalten kann. Das ist auch eine wichtige Voraussetzung dafür, dass die weiteren Chancen für die Technologieführerschaft in der Mehrzahl der EE-Technologien auf dem Weltmarkt erhalten bleiben und somit die Nutzung von Exportchancen vorangetrieben werden kann. Nur so kann zukünftig in angemessenem Umfang von den beträchtlich wachsenden Auslandsmärkten profitiert werden.

Abbildung 4-9

**Investitionen in fossile und erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugung im Ausbauszenario und im Nullszenario (in Mio. €<sub>2012</sub>/a)**


Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Den deutlich höheren Investitionen in das Energiesystem im Ausbauszenario stehen in zunehmendem Maße vermiedene Importkosten für fossile Energieträger (und bis 2022 Uran) gegenüber: Während der EE-Ausbau im Jahr 2005 Energieträger-Importe (fossile Brennstoffe, Kernbrennstoff) in Höhe von 720 PJ/a und im Wert von ca. 6 Mrd. €<sub>2012</sub> eingespart hat, sind unter den hier getroffenen Annahmen vermiedene Importe von 3.075 PJ und vermiedene Importkosten von über 41 Mrd. €<sub>2012</sub> für das Jahr 2050 zu erwarten, wenn ein großer Teil des Primärenergiebedarf durch heimische erneuerbare Energiequellen gedeckt werden kann (Tabelle 4-11 und Abbildung 4-10). Zu den vermiedenen Importkosten gesellen sich im Ausbauszenario vermiedene Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate, wenn energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energien drastisch reduziert werden können: Vermiedene CO<sub>2</sub>-Kosten steigen von ca. 1 Mrd. €<sub>2012</sub> im Jahr 2015 auf nahezu 8 Mrd. €<sub>2012</sub> im Jahre 2050 (Tabelle 4-11), so dass sich der Wert vermiedener Importe und vermiedener CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 auf fast 50 Mrd. €<sub>2012</sub> jährlich aufsummieren. Die volkswirtschaftlichen Mehr- oder Minderkosten einer Energieversorgung, die weitgehend auf erneuerbare Energiequellen zurückgreift, gegenüber einer konventionellen Energieversorgung, die zum größten Teil auf fossilen Energieträgern beruht, werden in den sogenannten „systemanalytischen Differenzkosten“ quantifiziert. Die systemanalytischen Differenzkosten stellen die Differenz

zwischen den Systemkosten einer EE-Energieversorgung gegenüber einer fossilen Energieversorgung. In den Systemkosten sind dabei im vorliegenden Ansatz Kapitalkosten aller Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien (Annuitäten der Investitionen in Neu- und Ersatzanlagen), fixe Wartungs- und Betriebskosten sowie Brennstoffkosten (fossile Brennstoffe, Biomasse) und Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate enthalten.

Tabelle 4-11

**Importkosten und CO<sub>2</sub>-Kosten von Energieimporten für Null- und Ausbauszenario (in Mrd. €<sub>2012</sub>/a)**

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
<b>Nullszenario</b>								
<b>Gesamte Importkosten</b>	<b>66,6</b>	<b>87,5</b>	<b>105,8</b>	<b>105,6</b>	<b>107,3</b>	<b>105,0</b>	<b>103,9</b>	<b>100,3</b>
Mineralöl	49,1	66,8	75,5	73,0	71,3	69,4	69,2	66,9
Erdgas	12,9	15,4	23,7	26,3	29,9	29,7	29,1	29,4
Steinkohle	3,6	4,3	5,9	5,8	6,2	5,8	5,6	4,0
Kernenergie	1,1	1,0	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>CO<sub>2</sub>-Kosten von Energieimporten</b>	<b>0,0</b>	<b>10,8</b>	<b>6,0</b>	<b>7,7</b>	<b>10,1</b>	<b>11,7</b>	<b>14,8</b>	<b>15,9</b>
<b>Ausbauszenario</b>								
<b>Gesamte Importkosten</b>	<b>60,5</b>	<b>73,4</b>	<b>91,4</b>	<b>87,5</b>	<b>84,4</b>	<b>78,5</b>	<b>70,1</b>	<b>58,9</b>
Mineralöl	43,0	52,8	64,3	58,9	53,4	50,1	47,5	40,8
Erdgas	12,9	15,4	22,3	24,9	28,0	26,1	21,4	17,6
Steinkohle	3,6	4,3	4,2	3,3	3,1	2,3	1,3	0,4
Kernenergie	1,1	1,0	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>CO<sub>2</sub>-Kosten von Energieimporten</b>	<b>0,0</b>	<b>9,4</b>	<b>5,0</b>	<b>6,0</b>	<b>7,5</b>	<b>8,0</b>	<b>8,6</b>	<b>8,0</b>
<b>Differenz Nullszenario - Ausbauszenario</b>								
vermiedene Importkosten	6,1	14,1	14,4	18,1	22,9	26,5	33,8	41,5
vermiedene CO <sub>2</sub> -Kosten von Energieimporten	0,0	1,4	1,0	1,7	2,7	3,7	6,2	7,9

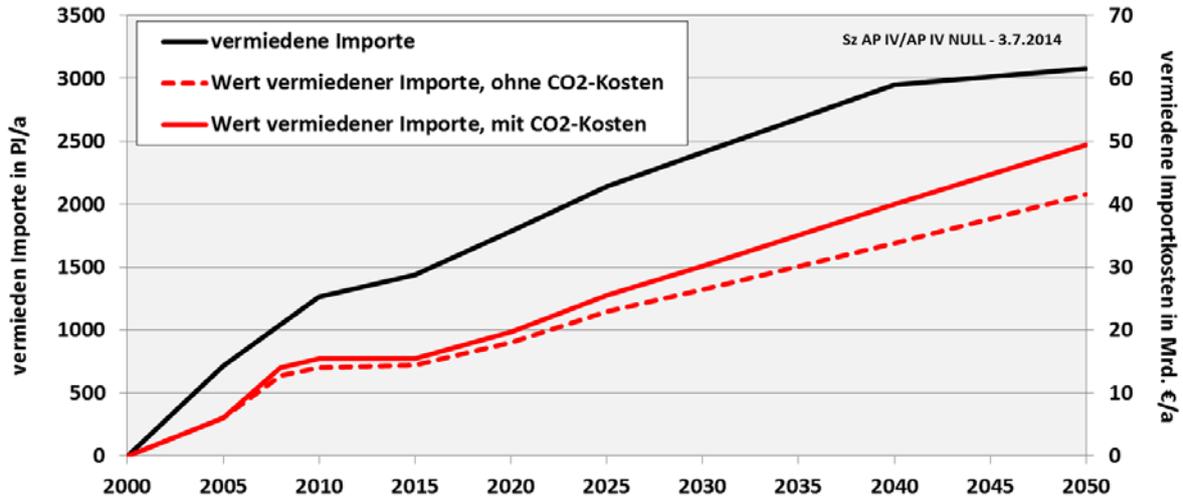
Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Abbildung 4-11 illustriert die systemanalytischen Differenzkosten des EE-Ausbaus (Ausbauszenario) gegenüber der im Nullszenario beschriebenen fossilen Versorgungsvariante. Differenzkosten werden in Abbildung 4-12 auch separat für den Stromsektor, für den Wärmesektor und für die EE-Kraftstoffproduktion dargestellt:

Im Stromsektor steigen die Differenzkosten von derzeit (2012) 14,0 Mrd. €<sub>2012</sub>/a auf 16,0 Mrd. €<sub>2012</sub>/a in den Jahren 2018/2019. Danach sinken die Differenzkosten im Stromsektor stetig. Im Jahre 2043 werden die Differenzkosten negativ. Ab diesem Zeitpunkt ist eine Stromversorgung, wie sie im Ausbauszenario dargestellt ist, unter den hier getroffenen Annahmen bzgl. Investitionskosten, Wartungs- und Betriebskosten, sowie Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen günstiger als die im Nullszenario dargestellte fossile Referenzentwicklung. Im Jahr 2050 spart eine EE-Stromversorgung der deutschen Volkswirtschaft ca. 9 Mrd. €<sub>2012</sub> pro Jahr.

Abbildung 4-10

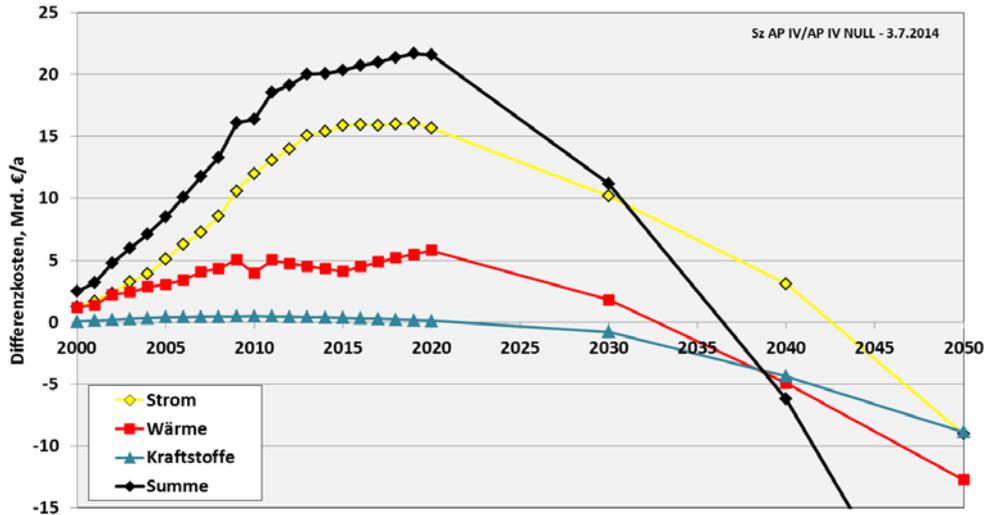
Vermiedene fossile Energieimporte (in PJ/a) und vermiedene Importkosten für fossile Energieträger (in Mio. €/a) - Ausbauszenario vs. Nullszenario



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Abbildung 4-11

Differenzkosten des EE-Ausbaus - Strom, Wärme, Kraftstoffe und Gesamtkosten (in Mrd. €/a)



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Die Differenzkosten im Wärmebereich liegen deutlich niedriger als diejenigen der Stromversorgung. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die Wärmeversorgung auf Basis von Biomasse, die derzeit noch den weitaus größten Teil der EE-Wärmeversorgung ausmacht, eine kostengünstige Versorgung darstellt. Wie im Stromsektor wird das Maximum der Differenzkosten gegen Ende der 2010er-Dekade erwartet – bei einem Wert von 5,8 Mrd. €<sub>2012</sub>/a. Danach sinken die Differenzkosten für EE-Wärme deutlich und werden ab ca. 2033 negativ. Im Jahr

2040 „spart“ die EE-Wärmebereitstellung jährlich schon fast 5 Mrd. €, im Jahr 2050 liegt der positive ökonomische Effekt der Transformation des Wärmesektors bei 12,7 Mrd. €<sub>2012/a</sub>.

Bzgl. der EE-Kraftstoffherstellung (Biokraftstoffe, in späteren Jahren auch EE-Wasserstoff) haben die Differenzkosten schon im Jahr 2010 ihr Maximum erreicht (0,5 Mrd. €<sub>2012/a</sub>). Negative Differenzkosten werden hier für 2030 erwartet. In den Jahren 2040 bzw. 2050 liegen die Differenzkosten der Kraftstofferzeugung bei -4,4 bzw. -8,9 Mrd. €<sub>2012</sub> jährlich.

Über alle drei Sektoren summiert ergibt sich ein Maximum der Differenzkosten von 21,7 Mrd. €<sub>2012</sub> im Jahr 2019, zu dem der Stromsektor 75% beiträgt. Bis 2030 sind die gesamten Differenzkosten auf 11,2 Mrd. €<sub>2012</sub> gesunken; die Nulllinie wird ungefähr im Jahr 2037 erreicht. Im Jahr 2040 ist eine Energieversorgung, die auf erneuerbaren Energien basiert, gegenüber einer fossil dominierten Energieversorgung um 6,2 Mrd. €<sub>2012</sub> günstiger, mit deutlich zunehmender Tendenz: Im Jahr 2050 entlastet die Energieversorgung, wie sie im Ausbauszenario dargestellt ist, gegenüber der konventionellen Energieversorgung im Nullszenario die deutsche Volkswirtschaft bereits jährlich um über 30 Mrd. €<sub>2012</sub>.

Obwohl das Ausbauszenario der vorliegenden Studie auf den BMU-Langfristszenarien (BMU 2012) aufbaut, fällt auf, dass die hier ermittelten Differenzkosten des EE-Ausbaus zunächst deutlich höher liegen als die Ergebnisse, die in BMU (2012) mit dem dort zentral diskutierten Preispfad A einer „deutlichen“ Preisentwicklung bei fossilen Energieträgern und CO<sub>2</sub>-Zertifikaten berechnet wurden. Auch wird der „Break Even“, der Punkt, an dem die EE-Energieversorgung volkswirtschaftlich gesehen günstiger wird als die fossil-nukleare Energieversorgung, in der vorliegenden Studie deutlich später erreicht. Dies liegt in geringerem Umfang an Anpassungen der Investitionskosten für EE-Strom- und Wärmeerzeugung, zum größten Teil jedoch an unterschiedlichen Annahmen für Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Kosten hier und in BMU (2012), wie in Tabelle 4-2 dokumentiert. Die Kostenannahmen der vorliegenden Studie sind daher als deutlich konservativer zu bewerten als die Annahmen, wie sie in die Berechnungen in BMU (2012) eingehen. Entsprechend können auch die Resultate der Abschätzung Beschäftigungseffekte, die aus den hier getroffenen Energie- und Preisszenarien ermittelt werden, als konservativ angesehen werden.

## **4.2 Szenarien für den weltweiten Ausbau erneuerbarer Energien bis 2050**

In vorangegangenen Studie zu Arbeitsplatzeffekten der erneuerbaren Energien (Lehr, Lutz et al. 2011) wurden für die Abschätzung des künftigen Weltmarkts für erneuerbare Energien vier globale Energie-Szenarien ausgewertet, die von der Internationalen Energie Agentur

(IEA) bzw. durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) erstellt wurden. Für den vorliegenden Bericht wurde auf die Aktualisierung dieser Szenarien zugegriffen.

Als Rahmen für den Ausbau erneuerbarer Energietechnologien wurden zwei Energie-Szenarien gewählt, welche die mögliche Bandbreite der künftigen Marktentwicklung bis 2050 weltweit abdecken. Auf der einen Seite steht ein „Business as usual“-Szenario (BAU), auf der anderen Seite wurde ein ambitionierter Ausbaupfad für erneuerbare Energien ausgewählt. Beide Szenarien entstammen der für Greenpeace erstellten Energy [R]evolution Studie (Greenpeace, EREC et al. 2012), allerdings basiert das BAU Szenario auf dem „Current Policy scenario“ des World Energy Outlook der International Energy Agency (IEA 2011). Die Szenarien wurden in Anlehnung an die regionale Aufteilung des World Energy Outlooks für folgende zehn Weltregionen disaggregiert berechnet:

- OECD Europa
- OECD Nord Amerika (+ Chile)
- OECD Asien Ozeanien
- Osteuropa/Eurasien
- Indien
- China
- übriges Asien
- Latein Amerika (ohne Chile und Mexiko)
- Afrika
- Naher Osten (Middle East)

Im Folgenden werden die den beiden Szenarien zugrunde liegenden Annahmen kurz skizziert.

#### **4.2.1 Szenariophilosophie**

##### **4.2.1.1 WEO/IEA Current-Policy (CP)**

Das Business-as-usual-Szenario stellt eine Abschätzung der künftigen Entwicklung auf Basis der aktuellen politischen Rahmenbedingungen ohne Weiterentwicklung oder Änderungen wider. Im World Energy Outlook der International Energy Agency wird es daher als „Current-Policy Szenario“ (im Folgenden mit „CP“ abgekürzt) bezeichnet. Ein solches BAU-Szenario deckt einen konservativen Ausbaupfad ab. Als exploratives Szenario schreibt die IEA darin aktuelle Trends in der Energieversorgung ohne eine Änderung bis 2035 fort. Im Rahmen der Energy [R]evolution Studie wurde der verbleibende Zeitraum bis 2050 anhand einer Trend-

fortschreibung des Szenarios abgedeckt. Diese Fortschreibung wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt erstellt (Greenpeace, EREC et al. 2012)

#### **4.2.1.2 Energy [R]evolution**

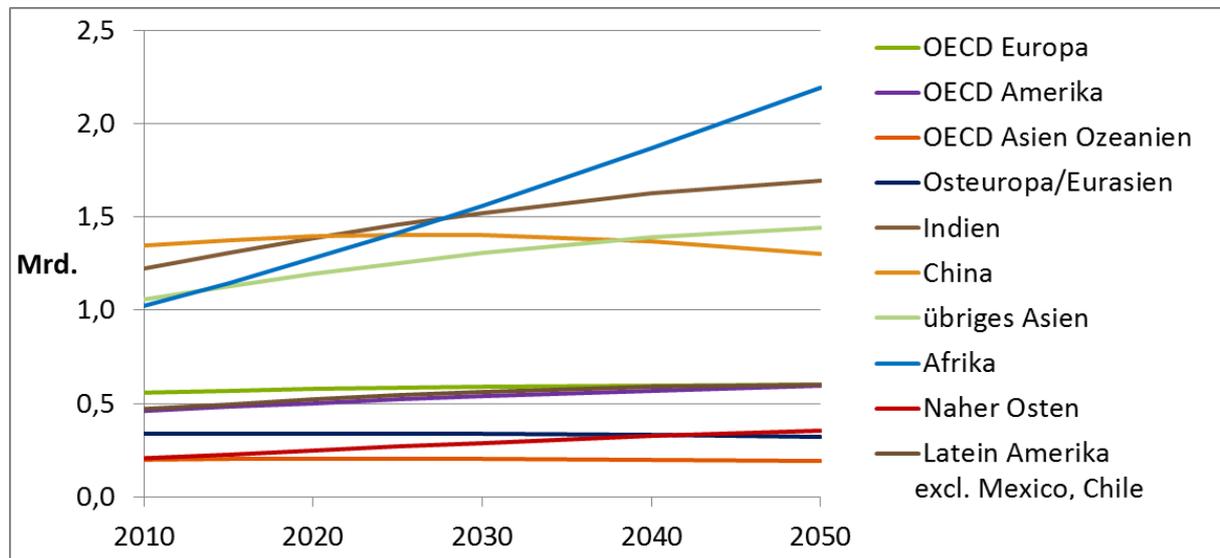
Dem Current-Policy Szenario wurde ein ambitionierter Ausbaupfad für erneuerbare Energien gegenübergestellt, das Energy [R]evolution Szenario (Greenpeace, EREC et al. 2012) (im Folgenden „E[R]“). Bei diesem handelt es sich um ein Zielszenario, das sich im direkten Vergleich und bei gleichen Rahmendaten wie im oben beschriebenen Szenario der IEA eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 80% auf rund 3 Mrd. t/a bis 2050 vorgibt. Weitere Ziele sind der mittelfristigem Ausstieg aus der Kernenergie und langfristig ein weitgehender Verzicht auf Kohle. CCS (also Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub>) wird ebenfalls nicht implementiert. Zentrale Maßnahmen des Szenarios, um die gesetzten CO<sub>2</sub>-Ziele zu erreichen, sind die konsequente Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen zur Verringerung des Energieverbrauchs sowie ein massiver Ausbau der erneuerbaren Energien zur Deckung des verbleibenden Verbrauchs. Dieser Ausbau der erneuerbaren Energien orientiert sich dabei in an regionalspezifischen Kostenpotentialkurven, die für die meisten Technologien mit einem räumlich hoch aufgelösten Modell am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt ermittelt wurden (Stetter 2014). Die berücksichtigten Biomassepotentiale beziehen sich auf eine der eher vorsichtigen Abschätzungen auf globalem Niveau (Thrän, Bunzel et al. 2011) und der Ausbau der großen Wasserkraft ist auf Grund der mitunter negativen Auswirkungen auf Mensch und Natur eher restriktiv gehandhabt worden.

#### **4.2.2 Rahmendaten der internationale Szenarien**

Da das Current-Policy Szenario der IEA innerhalb der Energy [R]evolution Studie als Referenzszenario dient, liegen beiden Szenarien dieselben Rahmendaten für Bevölkerungswachstum und wirtschaftliche Entwicklung zu Grunde.

Beide Szenarien gehen von einem erheblichen Bevölkerungswachstum weltweit bis 2035/2050 aus. Die Annahmen basieren dabei auf den Bevölkerungsprognosen der Vereinten Nationen (mittlere Variante) (UNPD 2011), die bis 2050 von einem Anstieg der Bevölkerung auf 9,5 Mrd. Menschen ausgeht. Wie Abbildung 4-12 zeigt, fällt die Entwicklung je nach Region sehr unterschiedlich aus. Während Afrika und Asien (ohne China) einen starken Bevölkerungszuwachs verzeichnen, fällt dieser in der restlichen Welt eher gering aus, in China wird ab 2030 mit einem Rückgang der Bevölkerung gerechnet.

Abbildung 4-12

**Vergleich der Bevölkerungsentwicklung in den betrachteten Regionen bis 2050 nach (UNPD 2011), mittlere Variante**

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Neben der Bevölkerung ist die wirtschaftliche Entwicklung ein starker Antrieb für den künftigen Energieverbrauch. Eine Abschätzung der künftigen Wirtschaftsentwicklung ist daher nötig, wenngleich über einen Zeitraum bis 2050 mit erheblichen Unsicherheiten verknüpft, wie die Anpassungen zwischen den verschiedenen World Energy Outlooks zeigen (IEA 2007; IEA 2011). Da das Energy [R]evolution Szenario vorwiegend auf die technische Umsetzbarkeit einer nachhaltigen Energieversorgung fokussiert, wurden die Wirtschaftsentwicklung der Referenz, dem Current-Policy Szenario des World Energy Outlooks (IEA 2011) übernommen. Für den Zeitraum nach 2035 wurde die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes in den zehn betrachteten Regionen durch das DLR fortgeschrieben (Greenpeace, EREC et al. 2012).

Tabelle 4-12 zeigt die für die verschiedenen Regionen angenommenen Wachstumsraten. In allen OECD-Regionen wird mit einem geringen Wachstum über den gesamten Zeitraum gerechnet, während sich die hohen Wachstumsraten in Asien erst gegen Ende des Betrachtungszeitraums verringern. Nur in Afrika wird ein gleich bleibendes Wachstum angenommen, allerdings von einem niedrigen Niveau ausgehend.

Ausgehend von Bevölkerungswachstum und Wirtschaftsentwicklung wurde der Energiebedarf in den verschiedenen Regionen abgeschätzt. Die Modellierung der Szenarien setzt darauf mit unterschiedlichen technischen Optionen für Effizienz und Energie- bzw. Mobilitätsbereitstellung auf, die den oben beschriebenen Szenariophilosophien folgen.

Tabelle 4-12

**Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts nach Regionen**

	2009-2020	2020-2035	2035-2050
OECD Europa	2,1%	1,8%	1,0%
OECD Amerika	2,7%	2,3%	1,2%
OECD Asien Ozeanien	2,3%	1,4%	0,5%
Ost-Europa/Eurasien	4,1%	3,2%	1,9%
Indien	7,7%	5,8%	3,1%
China	8,1%	4,2%	2,7%
Übriges Asien	5,2%	3,2%	2,6%
Afrika	4,6%	4,4%	4,2%
Naher Osten	4,3%	3,7%	3,2%
Latein Amerika	4,0%	2,8%	2,2%

Quelle: Greenpeace, EREC et al. 2012; Eigene Berechnungen.

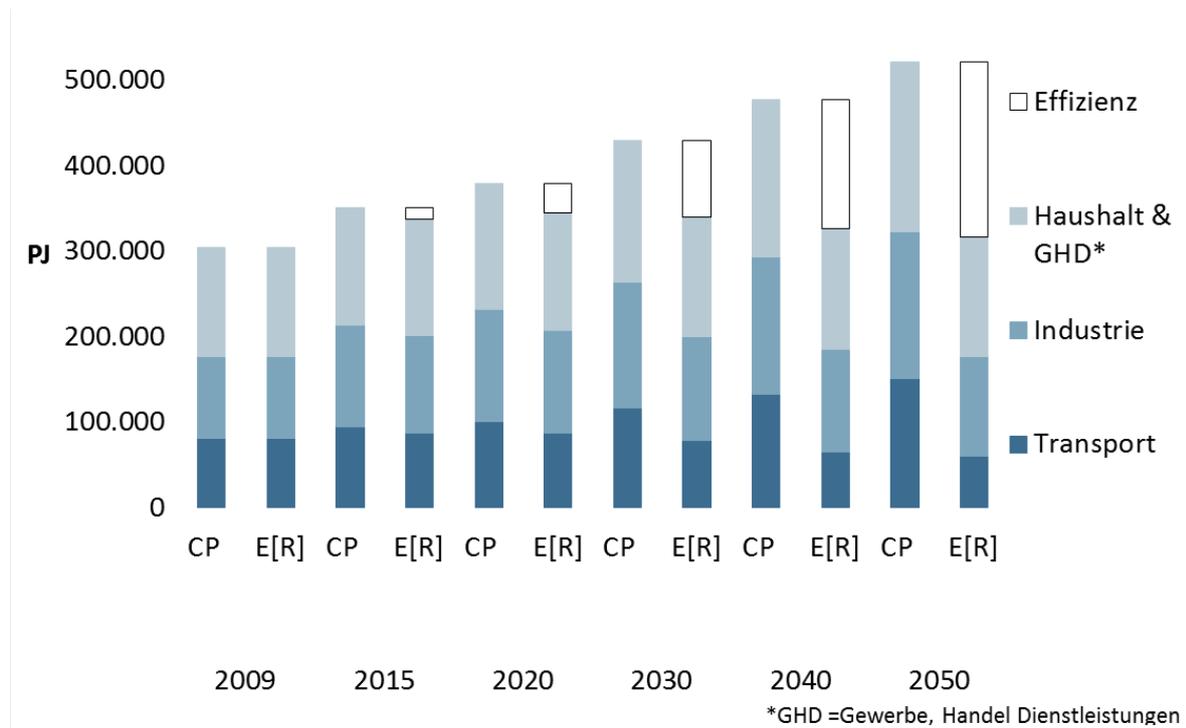
### 4.2.3 Energieverbrauch und -bereitstellung in den globalen Szenarien

Die beiden Szenarien spiegeln ein sehr unterschiedliches Bild einer künftigen Energieversorgung wieder, was sich bereits in der Projektion des Endenergiebedarfs in Abbildung 4-13 zeigt. Im Current-Policy Szenario steigt der Energieverbrauch bis 2050 um 70% auf 520 EJ. Im Energy [R]evolution Szenario wird durch die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen die Zunahme des Endenergieverbrauchs zunächst gebremst und ab 2020 sogar ein Rückgang des Endenergieverbrauchs erreicht, so dass dieser 2050 mit 320 EJ nur geringfügig über dem Ausgangswert von 300 EJ (2009) liegt. Besonders auffällig ist die Effizienzsteigerung im Sektor Verkehr (Abbildung 4-14), die durch einen Mix aus verschiedenen Maßnahmen umgesetzt wird: Neben einem höheren Anteil an öffentlichem Personenverkehr und einem Rückgang der gefahrenen Kilometer pro Kopf führen technische Veränderungen wie kleinere Autos mit geringerem Verbrauch und der Einsatz effizienter Elektrofahrzeuge zu einem Rückgang der benötigten Endenergie. Bis 2050 wird im Energy [R]evolution Szenario ein Reduktion um ein Viertel auf 60 EJ erreicht, die im Wesentlichen aus Strom (44%), Wasserstoff (20%) und immer noch zu einem Viertel durch fossile Kraftstoffe bereitgestellt werden.

Die unterschiedliche Gestaltung der Energieversorgung setzt sich auch in der Bereitstellung von Wärme und Strom fort. Das Current-Policy Szenario behält das aktuelle Energieversorgungssystem zum großen Teil bei. Im Energy [R]evolution Szenario erfolgt eine prinzipielle Umgestaltung des Energieversorgungssystems hin zu erneuerbaren Energien, die fossile Brennstoffe bis 2050 weitgehend aus dem System verdrängen.

Abbildung 4-13

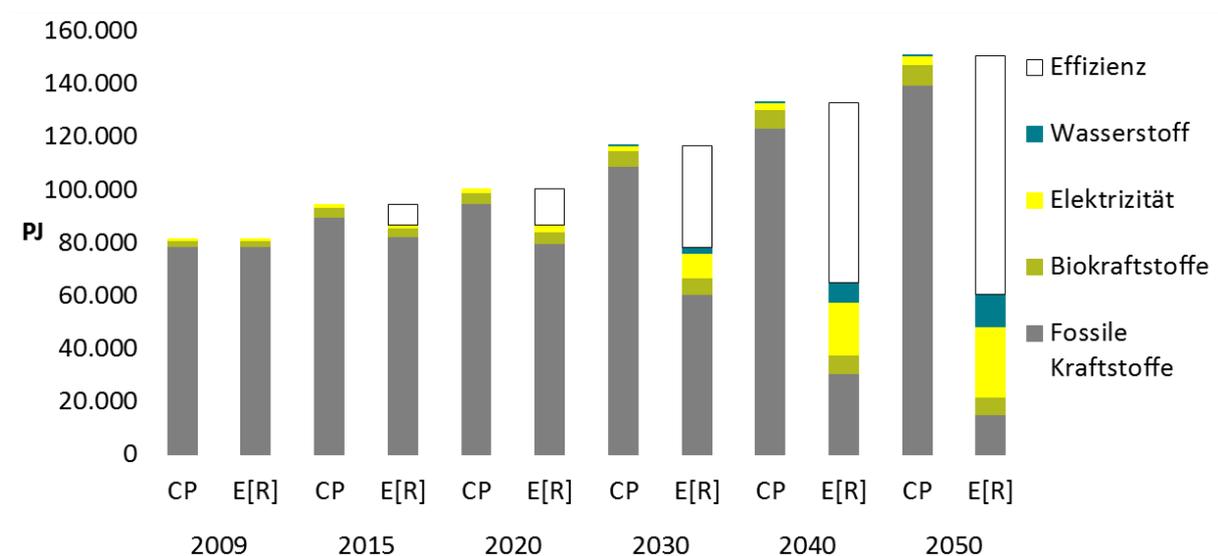
**Projektion des Endenergiebedarfs in den verschiedenen Sektoren – Vergleich der Szenarien Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R])**



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Abbildung 4-14

**Projektion des Energieverbrauchs im Verkehr – Vergleich der Szenarien WEO-Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R])**

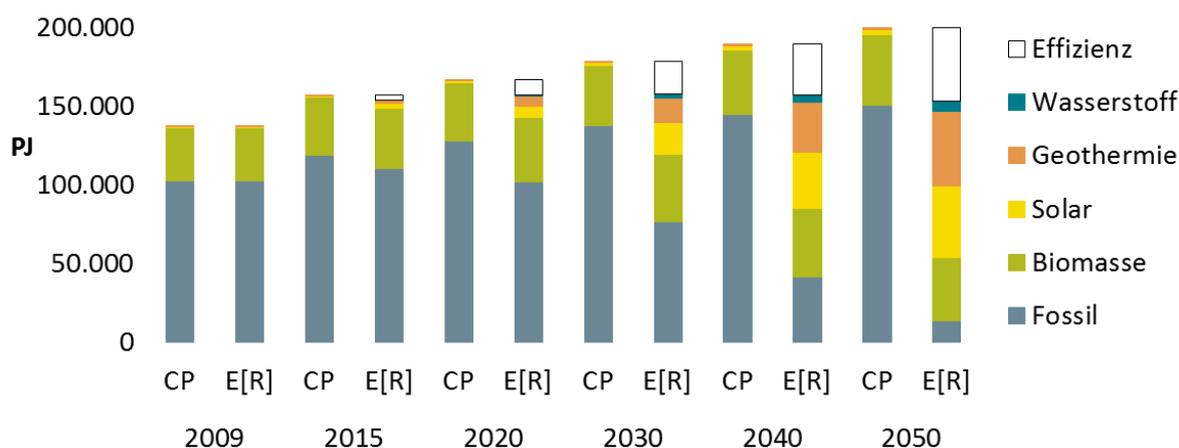


Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

In der Wärmeerzeugung (Abbildung 4-15) geht das Current-Policy Szenario von einer Zunahme von 137 EJ (2009) auf 200 EJ bis 2050 aus. Das Energy [R]evolution Szenario führt zunächst zu einem steigendem Wärmebedarf von 157 EJ (2020), der bis 2050 geringfügig auf 153 EJ sinkt.

Abbildung 4-15

**Projektion der Wärmeerzeugung – Vergleich der Szenarien Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R])**



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Im Current-Policy Szenario kann nur die Biomasse als erneuerbare Energie einen deutlichen Anteil an der Wärmeversorgung aufweisen. Bei absoluter Zunahme der Wärmebereitstellung von 34 EJ (2009) auf 44 EJ (2050) bleibt der Anteil konstant bei etwa  $\frac{1}{4}$ . Im Energy [R]evolution Szenario werden 2050 etwas weniger, nämlich 40 EJ aus Biomasse erzeugt. Entscheidende Unterschiede finden sich jedoch im Bereich der Geothermie und der Solarenergie, die bis 2050 den Hauptanteil der Wärmeerzeugung übernehmen sollen. Mit 47 EJ (Geothermie) bzw. 45 EJ (Solar) nehmen diese beiden Ressourcen dann jeweils einen ähnlichen Umfang ein wie Biomasse. Insgesamt übernehmen erneuerbare Energien damit über 90% der Wärmeversorgung (einschließlich Wasserstofferzeugung aus dem erneuerbaren Anteil des Strommixes). Dieser Ausbau der erneuerbaren Energien ist allerdings entscheidend an einen parallelen Ausbau von Wärmenetzen gebunden, um die Wachstumsraten von jährlich 8% (Solar) bzw. 10% (Geothermie) umzusetzen.

Im Strombedarf liegen die beiden betrachteten Szenarien auf einem vergleichbaren Niveau. 2050 werden im Current-Policy Szenario 48.300 TWh erzeugt, im Energy [R]evolution Szenario 46.600 TWh. Dies liegt insbesondere im hohen Strombedarf durch die Umstrukturierung des Verkehrs hin zur e-Mobilität begründet, aber auch in der Transformation von (fluktuie-

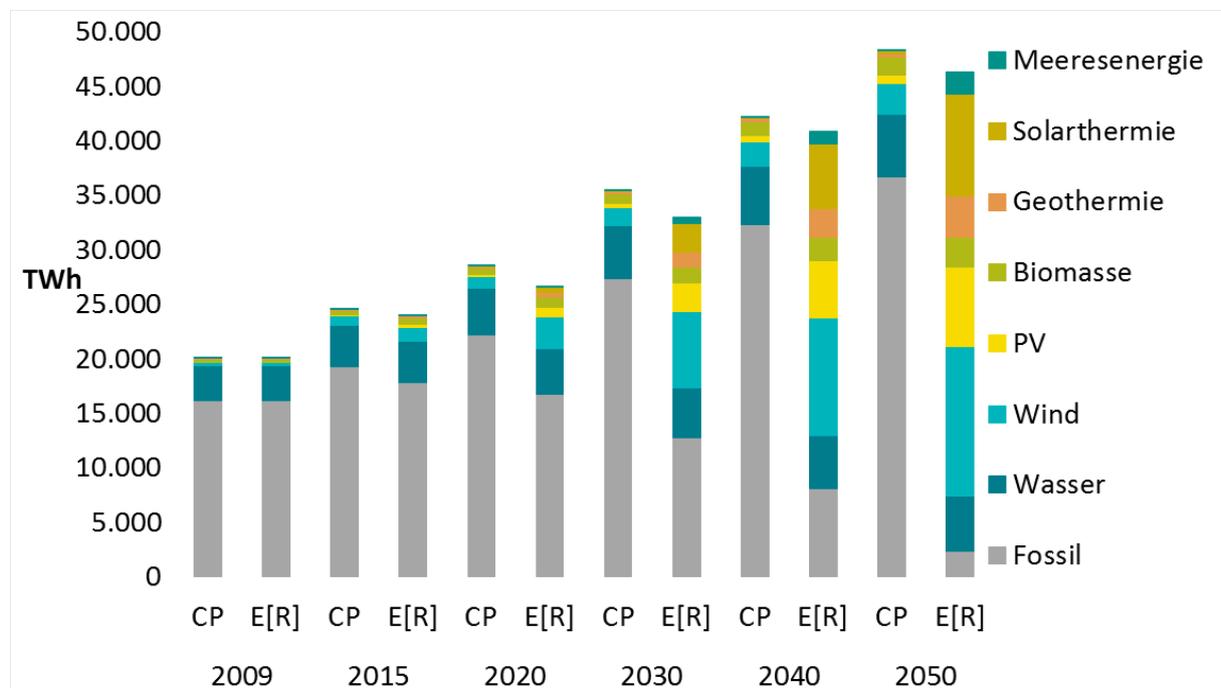
rendem) Strom zu Wasserstoff. Die Struktur der Erzeugung unterscheidet sich jedoch erheblich.

Auch für die Stromerzeugung gibt das Current-Policy Szenario eine weitgehend fossile Zukunft vor. Der Anteil erneuerbarer Energien nimmt von 19% (2009) bis 2050 auf gerade einmal 24% zu, wenngleich der aus Erneuerbaren erzeugte Strom auf über 11.600 TWh im Jahr 2050 ansteigt. In diesem Szenario leisten 2050 nur Wasserkraft (50%), Wind (24%) und Biomasse (14%) einen bedeutenden Beitrag zur Stromerzeugung, allerdings wächst auch die Erzeugung von PV mit 9% pro Jahr.

Ähnlich wie bei der Wärme übernehmen die erneuerbaren Energien im Energy [R]evolution Szenario auch in der Stromversorgung ab 2030 den Hauptanteil und verdrängen bis 2050 fossile Stromerzeugung und Kernenergie fast vollständig. Mit Ausnahme der Wasserkraft und der Biomasse weisen alle erneuerbaren Ressourcen sehr hohe Wachstumsraten auf. Die Windenergie wird mit einem Wachstum von 10%/a auf 13.770 TWh im Jahr 2050 weiterhin stark ausgebaut. Die Offshore-Windkraft kommt etwas später zum Einsatz, wächst dafür dann aber wesentlich schneller. Der PV-Zubau nimmt bis 2050 mit 15%/a zu auf 7.300 TW.

Abbildung 4-16

**Projektion der Stromerzeugung – Vergleich der Szenarien WEO-Current Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R])**



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

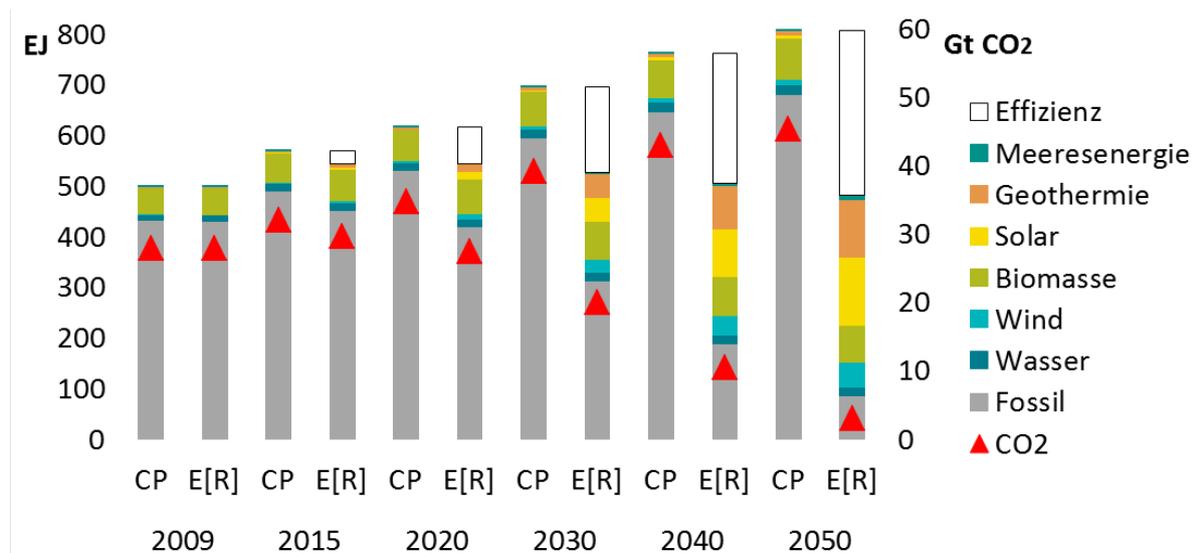
Diese hohen Wachstumsraten sind zumindest derzeit nicht unrealistisch. Zum Vergleich: 2013 wuchs der weltweite PV-Markt gegenüber dem Vorjahr um 35% auf 137 GW (EPIA 2014). Auch die weltweit installierte Windkraftleistung stieg um 12% auf 318 GW (GWEC 2014).

Stromerzeugung aus Geothermie wächst im Energy [R]evolution Szenario um jährlich 10% auf 3.800 TWh an. Solarthermische Kraftwerke – als regelbare erneuerbare Option – weisen mit rund 26%/a künftig das höchste Wachstum auf und erreichen Mitte des Jahrhunderts 9.400 TWh. Für Meeresenergie sieht das Energy [R]evolution Szenario ein ähnlich hohes Wachstum von 23%/a vor, allerdings von sehr niedrigerem Niveau aus startend, weswegen 2050 nur 2.100 TWh erzeugt werden. Insgesamt erreicht das Energy [R]evolution Szenario einen erneuerbaren Anteil von 94% der Stromerzeugung.

Das Bild, das sich für beide Szenarien bezüglich des Primärenergieverbrauchs ergibt (Abbildung 4-17), zeichnet zwei sehr unterschiedliche Entwicklungspfade. Im Current-Policy Szenario ergibt sich eine weitgehend fossile Zukunft für das Energiesystem. Der geringe Anteil erneuerbarer Energien steigt von rund 14% unerheblich auf knapp 16%. Biomasse bleibt die einzige erneuerbare Ressource mit einem zweistelligen Anteil, der über die gesamte Laufzeit bei 10% verbleibt. Dies wirkt sich auch auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus, die im Current-Policy Szenario bis 2050 auf über 45 Gt/a anwachsen.

Abbildung 4-17

Projektion des Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen – Vergleich der Szenarien Current-Policy (CP) und Energy [R]evolution (E[R])



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Im Gegensatz dazu erreichen die erneuerbaren Energien im Energy [R]evolution Szenario bis Mitte des Jahrhunderts ein Anteil von 82% am Primärenergieverbrauch. Solarenergie für Wärme und Strom leistet darin mit 34% den größten Beitrag, gefolgt von Geothermie für Wärme und Strom (29%), Biomasse für Strom, Wärme und Verkehr (18%) und Wind (13%). Die restlichen 6% werden durch die Wasserkraft gedeckt. Da das Energy [R]evolution Szenario bei den verbleibenden fossilen Brennstoffen eine starke Verschiebung hin zu Gas annimmt, sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energiesystem bis 2050 auf gut 3 Gt/a.

#### **4.2.4 Marktentwicklung in den globalen Szenarien**

Im Energy [R]evolution Szenario bietet ein erhebliches Ausbaupotenzial für erneuerbare Energie-Anlagen, während das Current-Policy Szenario relativ geringe Ausbauchancen aufzeigt. Dies bedeutet allerdings auch, dass für die Umsetzung des Energy [R]evolution Szenarios weltweit eine starke Marktentwicklung benötigt wird, die nur mit erheblichen Anstrengungen ermöglicht werden kann. Die Marktentwicklung bestimmt sich aus dem jährlichen Neubau und den dabei getätigten Investitionen.

##### **4.2.4.1 Installierte Leistungen in den Szenarien**

Der jährliche Neubau setzt sich aus dem Zubau neuer Anlagen und dem Ersatz alter Anlagen zusammen. Tabelle 4-13 und Tabelle 4-14 zeigen die Entwicklung der jährlich installierten Leistungen in den beiden Szenarien auf (Greenpeace, EREC et al. 2012). Für die aktuelle Studie wurden dabei die Neuinstallationen in den Szenarien von 2009 bis 2012 anhand bereits vorliegender statistischer Daten aktualisiert (EPIA 2014; GWEC 2014) bzw. eine Abschätzung der Entwicklung anhand der Zubaudaten von 2010 getroffen (u.a. Biomasse, oberflächennahe Geothermie) (BMU 2013).

Im Energy [R]evolution Szenario nimmt der Ausbau der erneuerbaren Energien rapide zu, von derzeit knapp 300 GW/a auf 820 GW/a im Jahr 2020. Dieser Wert verdoppelt sich etwa bis 2050 auf knapp 1.600 GW/a. Insbesondere Solarthermie für Wärme und Strom, Windkraftwerke und Photovoltaik verzeichnen langanhaltend hohe Zuwächse, unterstützt von der Geothermie.

Die Machbarkeit eines solch rapiden Wachstums ist, wie bereits zuvor erwähnt in einigen Technologien zur erneuerbaren Stromerzeugung in den vergangenen Jahren nachgewiesen worden. Im Wärmemarkt muss dieses Marktwachstum jedoch erst noch eingeleitet werden, was eine erhebliche Herausforderung weltweit darstellt. Bei der Solarthermie muss sich der Markt bis 2020 verfünffachen, bei oberflächennahe Geothermie (also v.a. Wärmepumpen) bis 2020 sogar verzehnfachen. Die Voraussetzung dafür sind u.a. Wärmenetze in den Regio-

nen mit größerem Heizwärmebedarf, die unter Integration von Solarkollektoren und Geothermie einen hohen erneuerbaren Deckungsgrade erreichen. Dies erfordert jedoch die Einführung von Förderinstrumenten, die im Wärmesektor bisher gar nicht oder nicht so erfolgreich wie im Stromsektor eingesetzt werden.

Tabelle 4-13

**Jährlich installierte Leistungen an erneuerbaren Energien im Energy [R]evolution Szenario zum jeweiligen Stützzeitpunkt**

		2012	2020	2030	2040	2050
Wasserkraft	GW/a	44,4	37,9	25,2	22,4	19,5
Windenergie	GW/a	47,0	144,5	214,3	275,6	290,2
- onshore	GW/a	45,4	135,2	174,1	236,7	230,0
- offshore	GW/a	1,6	9,3	40,1	38,9	60,3
Photovoltaik	GW/a	29,7	86,1	150,0	233,5	251,4
Tiefengeothermie	GW/a	2,7	70,9	93,3	182,6	183,7
Biogas/Biomasse Heiz-/Kraftwerke	GW/a	65,4	79,0	52,5	52,2	40,0
Gezeiten, Wellen	GW/a	0,0	9,0	12,8	16,6	34,9
Solarthermische KW	GW/a	1,1	10,4	48,6	77,7	83,1
Solarthermie	GW/a	52,7	256,7	345,6	607,9	493,9
oberflächennahe Geothermie	GW/a	6,9	69,7	98,7	159,8	194,2
Biomasse Kleinanlagen	GW/a	35,4	56,8	6,4	7,9	2,5
Summe	GW/a	285	821	1.047	1.636	1.593

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Kleine Biomasseanlagen leisten derzeit noch einen großen Beitrag zur erneuerbaren Energieversorgung und der Zubau wird im Energy [R]evolution Szenario auch kurzfristig noch auf das doppelte ansteigen. Trotzdem gehen die Installationen langfristig stark zurück, da sich die Biomassenutzung zu größeren Anlagen hin verschiebt und generell einen gebremsten Ausbau erfährt.

Im Current-Policy Szenario steigt der Ausbau der erneuerbaren Energien dagegen nur bis 2020 an und wird nachfolgend wieder zurückgeführt. Zwar fällt der Zubau von Wasserkraft – als bisher wichtigster erneuerbarer Stromquelle – künftig hinter Windenergie und Biomasse zurück, der größte Ausbau ist aber bei Biomasse Kleinanlagen zu finden, vor allem bis 2020.

Allerdings zeigen die Daten für 2012, dass der schwache Ausbau im Szenario bereits von der Realität überholt wurde: Bei der Photovoltaik übertreffen bereits die Installationen 2012 den projizierten Ausbau in allen Stützzeitpunkten des Current-Policy Szenario. Nicht ganz so

ausgeprägt aber ähnlich verhält sich der künftige Ausbau von Wind und Tiefengeothermie, aber auch bei Solarkollektoren zu den aktuell erreichten jährlichen Installationen.

Tabelle 4-14

**Jährlich installierte Leistungen an erneuerbaren Energien im Current-Policy Szenario**

		2012	2020	2030	2040	2050
Wasserkraft	GW/a	44,4	37,8	32,5	28,2	37,0
Windenergie	GW/a	47,0	28,6	68,5	46,8	39,6
- Onshore	GW/a	45,4	25,8	63,3	39,2	29,6
- Offshore	GW/a	1,6	2,7	5,2	7,6	10,0
Photovoltaik	GW/a	29,7	7,2	27,9	19,4	23,0
Tiefengeothermie	GW/a	2,7	1,2	2,1	2,0	1,9
Biogas/Biomasse Heiz-/Kraftwerke	GW/a	65,4	40,9	47,1	28,9	32,0
Gezeiten, Wellen	GW/a	0,0	0,1	0,4	0,3	0,8
Solarthermische KW	GW/a	1,1	1,2	1,2	1,9	3,6
Solarthermie	GW/a	52,7	17,5	48,0	26,9	30,8
oberflächennahe Geothermie	GW/a	6,9	5,8	6,8	7,5	6,5
Biomasse Kleinanlagen	GW/a	35,4	450,0	92,0	108,7	123,5
Summe	GW/a	285	590	326	271	299

Quelle Eigene Berechnungen des DLR.

Dagegen sind im Energy [R]evolution Szenario die aktuellen Ausbauzahlen noch weit von den benötigten Zuwächsen entfernt. Abbildung 4-18 zeigt, wie der Anlagenpark über den gesamten Szenariozeitraum ausgebaut werden muss, um das ambitionierte Ausbauziel und die hohen Anteile an erneuerbarem Strom und Wärme zu erreichen.

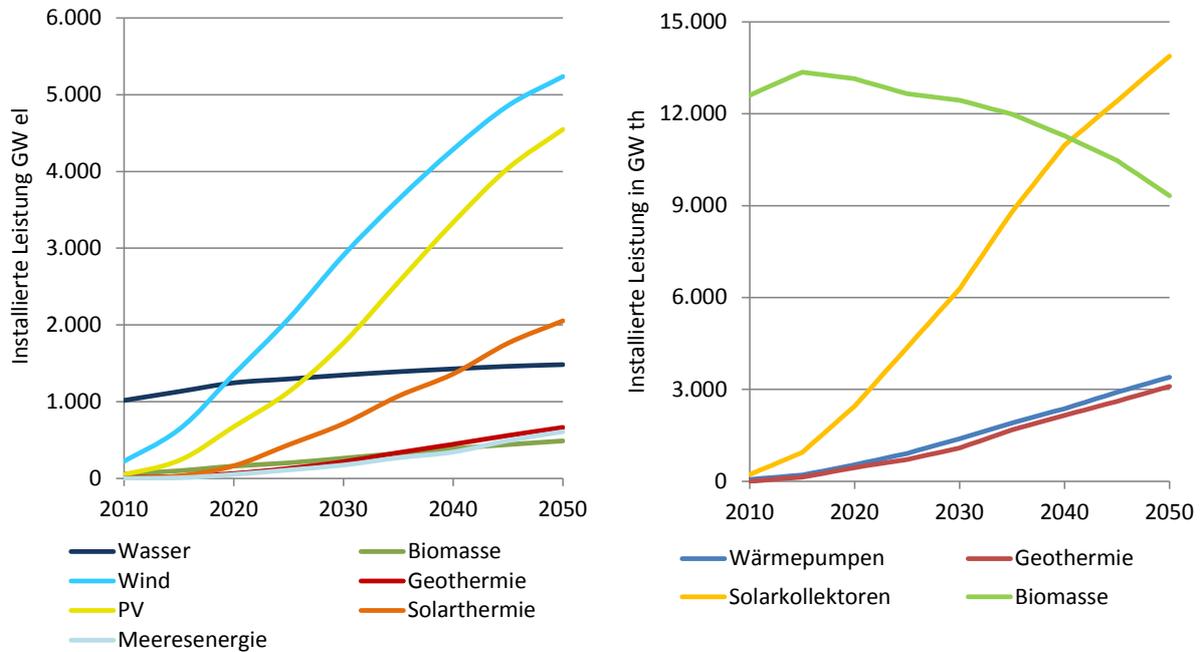
Während die klassische Wasserkraft nur um etwa die Hälfte wächst, müssen insbesondere die Technologien mit relativ geringen Volllaststunden und geringer gesicherter Leistung wesentlich höhere Zuwächse bieten. Die Windenergiebranche müsste etwa weitere 5.000 GW installieren und insgesamt 4.500 GW Photovoltaik würden für die Umsetzung des Energy [R]evolution Szenario benötigt.

Die Biomasse zeigt sich im Energy [R]evolution Szenario als Brückentechnologie, bei der davon ausgegangen wird, dass die traditionelle Biomassenutzung zum großen Teil auf effizientere kommerzielle Technologien umgestellt wird. Dies gilt insbesondere für den Wärmesektor wo mit relativ geringen Maßnahmen z.B. durch einfache Öfen statt offenem Feuer die Holznutzung zum Kochen erheblich effizienter werden kann. Dadurch werden Biomassepo-

tenziale freigesetzt, die zum Teil in modernen Biomasseanlagen hocheffizient und zum Ausgleich fluktuierender erneuerbarer Stromquellen genutzt werden können.

Abbildung 4-18

**Erforderliches globales Wachstum der EE-Technologien zur Stromerzeugung (links) und Wärmeerzeugung (rechts) im Energy [R]evolution Szenario**



Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

**4.2.4.2 Investitionen in erneuerbare Energien**

Für (Greenpeace, EREC et al. 2012) wurden am DLR die Investitionskosten für den vorgezeichneten Ausbau in den beiden Szenarien für jede der oben genannten Weltregionen abgeschätzt. Der Bereich Verkehr wurde weitgehend ausgeklammert. Für die Untersuchung im Rahmen dieser Studie stellt dies jedoch kein Problem dar, da der Bereich e-Mobilität durch die erhöhte Stromerzeugung bereits abgedeckt wird und die Investitionen in Fahrzeuge mit alternativen Antriebssträngen nicht den erneuerbaren Energien zuzurechnen sind (vgl. Abschnitt 4.1).

Neben den Annahmen zu Zubau und Ersatzinvestitionen für Wärme- und Stromanlagen (siehe oben), wurden Annahmen zu spezifischen Investitionskosten der jeweiligen Technologien getroffen. Tabelle 4-15 gibt einen Überblick über diese Kosten für Europa, wie sie für die Szenarien angenommen wurden.

Tabelle 4-15

**Spezifische Investitionskosten für Kraftwerke und Wärmanlagen in OECD Europa im Energy [R]evolution Szenario**

Anlagentyp	Ressource	Einheit	2020	2030	2040	2050
Kraftwerke	Biomasse	€/kW	2.251	2.210	2.184	2.169
	Wasserkraft	€/kW	2.615	2.645	2.671	2.694
	Wind onshore	€/kW	1.320	1.282	1.258	1.243
	Wind offshore	€/kW	3.587	3.453	3.302	3.139
	PV	€/kW	1.084	1.048	1.032	1.014
	Tiefengeothermie	€/kW	7.952	7.182	6.598	6.154
	Solarthermie	€/kW	5.600	5.140	4.867	4.734
	Meeresenergie	€/kW	2.891	2.566	2.340	2.189
Kraftwärmekopplungsanlagen	Biomasse (Industrie)	€/kW	4.266	4.219	4.207	4.220
	Biomasse (Haushalte)	€/kW	1.859	1.845	1.836	1.829
	Tiefengeothermie	€/kW	9.058	8.529	8.104	7.757
Heizwerke	Biomasse	€/kW	491	485	479	473
	Tiefengeothermie	€/kW	1.940	1.900	1.860	1.820
	Solare Nahwärme	€/m <sup>2</sup>	814	814	814	814
Industrielle Heizanlagen	Wärmepumpen	€/kW	1.473	1.455	1.438	1.420
	Tiefengeothermie	€/kW	1.940	1.900	1.860	1.820
	Solarkollektoren	€/kW	696	681	662	639
	Biomasse	€/kW	491	485	479	473
Private Heizungen	Biomasse	€/kW	1.144	1.104	1.062	1.062
	Solarkollektoren	€/kW	863	845	820	792
	Wärmepumpen	€/kW	1.473	1.455	1.438	1.420

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Für die übrigen Regionen wurden in den meisten Fällen dieselben Kosten angesetzt.<sup>30</sup> Lediglich im Wärmesektor wurden leichte Anpassungen vorgenommen um den unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen geographischen Lagen Rechnung zu tragen. Auch technologische Unterschiede, die sich zum Teil durch die geographischen Randbedingungen ergeben wurden hier berücksichtigt. Insbesondere sei in diesem Zusammenhang auf die Solarthermie verwiesen, die in sehr unterschiedlichen Ausprägungen vorkommt. Für die aktuelle Abschätzung der Arbeitsplatzeffekte wurde eine Anpassung der Investitionskosten insbe-

<sup>30</sup> Eine mögliche Über- bzw. Unterschätzung der Investitionen für die anderen Weltregionen wird hier als unkritisch bewertet, da auch die differenzierte Betrachtung nach Komponenten auf den Erfahrungen in Europa basiert. Der Anteil der globalen Investitionen, der später die Grundlage zur Ermittlung der Exportszenarien darstellt, bezieht sich demnach auf die Güter, die über den Welthandel geliefert werden und damit Welthandelspreisen unterliegen.

sondere für PV und Wind für die Jahre 2009-2012 vorgenommen, die bereits bei den nationalen Szenarien beschrieben wurden (siehe Kapitel 4.1.)

Für die zukünftige Entwicklung ist der erwartete Rückgang der spezifischen Investitionskosten bemerkenswert, vor allem vor allem in den Technologien, die vergleichsweise am Anfang ihrer Marktentwicklung stehen, wie die Offshore-Windenergie oder die Geothermie. Hier werden erhebliche Lernfortschritte erwartet, die zu einer starken Reduzierung der Kosten führen werden. Im Bereich der PV konnte eine solche Entwicklung in den vergangenen Jahren sehr deutlich beobachtet werden. Demgegenüber lassen die Kosten von Wärmeanlagen geringere Lernfortschritte erwarten, mit Ausnahme der Geothermie in der Kraft-Wärme-Kopplung.

Aus den oben dargestellten Neuinstallationen und den spezifischen Investitionskosten ergeben sich für die verschiedenen Technologien Investitionsvolumina, die in Tabelle 4-16 und Tabelle 4-17 für einzelne Stützjahre bis 2050 dargestellt sind. Auch hier sieht man in Tabelle 4-16 den erheblichen Investitionsschub, den das Energy [R]evolution Szenario in den nächsten Dekaden ansetzt.

Tabelle 4-16

**Weltweite Investitionen in erneuerbare Energien im Energy [R]evolution Szenario zum jeweiligen Stützzeitpunkt**

		2012	2020	2030	2040	2050
Wasserkraft	Mrd. €	112	100	70	64	57
Windenergie	Mrd. €	73	204	315	365	390
- onshore	Mrd. €	67	172	209	278	267
- offshore	Mrd. €	7	32	106	87	124
Photovoltaik	Mrd. €	44	90	144	215	221
Tiefengeothermie	Mrd. €	10	128	184	290	286
Biogas/Biomasse Heiz-/Kraftwerke	Mrd. €	46	78	67	83	66
Gezeiten, Wellen	Mrd. €	0	22	22	24	45
Solarthermische KW	Mrd. €	8	51	206	301	302
Solarthermie	Mrd. €	10	135	158	270	189
oberflächennahe Geothermie	Mrd. €	10	101	135	206	235
Biomasse Kleinanlagen	Mrd. €	50	40	5	8	2
Summe	Mrd. €	364	951	1.305	1.827	1.793

Quelle: Eigene Berechnungen des DLR.

Im Stromsektor sind die wichtigsten Märkte derzeit: Wasserkraft, mit einem Anteil von 31% der gesamten EE-Investitionen, Windkraft mit einem Anteil von 20% und Biomasse bzw. PV

mit einem Anteil von 13% bzw. 12%. Bei sinkenden spezifischen Kosten müssen sich demnach die derzeit bereits stark wachsenden Märkte – Wind und PV – bis 2020 noch verdreifachen und in der folgenden Dekade noch einmal um 60% wachsen, um den ehrgeizigen Ausbaupfad im Energy [R]evolution Szenario zu erreichen. Blickt man auf die Entwicklung der vergangenen Jahre zurück, so scheint dieses Ziel durchaus möglich. Zwischen 2008 und 2012 hat sich das globale Investitionsvolumen von Wind von 30 Mrd. €/a auf 73 Mrd. €/a mehr als verdoppelt. Dies gilt ähnlich für die PV, deren Investitionen von 20 Mrd. € auf 44 Mrd. € im selben Zeitraum anstiegen (Lehr, Lutz et al. 2011). Wasserkraft und Biomasse-Investitionen bleiben dagegen langfristig eher stetig.

Tabelle 4-17

**Weltweite Investitionen in erneuerbare Energien im Current-Policy Szenario zum jeweiligen Stützzeitpunkt**

		2012	2020	2030	2040	2050
Wasserkraft	Mrd. €	112	100	90	81	109
Windenergie	Mrd. €	73	34	74	54	48
- Onshore	Mrd. €	67	26	63	40	31
- Offshore	Mrd. €	7	8	11	15	17
Photovoltaik	Mrd. €	44	9	27	15	18
Tiefengeothermie	Mrd. €	10	5	6	7	5
Biogas/Biomasse Heiz-/Kraftwerke	Mrd. €	46	32	42	29	32
Gezeiten, Wellen	Mrd. €	0	0	1	1	1
Solarthermische KW	Mrd. €	8	6	5	8	13
Solarthermie	Mrd. €	10	6	13	11	11
oberflächennahe Geothermie	Mrd. €	10	8	9	10	8
Biomasse Kleinanlagen	Mrd. €	50	60	17	17	18
Summe	Mrd. €	364	260	284	232	264

Quelle: Eigene Berechnungen.

Ein ganz anderes Bild ergibt sich allerdings für die noch wenig entwickelten Märkte für solare Wärme und Erdwärme. Bei Strom aus Solarthermischen Kraftwerke und Tiefengeothermie müssen die Investitionen bis 2020 versechsfacht bzw. verzwölffacht werden, um den Ausbaupfad des Energy [R]evolution Szenario zu erreichen. Dies gilt auch für den gesamten Wärmemarkt, für den bis 2020 hauptsächlich die Solarthermie-Investitionen (Kollektoren) um den Faktor 13 ansteigen müssen, sowie die oberflächennahe Geothermie (v.a. Wärmepumpen), deren Investitionen bis dahin verzehnfacht werden sollen.

Die Gesamtinvestitionen verdreifachen sich im Energy [R]evolution Szenario bis zum Jahre 2020 auf etwa 1 Billion €, um in den beiden folgenden Dekaden noch einmal um je 40% zu steigen. Erst zum Ende des Betrachtungszeitraums konsolidieren sich die benötigten Investitionen auf einem Niveau von jährlich 1,8 Billionen €.

Eine ganz andere Struktur zeigt sich im Current-Policy Szenario (Tabelle 4-17), in dem nur 15 - 30% der Investitionsvolumina aus dem Energy [R]evolution Szenario erreicht werden. Bereits im Jahr 2012 war jedoch das Investitionsvolumen von über 360 Mrd. € höher, als im Szenario künftig vorgesehen. Die Investitionen in Windenergie haben bereits das Volumen erreicht, das unter den politischen Rahmenbedingungen 2011 (zur Zeit der Erstellung des WEO) erst in 2030 erwartet wurde. Die PV-Investitionen sind bereits etwa doppelt so hoch, wie für den Verlauf des Szenarios vorausgeschätzt. Auch in den bisher „wenig“ entwickelten Märkten der Solaren Wärme und der Geothermie übertrifft der aktuelle Ausbau den Current-Policy Szenario-Entwicklungspfad. Bei Wasserkraft und Biomasse sind hingegen die Unterschiede zu den Investitionen im Energy [R]evolution Szenario vergleichsweise gering.

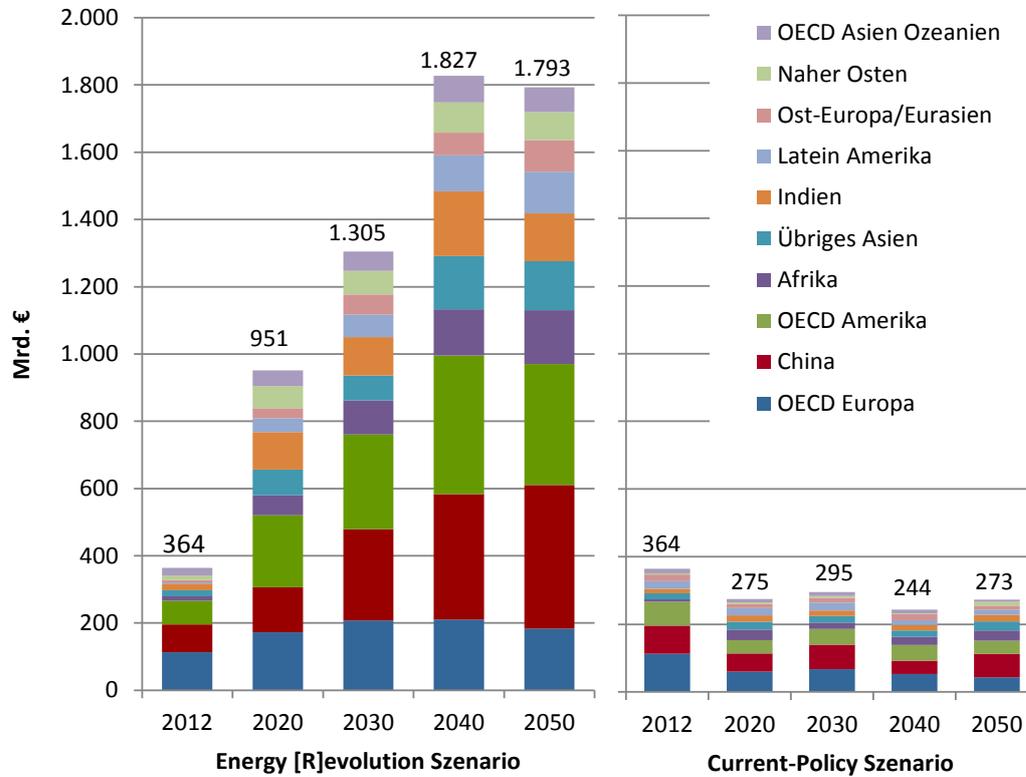
Abschließend soll die geografische Verteilung der Investitionen in erneuerbare Energien aufgezeigt werden (vgl. Abbildung 4-19). Die derzeit dominierenden Märkte sind OECD Europa mit 31%, China mit 23% und OECD Amerika mit 19% Marktanteil. Diese Regionen werden auch langfristig die größte Bedeutung beibehalten: In China rechnet das Energy [R]evolution Szenario 2050 mit 427 Mrd. € und in OECD Amerika mit 360 Mrd. €. Europa wird bis Mitte des Jahrhunderts für den Ausbau erneuerbarer Technologien an Bedeutung verlieren und 2050 noch 10% des Weltmarkts umfassen, was dennoch einen absoluten Anstieg auf 180-200 Mrd. € bedeutet. In Asien und Osteuropa entwickeln sich neue Märkte. Indien soll bis Mitte des Jahrhunderts einen Anteil von 9% des Weltmarkts erreichen (160 Mrd. €). Auf das übrige Asien (ohne China) und Osteuropa/Eurasien werden je 8% des Weltmarktes entfallen, mit 146 Mrd. € bzw. 141 Mrd. €.

Eine ähnliche Verteilung findet sich auch im Current-Policy Szenario, bei etwas geringeren Anteilen von OECD Amerika und Indien. In den drei wichtigsten Regionen China, OECD Amerika und OECD Europa werden aber in beiden Szenarien über den gesamten Zeitraum mehr als die Hälfte der Gesamtinvestitionen getätigt.

Die hier aufgezeigten jährlichen Investitionen nach Weltregionen bilden die Grundlage für die Ableitung der Exportmöglichkeiten deutscher Unternehmen, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

Abbildung 4-19

**Jährliche Investitionskosten für erneuerbare Energien im Energy [R]evolution Szenario (links) und Current-Policy Szenario (rechts) nach Weltregionen**



Quelle. Eigene Berechnungen.

## **5 Exporte deutscher Unternehmen**

Deutschland hat mit dem geförderten Ausbau der erneuerbaren Energien) die Entwicklung der Technologien, als auch der Herstellungsverfahren für EE-Technik auf zweierlei Art vorangetrieben. Zum einen wurden Skaleneffekte und Lernkurveneffekte durch einen attraktiven heimischen Absatzmarkt für EE-Technologien ausgelöst. Durch die ausgelösten Lernkurveneffekte erreichen derzeit EE-Technologien auch in anderen Regionen der Welt die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit. Zum anderen wurden Produktionsmittel deutscher Hersteller eingesetzt um diese neuen Produkte herzustellen. Vor diesem Hintergrund ist von Interesse wie sich die Exportsituation heute und in den beiden Zielszenarien für in Deutschland produzierte Anlagen und Produktionsmittel darstellt. Nicht zuletzt ist dies vor dem Hintergrund der generell guten Wettbewerbsposition Deutschlands im Maschinen- und Anlagenbau von Interesse.

### **5.1 Exportchancen deutscher Anbieter von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien**

Für eine exportorientierte Industrienation wie Deutschland verbinden sich mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien die Erwartungen, dass deutsche Anbieter von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (EE-Anlagen) auch auf den Weltmärkten präsent und erfolgreich sind. Diese Erwartungen stützen sich nicht zuletzt auf die Hypothese, dass durch die weltweite Vorreiterrolle Deutschlands beim Ausbau der erneuerbaren Energien für nationale Anbieter Vorteile im internationalen Wettbewerb erwachsen (Lead market advantage). Tatsächlich ist in den letzten Jahren im Zuge der bedeutenden Investitionen in neue EE-Anlagen in Deutschland eine wachstumsstarke Branche entstanden, die ein breites Spektrum von Anlagen und Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien sowohl für den heimischen Markt wie für die Auslandsmärkte anbietet. Nach eigenen Abschätzungen konnten deutsche Anbieter im Jahr 2013 EE-Anlagen und Komponenten im Wert von 10,2 Mrd. Euro exportieren (vgl. Abschnitt 2.5). Nicht in allen Technologiebereichen sind die deutschen Anbieter gleich erfolgreich auf den Weltmärkten. Bisher konnten die Anbieter von onshore Windkraftanlagen besonders große Exporterfolge erzielen, auf sie entfielen im Jahr 2013 56% der deutschen Exporte von EE-Anlagen und Komponenten insgesamt. Auch Anbieter aus anderen Technologiebereichen wie Photovoltaik und Wasserkraft konnten sich erfolgreich auf den internationalen Märkten positionieren.

Im Folgenden wird mit Hilfe eines nachfrageorientierten Schätzmodells der Versuch unternommen, die potentiellen zukünftigen Exportchancen deutscher Anbieter von EE-Anlagen quantitativ abzuschätzen. Neben einer Bestandsaufnahme für das Jahr 2012, die im Wesentlichen der Kalibrierung des Modells dient, werden szenariobasiert Exportchancen für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 quantitativ abgeleitet.

### 5.1.1 Methodische Vorgehensweise

Die nachfrageorientierte methodische Vorgehensweise, die zur Entwicklung von Exportszenarien deutscher Anbieter von EE-Anlagen und Komponenten im Rahmen dieser Untersuchung angewandt wird, orientiert sich an der Herangehensweise, die in Blazejczak, Edler (2008) für Umwelt- und Klimaschutzgüter entwickelt wurde. Die Vorgehensweise wurde in Lehr et al. (2011) erstmals für die Abschätzung von Exportszenarien für EE-Anlagen und Komponenten angewandt. Die Grundkonzeption des Schätzmodells besteht darin, aus exogen abgeleiteten Weltmarktentwicklungen zunächst den Welthandel und danach den Anteil Deutschlands an diesem Welthandel, also die deutschen Exporte, zu bestimmen. Die wesentlichen Rechenschritte werden schematisch in Abbildung 5-1 dargestellt.

Abbildung 5-1

#### Systematik zur Abschätzung deutscher Exporte von EE-Technologien



Quelle: Eigene Darstellung.

Aus den Erfahrungen der bisherigen Untersuchungen (vgl. Lehr et al (2011)) lässt sich ableiten, dass ein möglichst differenziertes Schätzmodell die Qualität und die Zuverlässigkeit der quantitativen Schätzergebnisse erhöht, weil regions- und technologiespezifische Charakteristika die Ergebnisse erheblich beeinflussen. Aus diesen Überlegungen wurde das Schätzmo-

dell so konzipiert, dass einerseits 10 Weltregionen bzw. Ländern und andererseits 11 unterschiedlichen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien unterschieden werden.

Die Abgrenzung der Weltregionen bzw. Länder orientiert sich an den Abgrenzungen der zugrunde liegenden Szenariobetrachtungen (siehe Abschnitt 4.2). Bei den EE-Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien werden folgende Technologien unterschieden:

- Wasserkraft,
- Windenergie onshore
- Windenergie offshore
- Photovoltaik,
- Tiefengeothermie,
- Biogas- und Biomasse Heiz-/Kraftwerke,
- Gezeiten und Wellenkraft (die jedoch aus deutscher Sicht keine Bedeutung haben) und
- Solarthermische Kraftwerke,

sowie die wärmeerzeugenden Technologien

- Kollektoren,
- Wärmepumpen und
- Biomasse Kleinanlagen.

Im Gegensatz zu der Herangehensweise in Lehr et al (2011), in der die die Bandbreite von verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten der Exporte auf einer einzigen Weltmarktentwicklung basierte, werden hier als Grundlage die beiden im vorherigen Kapitel beschriebenen Szenarien Current-Policy und Energy [R]evolution herangezogen. Hintergrund für dieses Vorgehen ist, dass sich die erneuerbare Energien Branche seit 2007 so dynamisch entwickelt hat, dass es nicht sinnvoll erscheint, die Exporte Deutschlands im Jahr 2012 als die Untergrenze für zukünftige Exportentwicklungen zu betrachten.<sup>31</sup> Die Berücksichtigung des Current Policy Szenarios sowie des Energy [R]evolution Szenarios bietet eine aus heutiger Sicht bessere Möglichkeit wieder die volle Bandbreite der möglichen Exportentwicklungen darzustellen.

Da es im Folgenden um die Erstellung von Exportszenarien von Gütern deutscher Herkunft geht, dient die weltweite Marktentwicklung ohne die deutsche Marktentwicklung als Grund-

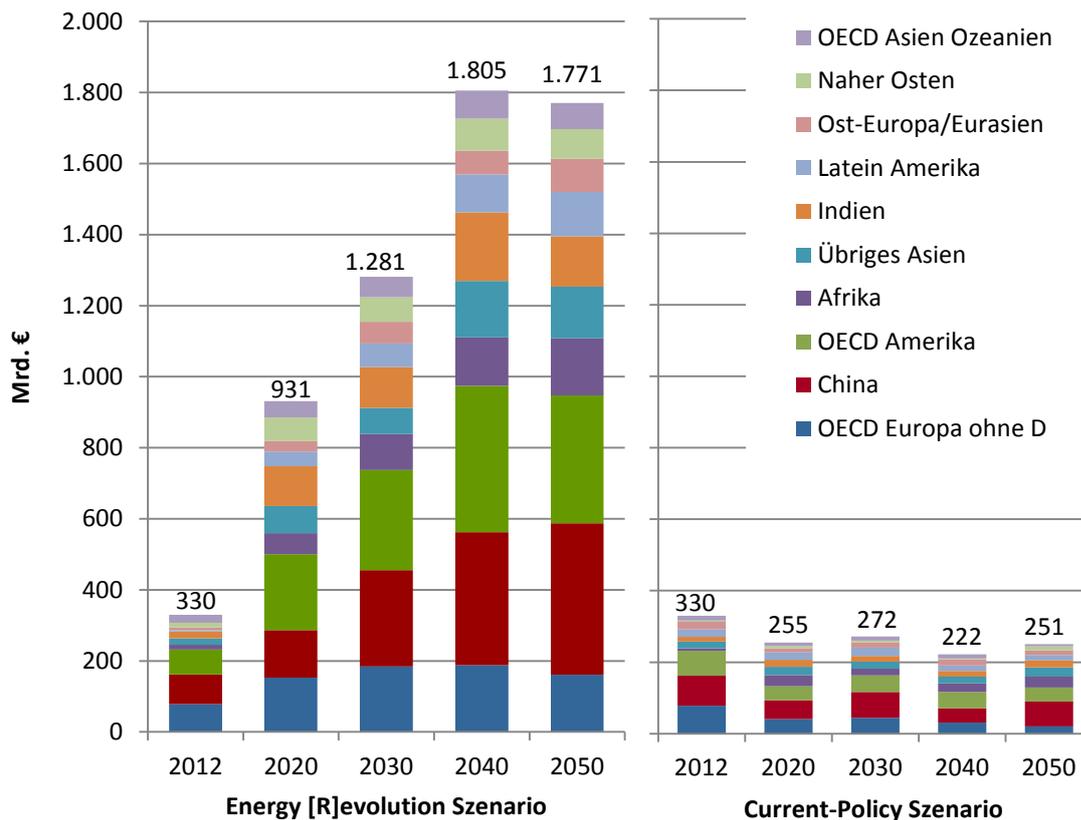
---

<sup>31</sup> In Lehr et al. (2011) wurden die Exportszenarien in einer Bandbreite dargestellt, in der zum einen der Export der Unternehmen für 2007 und zum anderen der Welthandelsanteil der Unternehmen konstant in die Zukunft fortgeschrieben wurden.

lage. Hierfür wird der deutsche Zubau (siehe Abschnitt 4.1) von der in der Weltregion OECD Europa abgezogen. Deutschland hatte 2012 einen Anteil von 30% an den Investitionen in OECD Europa und etwa 9% an den globalen Investitionen.

Abbildung 5-2

**Jährliche Investitionskosten für erneuerbare Energien im Energy [R]evolution Szenario (links) und Current-Policy Szenario (rechts) nach Weltregionen ohne Deutschland**



Quelle. Eigene Berechnungen.

### 5.1.2 Kalibrierung des Schätzmodells für 2012

Auf Basis der im vorigen Abschnitt skizzierten Vorgehensweise sollen Szenarien für die mögliche Entwicklung deutscher Exporte von EE-Anlagen und Komponenten für einen Zeitraum bis zum Jahr 2050 abgeleitet werden. In einem ersten Arbeitsschritt wird das quantitative Schätzmodell so kalibriert, dass es in der Lage ist, die Entwicklung der deutschen Exporte im Ex-post Jahr 2012 gut und konsistent abzubilden. Eine sorgfältige Abstimmung der Parameter des Modells ist notwendig, weil so die Qualität und innere Konsistenz der im nächsten Arbeitsschritt abgeleiteten Szenarien gewährleistet werden kann.

Da die Aufteilung der weltweiten Investitionen nach Technologien im Wesentlichen deckungsgleich mit der Kategorisierung ist, die für die Unternehmensbefragung gewählt worden ist (vgl. Kapitel 2.1), ergeben sich aus der Auswertung dieser Befragung im Hinblick auf die aktuellen und zukünftigen Exportvolumina wichtige Anhaltspunkte für die Kalibrierung des Schätzmodells.

### Weltmarkt

Die Beschreibung des Weltmarktes im Jahr 2012 nach Weltregionen und Technologien ergibt aus den Investitionsausgaben in diesem Jahr. Nach Herausrechnung Deutschlands belaufen sie sich in der Summe auf 330 Mrd. Euro.

### Welthandel

Ausgangsbasis für die Abschätzung des Welthandels mit EE-Anlagen und Komponenten sind einheimische Investitionen und Importe ausgewählter Gütergruppen für ausgewählte Länder bzw. Ländergruppen, die aus dem Modell GINFORS-E der GWS stammen. Es werden vor allem Daten der Gütergruppen „elektrische Ausrüstungen“ sowie „Maschinen und Anlagen“ berücksichtigt. Diese geben Aufschluss darüber, in welchem Umfang in den ausgewählten Ländern und Ländergruppen relevante Investitionsgüter aus inländischer Produktion bzw. aus Importen stammen. Je nach Größe des nationalen Marktes und des Entwicklungsstandes der heimischen Industrie bestehen zwischen den Ländern und Regionen erhebliche Unterschiede.

Darüber hinaus wurden die verfügbaren Informationen bezüglich der existierenden Produktionsstandorte für EE-Güter weltweit in die Überlegungen einbezogen. Dabei wurden die technologiespezifischen Investitionen nach Komponenten differenziert betrachtet. Dies ist erforderlich, da nicht alle Güter im gleichen Maß auf dem Weltmarkt gehandelt werden. Im Bereich erneuerbarer Energien trifft dies insbesondere auf den Sektor der Dienstleistungen zu, aber auch auf Komponenten die regionalspezifische Besonderheiten aufweisen oder ortsgebunden sind. Ein besonders gutes Beispiel sind Baumaßnahmen oder die Installation der Anlagen. Diese Dienstleistungen werden weitestgehend lokal und einige Komponenten höchstens regional gehandelt. Diese Annahme basiert zu großen Teilen auf den Erkenntnissen der Unternehmensbefragungen der Jahre 2004, 2007 und 2012, die deutlich machen, dass die Außenhandelstätigkeit nach Komponenten betrachtet unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

Ein weiterer Aspekt, der bezüglich der Ermittlung des Welthandels eine immer größere Relevanz gewinnt, sind die sogenannten „local content“-Anforderungen, die in vielen Ländern für

eine ganze Reihe von EE-Technologien existieren. Diese Forderungen nach lokaler Wertschöpfung fördern den Aufbau einer heimischen Industrie, was wiederum zur Begründung der politischen Unterstützung des Ausbaus von EE-Technologien dient. Die Anforderungen finden sich meist direkt oder indirekt in den Fördersystemen im Stromsektor wieder. Die Forderung nach einer möglichst hohen heimischen Wertschöpfung ist dabei nicht ganz unkritisch zu betrachten. Aus Sicht der Entwicklung einer Technologie besteht die Möglichkeit, dass sich die Reduktion der Kosten dadurch verzögern kann, da Skaleneffekte in der Produktion nicht optimal genutzt werden können. In den Sparten in denen der Markt einer Weltregion jedoch erst im Entstehen ist und die Standorte der wesentlichen Akteure noch nicht klar erkennbar sind, kann eine solche Strategie am Anfang der Entwicklung durchaus zielführend sein. Sie wird jedoch nur aufgehen, wenn den Unternehmen eine längerfristige Perspektive in Form eines stabilen und in seiner Größe ausreichenden Marktes geboten wird. Die Relevanz der lokalen Wertschöpfung ist in der Vergangenheit insbesondere im Bereich der Windenergie onshore wie offshore deutlich gewesen. Aktuell spielt sie eine besonders große Rolle in der Entwicklung der Märkte für Solarthermische Kraftwerke. Eine Untersuchung für die Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) zeigt, dass es produzierende Unternehmen erst ab einem gewissen Marktvolumen als sinnvoll erachten eine neue Produktion in einer Weltregion aufzubauen (GIZ 2013). Ähnlichen Ergebnissen zeigt eine Studie des BMU, in der Vertreter der weltweiten Photovoltaik-Modulproduzenten zu ihren Erwartungen bezüglich zukünftiger Produktionsstandorte Stellung nehmen (Ball, Meckling 2013).

Auf Basis dieser verschiedenen Einflussfaktoren ist ein Welthandelsanteil der Investitionen spezifisch für 11 Technologien und 10 Weltregionen abgeleitet worden. Dabei sei darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine länderspezifische Betrachtung handelt. Das bedeutet, dass – soweit Ländergruppen betrachtet werden – der Import eines Landes aus einem andern Land derselben Region aus regionaler Perspektive heimische Wertschöpfung darstellt und damit nicht zum Welthandelsanteil beiträgt. Für die einzelnen Technologien lassen sich die getroffenen Annahmen folgendermaßen zusammenfassen:

Wasserkraft ist die EE-Technologie, die einen besonders hohen Reifegrad der Industrie hat. Jeder Weltregion verfügt über eine gewisse Erfahrung zum Bau solcher Anlagen. Zusätzlich handelt es sich um eine Technologie mit einem sehr hohen Anteil an Baumaßnahmen, wodurch sich ein hoher regionaler Wertschöpfungsanteil ergibt.

Die Windenergie an Land hat mittlerweile einen Reifegrad erreicht, in dem ein Markteintritt für neue Akteure vergleichsweise schwierig geworden ist, von Marktnischen abgesehen. Die in der Windenergie aktiven Unternehmen, sind mittlerweile in den meisten Weltregionen

mit einem nennenswerten Marktvolumen vertreten. Dies trifft jedenfalls für die Marktführer der jeweiligen Regionen zu und gilt auch für die Zulieferer. Dennoch wird der Welthandelsanteil in vielen Regionen momentan noch vergleichsweise hoch eingeschätzt, da die Märkte bislang sehr starken Schwankungen unterliegen, wodurch sich eine optimale Produktionsverteilung nur schwer abschätzen lässt.

Bei Offshore Wind sind die Märkte noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung. Der größte Zubau ist bisher in Europa zu beobachten gewesen, wobei auch der chinesische Markt nicht zu vernachlässigen ist. Weitere Aktivitäten finden vor allem in Japan, Südkorea und den USA statt (GWEC 2014). Bislang ist dieser Ausbau sehr stark durch eine hohe regionale Wertschöpfung geprägt, wodurch sich der Welthandelsanteil aktuell in Grenzen hält.

Die weltweite Produktion von Photovoltaik-Modulen wird momentan sehr stark durch chinesische Hersteller geprägt. Der Welthandelsanteil dieser Komponente ist sehr hoch. Betrachtet man jedoch die gesamte Anlage, so wird deutlich, dass mittlerweile beinahe 60% der Wertschöpfung auf andere Komponenten oder Dienstleistungen entfallen. Ein signifikanter Anteil davon wird in vielen Weltregionen regional bereitgestellt. Dies betrifft neben Dienstleistungen vor allem Unterkonstruktionen oder auch Komponenten zum Netzanchluss.

Ähnlich wie die Wasserkraft sind auch die Biomasse sowie die Tiefengeothermie durch einen erheblichen Anteil an lokalen Bauleistungen geprägt. Die Anlagentechnik selbst ist jedoch mit der konventionellen Kraftwerkstechnik vergleichbar und wird daher auch in einem ähnlichen Maße gehandelt.

Solarthermische Kraftwerke sind weiterhin kein Massenmarkt. Diese Anlagen werden bislang recht vereinzelt installiert und erfahren auch nur zögerliche politische Unterstützung. Zum Teil liegt dies daran, dass sich die Potentiale für diese Technologie auf die besonders sonnenreichen Regionen beschränken, die häufig nicht zu den „First Movern“ der technologischen Entwicklung gehören, da es sich überwiegend um Schwellen- und Entwicklungsländer handelt. Zum andern ist die Durchdringung der fluktuierenden erneuerbaren Energien in all diesen Regionen noch nicht ausreichend hoch, um den Nachteil der höheren Kosten durch den Vorteil der Regelbarkeit dieser Anlagen auszugleichen. Um dennoch die politische Unterstützung für diese großen Kraftwerksprojekte zu bekommen, hat sich in den vergangenen Jahren ein klarer Trend hin zu einer Maximierung der lokalen Wertschöpfung ergeben. In diesem Zuge hat die Bedeutung der deutschen Industrie in diesem Segment signifikant abgenommen.

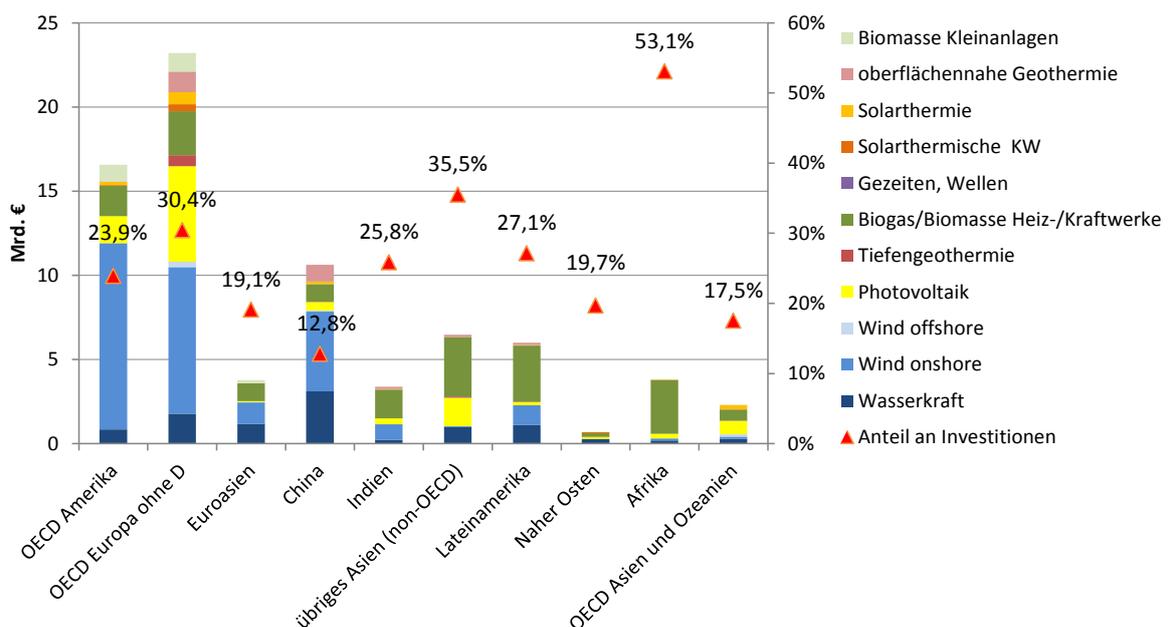
Die Nutzung der Solarthermie zur Wärmebereitstellung in Haushalten ist global sehr weit verbreitet (IEA-SHC 2014). Die Anwendungsform sowie die technologische Ausprägung sind je nach Weltregion jedoch sehr unterschiedlich. Die bei weitem überwiegenden Technologieformen sind sehr einfache Anlagen, die entweder regional zur Verfügung gestellt werden oder durch chinesischen Hersteller geliefert werden, die mit ihrem heimischen Markt über den mit Abstand größten Absatzmarkt verfügen. Hochwertige solarthermische Anwendungen werden vor allem in Europa installiert, da in einigen Ländern staatliche Förderprogramme aufgelegt wurden. Insgesamt hält sich der Welthandel in dieser Technologie damit eher in Grenzen.

Auch im Bereich der oberflächennahe Geothermie, die auch die Umweltwärme einschließt, gibt es recht große Unterschiede zwischen den Technologien. Ihre Nutzung ist regional jedoch noch nicht so weit verbreitet, wie bei der Solarthermie.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass bei Wärmeanwendungen grundsätzlich höhere regionale Spezifikationen der Märkte zu beobachten sind als im Stromsektor. Diese haben sehr unterschiedliche Ausprägungen, angefangen bei der gebäudetechnischen Einbindung von Wärmesystemen, die häufig regionalspezifische Lösungen erfordern, bis hin zu den Vertriebsnetzen, die meist über das regionale Handwerk laufen. Dies führt zu tendenziell geringeren Welthandelsanteilen.

Abbildung 5-3

**Welthandel von EE-Investitionsgütern nach Regionen im Jahr 2012 in Mrd. € sowie der Anteil des Welthandels an den Investitionen der jeweiligen Region, eigene Schätzungen**



Quelle. Eigene Berechnungen.

Die hier skizzierten Überlegungen dienen als Vorgaben, um den aktuellen Welthandel im eingesetzten Schätzmodell abzubilden. Das Ergebnis dieser Abschätzung für das Jahr 2012 ist in Abbildung 5-3 für die verschiedenen Weltregionen spezifisch dargestellt. Für die Region OECD Europa ergibt sich ein vergleichsweise hoher Anteil des Welthandels an den Investitionen, obwohl es sich um eine der technologisch führenden Regionen handelt. Hintergrund ist hier, dass Deutschland aus dieser Betrachtung herausgenommen wurde. Die Importe der Region, die aus Deutschland stammen werden somit auch dem Welthandel zugerechnet. Ähnlich verhält es sich mit der Region OECD Asien und Ozeanien. Auf Grund ihrer räumlichen Nähe zu China, das in vielen EE-Technologien eine recht dominierende Rolle spielt, fallen auch hier die Welthandelsanteile höher aus als zu erwarten gewesen wäre.

#### Deutsche Welthandelsanteile und Exporte

Die Ermittlung der Welthandelsanteile deutscher Unternehmen im Bereich erneuerbarer Energien basiert auf einer Auswertung der UN COMTRADE Datenbank. UN COMTRADE enthält jährliche Daten von Exporten und Importen in Mengen und Werten von rund 200 Ländern nach Handelspartnern. Eine direkte trennscharfe Abbildung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien ist nicht möglich, da bis auf wenige Einzelfälle (z. B. Wärmepumpen) EE-Anlagen nicht als einzelne Güter ausgewiesen sind. Die Abgrenzung der relevanten Güter, die den Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien zugeordnet werden, orientiert sich an einer Güterliste, die gemeinsam vom Niedersächsischen Institut für Wirtschaftsforschung (NIW) und dem Statistischen Bundesamt erarbeitet wurde (Gehrke, Schasse 2013).

Die Auswertung erfolgte auf Basis der HS (Harmonized System)-Güterklassifikation.<sup>32</sup> Auf der sechs-Steller-Ebene wurden insgesamt 46 Güterpositionen identifiziert, die den unterschiedlichen Sparten der betrachteten EE-Technologien zugeordnet werden konnten. Für die Technologiebereiche Tiefengeothermie und Biomasse Kleinanlagen konnte keine sinnvolle Zuordnung von Gütern erfolgen, dort wurde ausgehend von den Ergebnissen für den Bereich Biomasse Heiz- und Kraftwerke eine Anpassung auf Basis von zusätzlichen externen Informationen vorgenommen, die sich insbesondere aus den Ergebnissen der Unternehmensbefragung ergeben. Auch für die oberflächennahe Geothermie wurden die Ergebnisse der COMTRADE Datenbank angepasst. Die hier gewonnenen Daten für die Ländergruppe OECD Europa (ohne Deutschland) spiegeln nicht die Ergebnisse wieder, die die Befragung der Unternehmen bezüglich ihrer Exporte ergeben haben. Auf Grund der Relevanz einiger deutscher Un-

---

<sup>32</sup> Die HS (Harmonized System)-Klassifikation ist eine Güterklassifikation für Zoll- und Handelsdaten, die von der World Customs Organisation (WCO) unterhalten wird. Die Version 2007 (HS 2007) enthält in 21 Sektionen 1.200 Positionen, die in ca. 5.000 sechs-Steller Unterpositionen aufgeschlüsselt sind.

ternehmen in diesem Bereich wurde daher der Anteil deutscher Unternehmen am europäischen Handelsvolumen deutlich erhöht.

Im Bereich der Offshore-Windenergie wurde von dieser Herangehensweise abgewichen. Begründet wird dies damit, dass die Daten aus der COMTRADE Datenbank lediglich auf die gesamte Windenergiebranche Rückschlüsse zulassen, die auf Grund des deutlich höheren Investitionsvolumens 2012 klar von der Onshore-Windenergie geprägt sind. Da diese jedoch, wie zuvor dargestellt, einen vollkommen anderen Entwicklungsstand als die offshore Windenergie aufweist, ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen Welthandelsanteile Deutschlands für die jeweiligen Weltregionen signifikant von denen der Onshore-Windbranche abweichen. Auf Grund der hohen regionalen Ausrichtung der offshore Windenergie, wird der Anteil der deutschen Industrie an dem Welthandel der Region OECD Europa im Vergleich zu den Daten der COMTRADE Datenbank deutlich erhöht und für die anderen Weltregionen um die Hälfte reduziert.

Tabelle 5-1

**Anteil der deutschen Exporte am Welthandel nach Zielregionen und Technologien in %**

	OECD Ameri- ka	OECD Europa ohne D	Eurasi- en	China	Indien	übriges Asien (non- OECD)	Latein- ameri- ka	Naher Osten	Afrika	OECD Asien and Ozea- nien
Wasserkraft	4,6%	12,0%	9,5%	2,3%	2,0%	1,8%	12,2%	0,1%	8,2%	2,3%
Wind onshore	17,0%	29,1%	35,1%	13,0%	13,0%	3,1%	9,5%	14,6%	10,5%	12,7%
Wind offshore	8,5%	80,0%	17,5%	6,5%	6,5%	1,6%	4,8%	7,3%	5,3%	6,4%
Photovoltaik	4,2%	22,5%	24,2%	2,9%	8,9%	6,0%	7,8%	11,3%	8,1%	7,8%
Tiefengeothermie	0,4%	3,1%	2,1%	0,7%	0,1%	0,6%	0,6%	0,3%	0,5%	0,8%
Biogas/masse Heiz-/Kraftwerke	2,2%	15,4%	10,4%	3,6%	0,6%	2,8%	3,2%	1,6%	2,5%	4,1%
Gezeiten, Wellen	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Solarthermische KW	7,9%	41,3%	8,4%	5,5%	4,3%	2,3%	4,8%	6,4%	2,3%	6,7%
Solarthermie	7,0%	24,7%	13,5%	16,7%	7,5%	2,9%	3,9%	6,1%	3,6%	1,7%
oberflächennahe Geothermie	2,8%	33,0%	18,7%	2,6%	6,3%	3,2%	2,2%	10,6%	6,2%	3,4%
Biomasse Kleinan- lagen	2,2%	15,4%	10,4%	3,6%	0,6%	2,8%	3,2%	1,6%	2,5%	4,1%

Quelle: Auswertung der UN COMTRADE; Berechnungen des DIW Berlin.

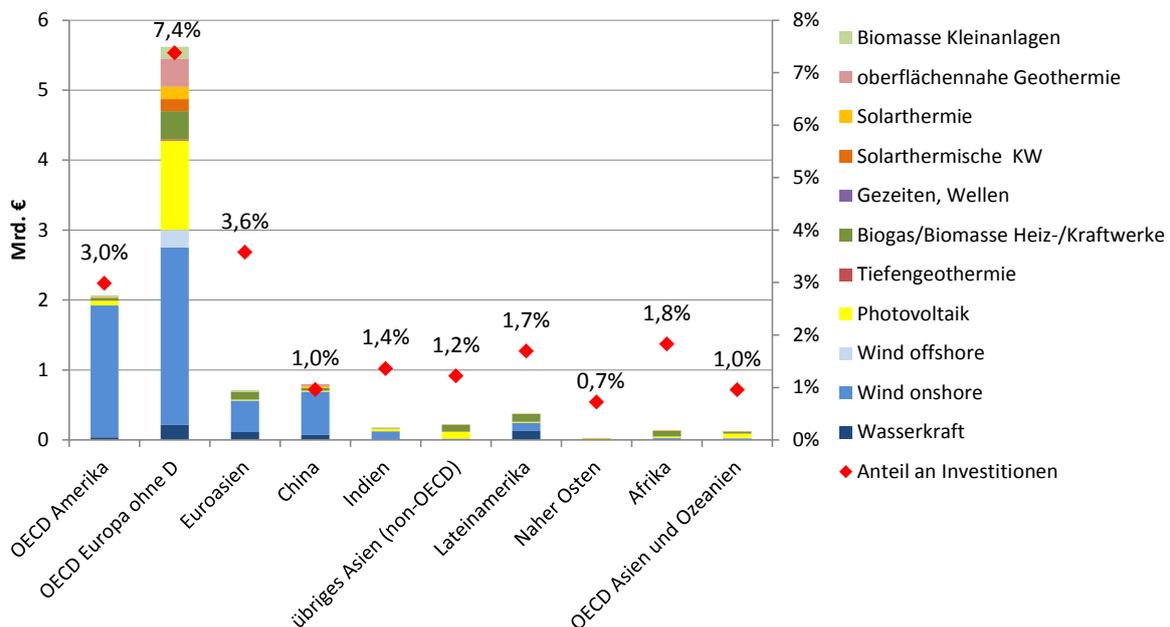
Die Exportverteilung der deutschen Unternehmen, die sich auf Grundlage dieser Parametrisierung aus dem Schätzmodell ergibt ist, in Abbildung 5-4 dargestellt. Die auf sich Basis des Schätzmodells abgeleitete Exportentwicklung deckt sich in der Summe sehr gut mit der Ex-

portentwicklung, die sich nach unseren Ergebnissen für das Jahr 2012 tatsächlich ergeben hat (vgl. Kapitel 2.5). Die Exporte von EE-Anlagen und Komponenten im Referenzjahr 2012 belaufen sich auf 10,2 Mrd. Euro.

Die größte Bedeutung hatte für die deutschen Unternehmen im Jahr 2012 erwartungsgemäß der europäische Markt. Auf diese Region entfallen über die Hälfte der deutschen Exporte, deutsche Unternehmen lieferten Güter im Wert von etwa 7,4% der getätigten Investitionen in dieser Region. Gemessen an den insgesamt importierten Gütern hatte Deutschland hier einen Anteil von 24%. Einen ebenfalls hohen Anteil von 3,6% der Investitionen (19% der importierten Güter) erreichen deutsche Unternehmen in der Region Osteuropa/Eurasien, was mit den generell starken Handelsbeziehungen zusammenhängt, die nicht zuletzt auf die räumliche Nähe zurückzuführen sind, gleichzeitig verfügt diese Region über keine leistungsstarke heimische Industrie für diese Technologien.

Abbildung 5-4

**Export deutscher Unternehmen nach Technologien und Regionen im Jahr 2012 in Mrd. € sowie der Anteil dieser Exporte an den Investitionen der jeweiligen Region, eigene Schätzungen**



Quelle. Eigene Berechnungen.

Der hohe Anteil deutscher Exporte von 3% der Investitionen (12% der importierten Güter) in der Region OECD Amerika wird durch den Ausbau der Windenergie an Land getrieben. 2012 war eine sehr große Nachfrage in dieser Region zu beobachten, die auch durch deutsche Produktionsstätten bedient wurde.

### 5.1.3 Entwicklung bis 2050

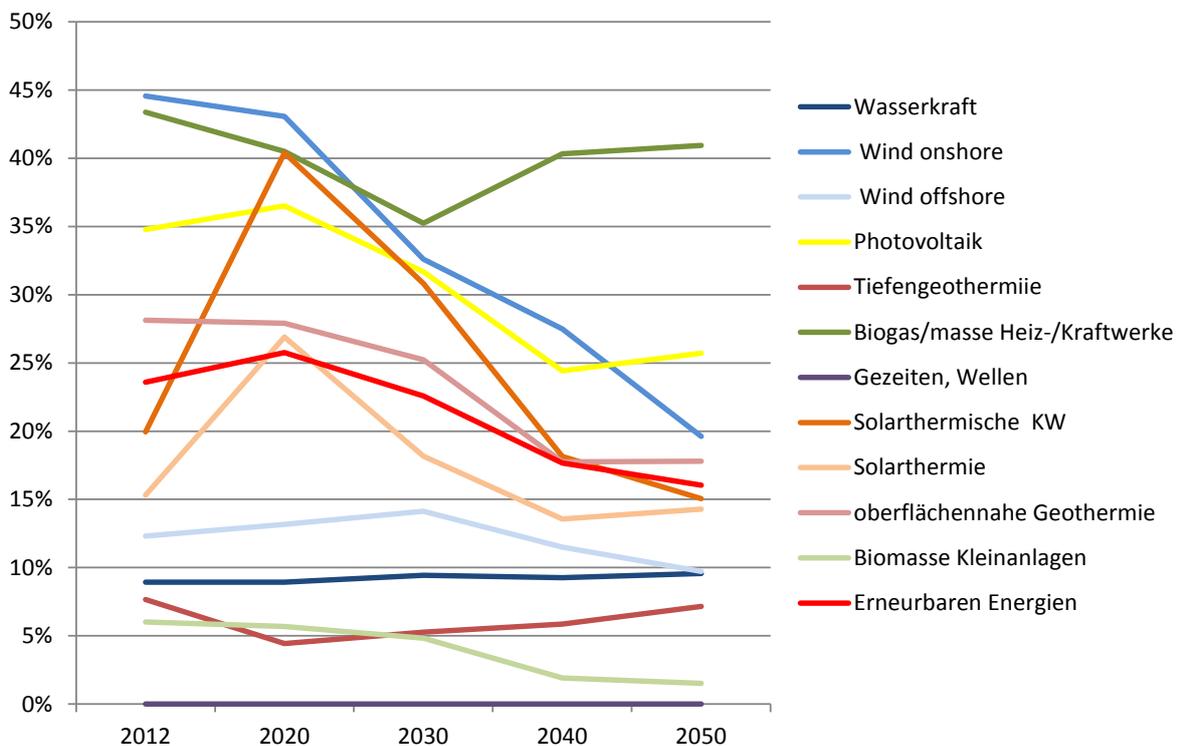
Ausgehend von der Kalibrierung des Schätzmodells für das Jahr 2012 wurden drei Exportszenarien für Deutschland erarbeitet, die eine Bandbreite möglicher Entwicklungen der deutschen Exporte in den Jahren 2020, 2030, 2040 und 2050 darstellen.

#### 5.1.3.1 Exportpfad A: hohe Weltmarktentwicklung und eine starke deutsche EE-Branche

Der erste Exportpfad, basiert auf dem Ausbau des Energy [R]evolution Szenarios. Die deutschen Anteile am Welthandel des Jahres 2012 werden für die Zukunft konstant gehalten. Die Entwicklung des Welthandels in Relation zur Entwicklung des Weltmarktes wird jedoch deutlich angepasst.

Abbildung 5-5

Entwicklung der globalen Welthandelsanteile nach Technologien, Exportpfad A



Quelle. Eigene Berechnungen.

Bei einem hohen Ausbau erneuerbarer Energien, wie er im Energy [R]evolution Szenario dargestellt ist, wird sich die Produktion der Anlagen und ihrer Komponenten auf alle wesentlichen Weltregionen verteilen. Diese Annahme stützen die Ergebnisse der Studien für die GIZ (GIZ 2013) und das BMU (Stanford 2013). Eine konstant hohe Nachfrage in allen Weltregionen wird dazu führen, dass es sich für Unternehmen lohnen wird das notwendige Know-How

in allen Regionen aufzubauen und durch Produktionsstätten vor Ort schnell und flexibel auf die Nachfrage reagieren zu können.

Abbildung 5-5 zeigt den Verlauf der globalen Welthandelsanteile differenzier nach Technologien, der für den Exportpfad A angenommen wurde. In den meisten Technologien erkennt man einen generellen Trend hin zu geringeren Welthandelsanteilen. In einigen Technologien ist bis 2020 jedoch noch ein Anstieg zu verzeichnen, der für jede Technologie spezifisch erklärt werden wird.

Der Ausbau der Wasserkraft erfolgt im Energy [R]Evolution Szenario über alle Jahre auf einem geringeren Niveau als im Ausgangsjahr 2012. Zusätzlich handelt es sich um eine sehr reife Technologie in der die Handelsbeziehungen vergleichsweise stabil eingeschätzt werden. Aus diesen beiden Überlegungen heraus wird davon ausgegangen, dass die Welthandelsanteile des Jahres 2012 fortgeschrieben werden können.

Die onshore Wind-Sparte, hat in den vergangenen Jahren viel Erfahrung bei dem Aufbau neuer Produktionsstätten in verschiedenen Weltregionen gewinnen können. Einzelne Standorte wurden zwar wieder aufgegeben, es wird hier jedoch vermutet, dass die unstete Lage der Absatzmärkte Auslöser dieser Entwicklung war. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass sich die Welthandelsanteile für die die meisten Regionen deutlich verringern werden. Lediglich für Europa wird keine wesentliche Veränderung erwartet, da der Ausbau hier mehr oder weniger auf dem Niveau von 2012 verbleibt.

Die offshore Wind Entwicklung steht noch sehr am Anfang und ist bislang stark lokal bzw. regional geprägt. Auf Grund des hohen Transportaufwandes für wichtige Komponenten dieser Technologie wird davon ausgegangen, dass die starke regionale Prägung auch weiterhin bestehen bleibt. Zunächst wird jedoch ein Anstieg der Welthandelsanteile angenommen, da durch eine voranschreitende Marktreife auch eine Zunahme des Welthandels erwartet wird.

Der Anstieg der Welthandelsanteile in der Photovoltaik bis 2020 ist ausschließlich auf das steigenden Marktvolumen zurückzuführen. Die Regionen, die bislang einen relativ hohen Welthandelsanteil haben behalten ihre Relevanz bei. Auf Grund der momentanen Situation der Überkapazitäten auf dem Weltmarkt sowie der dominanten Rolle Chinas wird davon ausgegangen, dass der Aufbau einer größeren regionalen Wertschöpfung in anderen Weltregionen nicht unmittelbar erfolgen wird.

Im Bereich der Tiefengeothermie werden die Welthandelsanteile über den Zeitverlauf konstant gehalten. Zum Teil liegt dies an dem sehr niedrigen Niveau des Jahres 2012, zum ande-

ren handelt es sich auch hier um einen Bereich in dem vergleichsweise etablierte Handelsbeziehungen vermutet werden. Dies begründet sich weniger in der Tiefengeothermie selbst, sondern viel mehr in der Nähe zur konventionellen Kraftwerkstechnologie. Die Abbildung 5-6 zu beobachtenden Veränderungen zwischen den Jahren sind dabei ausschließlich auf die Gewichtsverschiebung des Weltmarktes zwischen den Regionen zurückzuführen, die aus den globalen Szenarien abgeleitet wurden.

Ähnliches lässt sich auch für den Biomassebereich schließen. Hier liegen die Welthandelsanteile jedoch insgesamt deutlich höher, wobei das Marktvolumen ähnlich wie bei der Wasserkraft im Zeitverlauf abnimmt.

Die Möglichkeiten der Meeresenergie in Form von Gezeiten- und Wellenkraftwerken, die sich zukünftig für deutsche Akteure ergeben könnten, sind im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet worden. Dies wird vor allem damit begründet, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine Einschätzung zu einer möglichen Beteiligung deutscher Unternehmen an diesem Markt vorgenommen werden kann. Bisher scheint es keine nennenswerten Bestrebungen in Deutschland zu geben, diese Technologie voranzubringen. Aus diesem Grund war kein direkter Grund gegeben Welthandelsanteile für diese Technologie zu bestimmen.

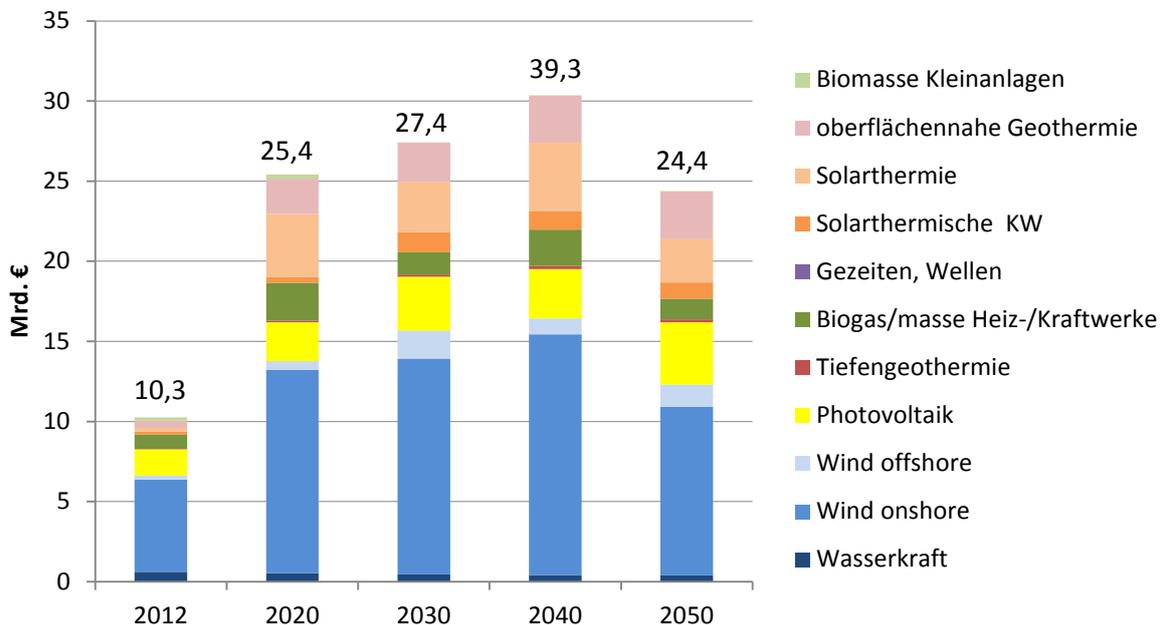
Die Welthandelsanteile für Solarthermische Kraftwerke, die für das Jahr 2020 angenommen werden, orientieren sich an den Anteilen lokaler Wertschöpfung, die in aktuell gebauten Anlagen realisiert werden konnten. Auf Grund der großen Relevanz, die dieser Thematik wie zuvor erwähnt in diesem Bereich beigemessen wird, sind vergleichsweise gute Informationen hierzu verfügbar. Die Bauzeit dieser Anlagen ist mit der von konventionellen Kraftwerken vergleichbar. Daher müssen alle Anlagen, die bis 2020 fertig gestellt werden sollen, in den kommenden zwei Jahren begonnen werden. Der starke Anstieg des Welthandelsanteils, der in Abbildung 5-6 für 2020 zu sehen ist, ist damit auf die Erschließung neuer Märkten zurückzuführen, die zu Beginn eine vergleichsweise geringe eigene Wertschöpfung aufweisen. Für die Stützjahre nach 2020 sinken die Welthandelsanteile dann sukzessive auch in diesen neuerschlossenen Regionen.

Der Anstieg des Welthandelsanteils in der Solarthermie ist auf die steigende Relevanz von Märkten außerhalb des bislang dominierenden chinesischen Marktes zurückzuführen, bei dem ein sehr geringer Welthandelsanteil angenommen wurde. Nach 2020 wird von einem sinkenden Anteil ausgegangen, wobei bis 2050 global betrachtet mehr oder weniger das absolute Niveau von 2012 erreicht wird.

Auch im Bereich der oberflächennahe Geothermie findet eine relevante Absenkung der Welthandelsanteile erst nach 2020 statt.

Abbildung 5-6

**Exportpfad A: Export deutscher Unternehmen nach Technologien in Mrd. €**



Quelle. Eigene Berechnungen.

Bei den Biomassekleinanlagen verhält es sich ähnlich wie bei den größeren Anlagen zur Stromgestehung. Ihr Ausbau nimmt im Rahmen des Energy [R]Evolution Szenarios sukzessive ab. Daher sind hier auch keine Veränderungen der Welthandelsanteile vorgenommen worden.

Über alle EE-Technologien hinweg betrachtet bleibt anzumerken, dass der Welthandelsanteil trotz zum Teil signifikanter Änderungen in den Regionen im Vergleich zu 2012 lediglich um insgesamt 8% sinkt. Dafür sind kompensierende Struktureffekte aufgrund unterschiedlicher Investitionsdynamiken in den einzelnen Weltregionen verantwortlich.

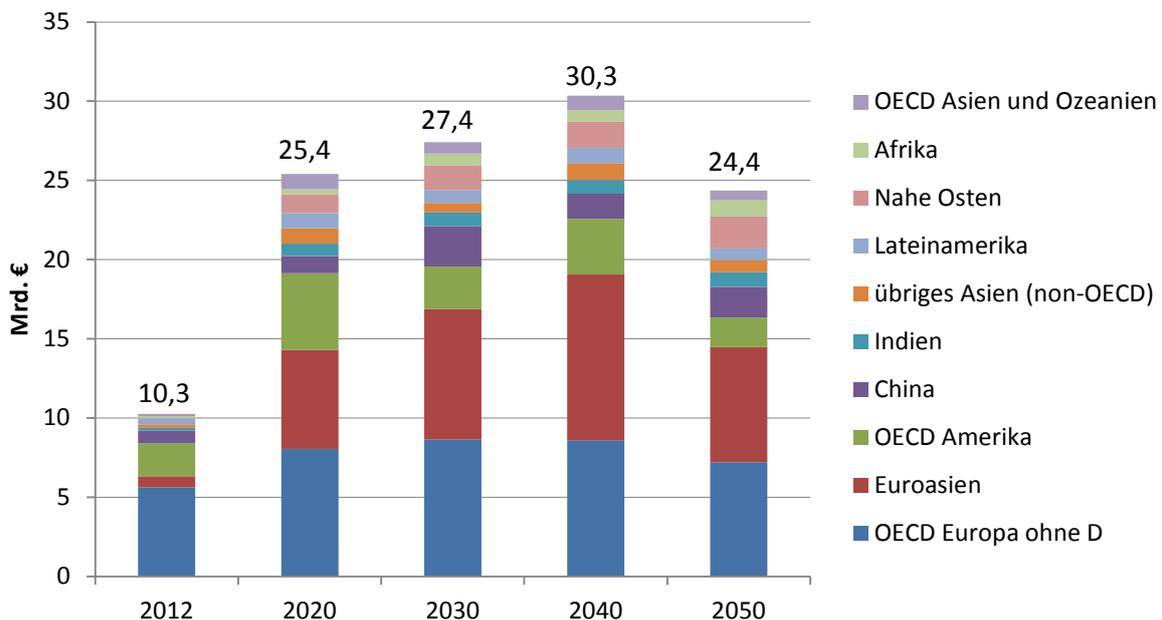
Die Anteile der deutschen Unternehmen am Welthandel, die für das Jahr 2012 festgelegt worden sind, wurden in diesem Szenario generell für den gesamten Betrachtungszeitraum übernommen. Der sich daraus ergebende Export der verschiedenen Technologien ist jedoch mit den Aussagen der Unternehmen bezüglich ihres aus strategischer Sicht maximal sinnvollen Exportanteils verglichen worden (vgl. Abschnitt 2.1.3). In beinahe allen EE-Sparten blieben die Exporte in dem von den Unternehmen angegebenen Bereich, mit Ausnahme der Photovoltaik. Aus diesem Grund ist eine Anpassung der Anteile deutscher Unternehmen am Welthandel in diesem Bereich vorgenommen worden. Diese Anpassung wurde dabei

gleichmäßig über alle Weltregionen vorgenommen. Für das Stützjahr 2020 wurden die Anteile auf 80% des Ursprungswertes gesenkt, in den darauf folgenden Stützjahren auf 60%.

Auch bei den solarthermischen Kraftwerken wurde die Relevanz der deutschen Unternehmen am Welthandel angepasst. Auf Grund der fehlenden Potentiale für diese Technologie in Deutschland konnte kein Abgleich mit dem Inlandsgeschäft vorgenommen werden. Da der Ausbau dieser Technologie im Energy [R]Evolution Szenario sehr hoch ist, erscheint eine Beibehaltung der Ist-Situation bezüglich der Relevanz deutscher Unternehmen nicht realistisch. Diese Einschätzung wird insbesondere mit der Entwicklung der letzten Jahre begründet, in der die Bedeutung der Produktion in Deutschland sehr stark nachgelassen hat. Da davon auszugehen ist, dass sich diese Situation mit steigendem Weltmarktvolumen und dem Aufkommen neuer strategisch günstigerer Produktionsstandorte noch verschärfen wird, ist der Anteil der deutschen Unternehmen ab 2020 auf 30% der Ausgangswerts für 2012 pauschal über alle Weltregionen abgesenkt worden.

Abbildung 5-7

**Exportpfad A: Export deutscher Unternehmen nach Regionen in Mrd. €**



Quelle. Eigene Berechnungen.

Betrachtet man die Exportvolumina, die sich aus diesen Überlegungen für den Zeitraum bis 2050 ergeben, so wird erkennbar, dass eine deutliche Steigerung der Exporte aus deutscher Produktion im EE-Bereich vorstellbar ist. Insgesamt ist dabei noch eine Vervielfachung der Exporte denkbar, ohne dabei strategische Überlegungen der Unternehmen bezüglich ihrer Exportanteile zu vernachlässigen. Auf Grund der bislang ausgebliebenen Entwicklung der EE-

Wärme müssten dabei in Zukunft die größten Zuwächse in den Bereichen Solarthermie und oberflächennahe Geothermie entstehen.

Betrachtet man dieselbe Entwicklung auf regionaler Ebene, so wird deutlich, dass das Gewicht Europas bezüglich der Exporte deutlich abnimmt. Hintergrund ist hier vor allem die starke Investitionsentwicklung in anderen Regionen, die 2012 noch ein sehr geringes Marktvolumen vorzuweisen hatten. Insbesondere Osteuropa/Eurasien gewinnt stark an Bedeutung für die deutsche EE-Branche.

#### **5.1.3.2 Exportpfad B: hohe Weltmarktentwicklung gepaart mit einer geringeren Bedeutung der deutschen EE-Branche**

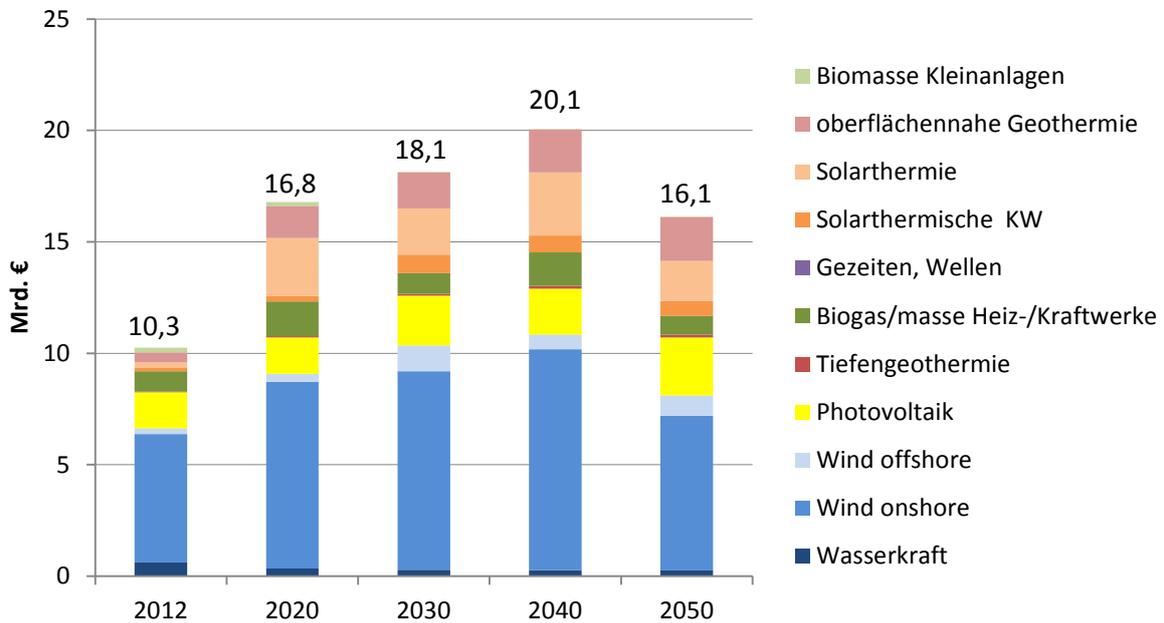
Die zweite Exportentwicklung B lehnt sich an den hohen Exportpfad A an. Hier wurde ebenfalls das Energy [R]Evolution Szenario zugrunde gelegt und auch die Annahmen die bezüglich des Welthandels wurden übernommen. In Fall B sind jedoch die Welthandelsanteile deutscher Unternehmen um ein Drittel nach unten abgesenkt worden. Dahinter steht die Annahme, dass die deutsche Produktion ihre Stellung auf dem Weltmarkt zukünftig nicht halten können wird. Die wettbewerbsstarke Position Deutschlands im Referenzjahr 2012 ist auch eine Folge der deutschen Vorreiterposition beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Vorteile der errungenen Vorreiterposition verlieren nach diesen Überlegungen an Gewicht, weil im Rahmen des Energy [R]Evolution Szenarios auch in anderen Weltregionen ein starker und sich stetig entwickelnder Markt entsteht, der den dort beheimateten Unternehmen und Produktionsstätten ein Aufholen in der Wettbewerbsfähigkeit ermöglicht. Dennoch bleibt auch unter diesen Annahmen Deutschland noch immer ein wichtiger Exporteur von EE-Anlagen und Komponenten mit erheblicher Wettbewerbsstärke.

Die Exportvolumina, die sich aus diesem Ansatz ergeben sind in Abbildung 5-8 dargestellt. Insgesamt steigen die Exporte in diesem Szenario ebenfalls an. Dabei wird jedoch lediglich im Jahr 2040 eine Verdopplung der Werte des Jahres 2012 erreicht.

Die Verteilung der Exporte nach den Regionen ist die gleiche wie beim Exportpfad A (vgl. Abbildung 5-9), da nur der Welthandelsanteil deutscher Unternehmen verändert wurde.

Abbildung 5-8

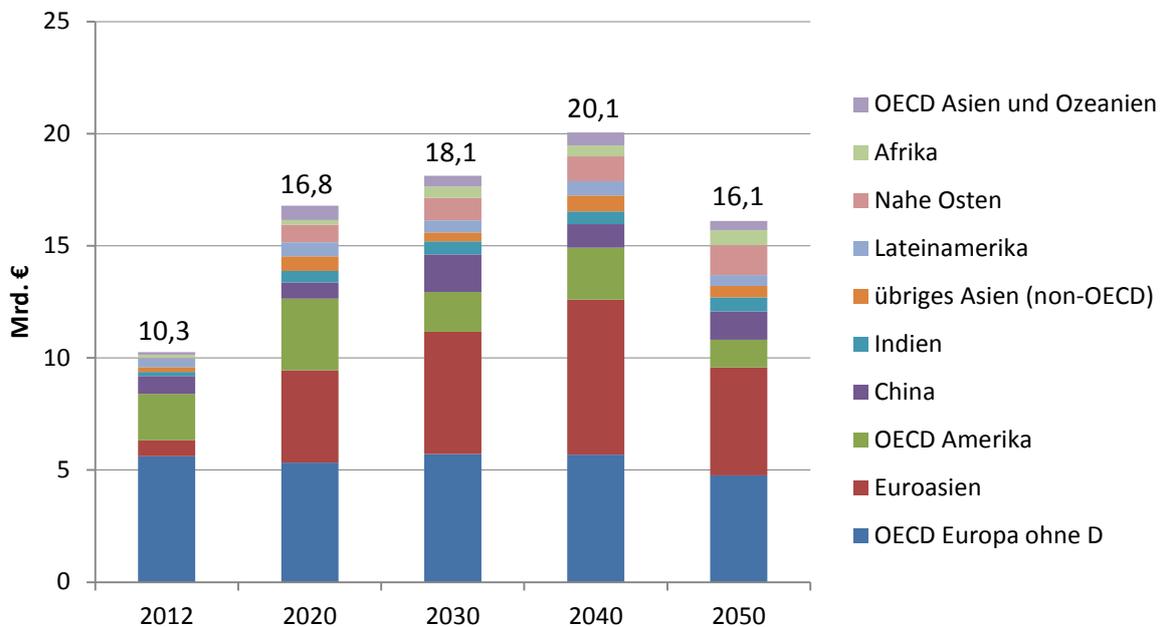
**Exportpfad B: Export deutscher Unternehmen nach Technologien in Mrd. €**



Quelle. Eigene Berechnungen.

Abbildung 5-9

**Exportpfad B: Export deutscher Unternehmen nach Regionen in Mrd. €**



Quelle. Eigene Berechnungen.

### 5.1.3.3 Exportpfad C: niedrige Weltmarktentwicklung – der Status quo

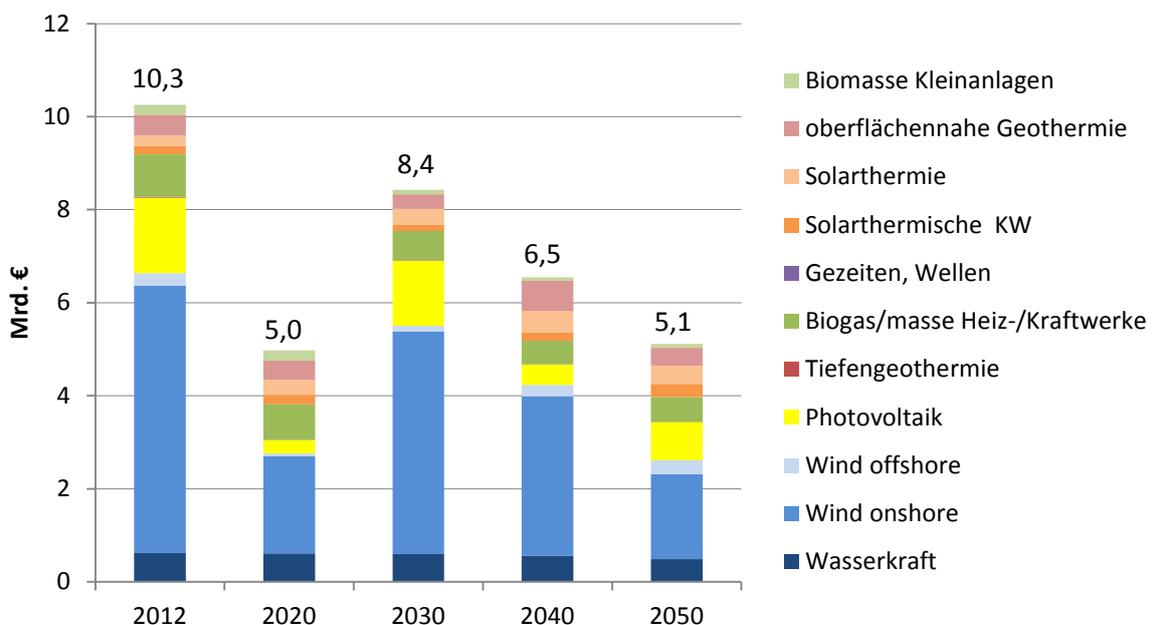
Der dritte Exportpfad basiert auf der Weltmarktentwicklung des Current Policy Scenarios, in dem die Investitionen in erneuerbare Energien bis 2050 unter dem Niveau des Jahres 2012 liegen. Auf Grund der Tatsache, dass die tatsächliche Entwicklung bis 2012 bereit die aufgezeigte Entwicklung des Ausbauszenarios überschritten hat, lässt dieses Szenario die Möglichkeit zu, dass weltweit ein Rückgang der jährlichen Neuinstallationen denkbar ist.

Was die Entwicklung der EE-Industrie angeht, so wird in diesem Ansatz davon ausgegangen, dass keine signifikanten Verschiebungen auf den Märkten zu erwarten sind. Der Weltmarkt wird demnach weiterhin von den bekannten Akteuren und ihren bisherigen Standorten versorgt. Daher wird in diesem Exportpfad davon ausgegangen, dass sowohl die Welthandelsanteile als auch der Anteil der deutschen EE-Industrie am Welthandel auf dem Niveau von 2012 bleibt.

Die Exportentwicklung, die sich aus diesen Annahmen ergibt, ist in Abbildung 5-10 dargestellt. Ausgehend von 10,26 Mrd. €, die für 2012 ermittelt werden konnten, sinkt der Export in allen darauf folgen Stützjahren deutlich ab und überschreitet lediglich in 2030 noch mal das Exportniveau von 7,2 Mrd. €, dass die deutsche EE-Branche 2007 vorzuweisen hatte (Lehr et al 2011).

Abbildung 5-10

#### Exportpfad C: Export deutscher Unternehmen nach Technologien in Mrd. €

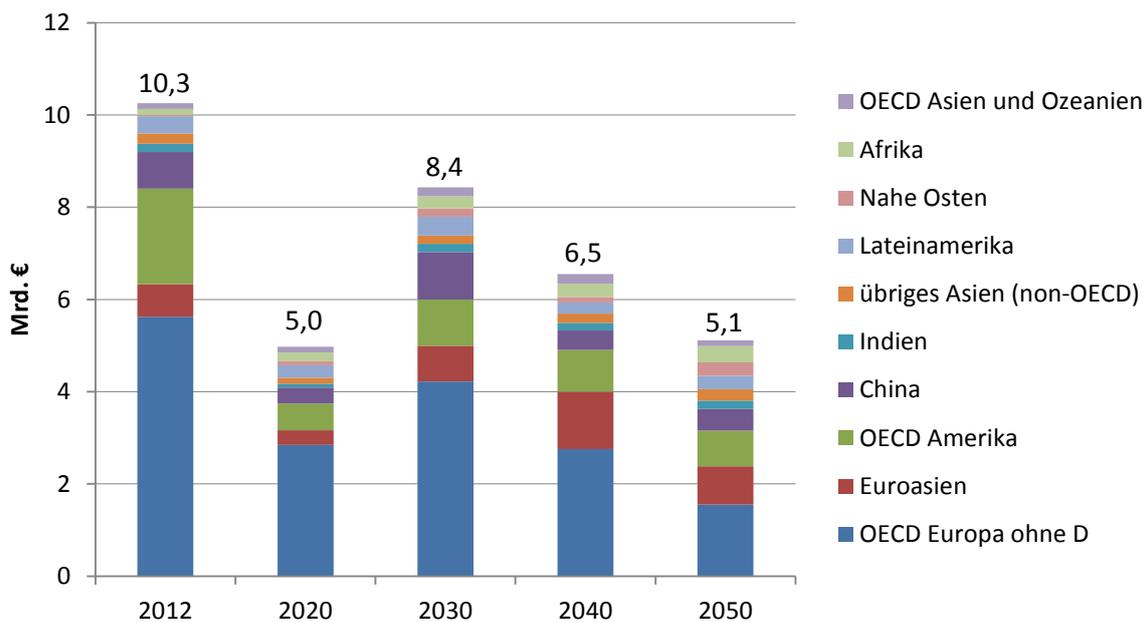


Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Bedeutung der einzelnen Weltregionen für deutsche Unternehmen bleibt bei diesem Exportpfad mit der Ausgangssituation in 2012 vergleichbar. Dabei spielt insbesondere die Region OECD Europa für die deutschen Unternehmen eine herausragende Rolle. Dies ist damit zu erklären, dass diese Exportentwicklung auf dem Current Policy Szenario der IEA beruht, das eine Entwicklung anhand der Status quo Bedingungen aufzeigt.

Abbildung 5-11

**Exportpfad C: Export deutscher Unternehmen nach Regionen in Mrd. €**



Quelle: Eigene Berechnungen.

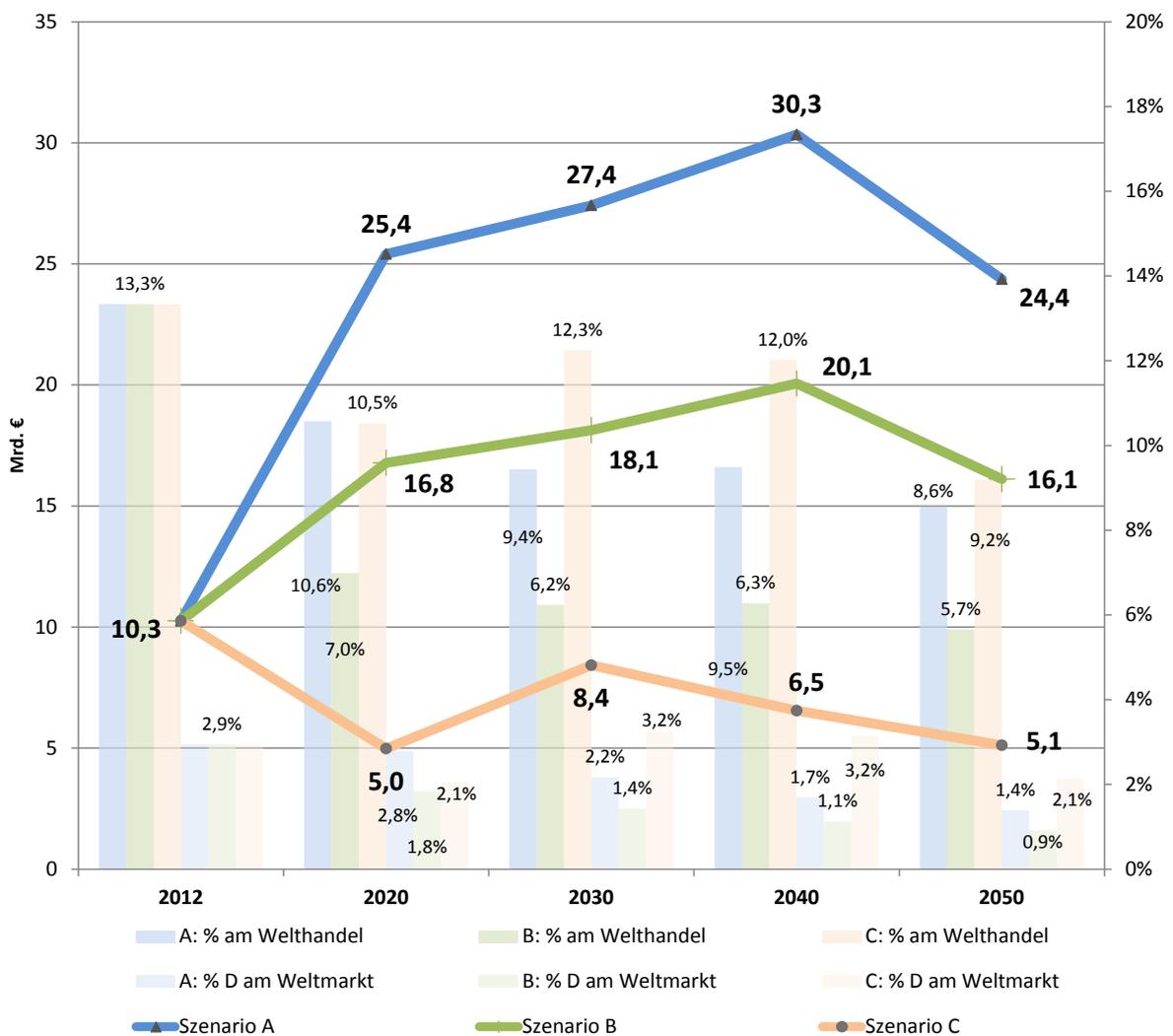
#### 5.1.3.4 Exportszenarien – Entwicklungspfade gegenübergestellt

Eine Gegenüberstellung der drei beschriebenen Exportpfade ist in Abbildung 5-12 vorgenommen worden. Es wird deutlich, dass die drei zuvor dargestellten Szenarien einen breiten Korridor der möglichen zukünftigen Exportchancen deutscher Anbieter von EE-Anlagen aufzeigen. Einen dominanten Einfluss auf die Exportentwicklung hat die zukünftige weltweite Expansion der erneuerbaren Energien. Kommt es, wie im Energy [R]Evolution Szenario angenommen, zu einem globalen Umbau des Energiesystems in Richtung einer langfristig starken und steigenden Bedeutung der erneuerbaren Energien, würde Deutschland als exportorientierte und in wichtigen Teilbereichen der EE-Technologien wettbewerbsstarke Volkswirtschaft erheblich von einer solchen Entwicklung profitieren. Selbst wenn, wie in Szenario A angenommen, durch eine solche positive globale Entwicklung angeregt in vielen Weltregionen eine eigene leistungsstarke EE-Industrie entsteht, könnten die Exporte Deutschlands von

gut 10 Mrd. Euro im Jahr 2012 auf rund 30 Mrd. Euro im Jahre 2030 ansteigen (bis 2050 wäre danach wieder ein Rückgang auf rund 25 Mrd. Euro möglich). Sollte Deutschland bei einer solchen globalen Entwicklung Weltmarktanteile verlieren (Rückgang der deutschen Exportanteile um 30%) würde es immer noch bis zum Jahr 2030 zu einer Verdopplung des aktuellen Exportvolumens auf 20 Mrd. Euro kommen.

Bleibt der globale Ausbau der erneuerbaren Energie jedoch begrenzt, wie im Current Policy Scenario der IEA unterstellt, würden bei einer verhaltenen Weltmarktentwicklung auch die deutschen Exporte von EE-Anlagen und Komponenten stagnieren, beziehungsweise sich gemessen am Niveau des Jahres 2012 rückläufig entwickeln. Langfristig würden die deutschen Exporte sich auf rund 5 Mrd. Euro halbieren.

Abbildung 5-12  
Gegenüberstellung der Exportpfade in Mrd. €



Quelle: Eigene Berechnungen.

## 5.2 Abschätzung des Exportvolumens für Produktionsanlagen

### 5.2.1 Investitionen in Produktionsanlagen – Ausgangssituation

In dem folgenden Kapitel wird die Ausgangssituation der deutschen Produktionsmittelhersteller der Jahre 2012 / 2013 hinsichtlich ihres weltweiten Umsatzes geschildert. Diese Werte bilden die Grundlage für die Projektion bis zum Jahr 2050 in den bereits oben genannten Szenarien.

Die Abschätzung der Umsatzeffekte der deutschen Produktionsmittelhersteller aus der weltweiten Produktionskapazitätsentwicklung von erneuerbarer Energie-Technik (EE-Technik) ist mit methodischen Herausforderungen verbunden. Einerseits sind die Effekte in der Berechnung der indirekten ökonomischen Wirkungen über die in den Preisen entsprechend enthaltenen Kosten für die EE-Techniken enthalten. Andererseits werden sie in dieser Methodik nicht vollständig in dem Jahr angerechnet, in dem die Arbeit anfällt. Stattdessen werden sie über den Abschreibungszeitraum einer Produktionsmaschine verteilt berücksichtigt. Die folgende Betrachtung verbindet vor diesem Hintergrund die Investitionen in Produktionskapazitäten und damit den Umsatz der Produktionsmittelhersteller direkt mit der weltweit nachgefragten Menge an EE-Technik. (vgl. hierzu auch O`Sullivan, et al. 2014)

Für die Abschätzung der Umsatzeffekte der deutschen Produktionsmittelhersteller in den Szenarien bis zum Jahr 2050 ist daher von Interesse welche Produktionskapazitäten für EE-Technik bereits zum Ausgangszeitpunkt der Betrachtung bestehen und welche Lücke zwischen bestehenden Produktionsmöglichkeiten und der nachgefragten Menge an EE-Techniken – sowohl hinsichtlich Unter- als auch Überkapazitäten – besteht. Um sich den bestehenden Produktionskapazitäten zu nähern, wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Unternehmensbefragungen, Experteninterviews und Gespräche mit Verbänden durchgeführt sowie eine Vielzahl an Geschäftsberichten ausgewertet.

Die im Folgenden dargestellten Umsatzwirkungen<sup>33</sup> beziehen sich auf den Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland, der direkt mit den Ersatz- oder Erweiterungsinvestitionen sowie mit dem Zubau an Produktionskapazitäten für EE-Technik-Produktion weltweit in Verbindung stehen. Aufgrund von lokalen Produktionswirkungen in den Regionen weltweit sind

---

<sup>33</sup> Das Umsatzvolumen ist entsprechend den aus den Publikationen der Unternehmen entnommenen Angaben zu Anschaffungskosten bzw. Wiederbeschaffungswerten bewertet. Für die notwendigen Ersatzinvestitionen wurde eine mittlere Nutzungsdauer der Maschinenanlagen von 10 Jahren zugrunde gelegt. Angaben zu Weltmarktanteilen wurden aus der Statistik nach Fachzweigen des VDMA [(VDMA 2012)] entnommen. Für die Berechnung der Erwerbstätigen wurde ein durchschnittlicher gewichteter Umsatzwert pro Erwerbstätigen aus den Bereichen Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen, Herstellung von elektrischen Ausrüstungen und Maschinenbau angesetzt [(StaBu13, 14a)].

Investitionen in Bauten, Grundstücke oder sonstige Betriebs- und Geschäftsausstattung und Dienstleistungen sowie hieraus entstehende weitere indirekte regionalökonomische Wirkungen nicht berücksichtigt. Auch bleiben bewusst indirekte Effekte aus dem Vorleistungsbezug der Produktionsmittelhersteller vom deutschen Maschinen- und Anlagenbau unbeachtet. Der Umsatzwert für die deutschen Produktionsmittelhersteller resultiert ausgehend von dem geschätzten weltweiten Volumen an Ersatz-, Erweiterungs- und Neubauinvestitionen an Produktionsmitteln für EE-Technik aus einer Abschätzung der deutschen Welthandelsanteile.

Bevor ein zusammenfassender Überblick zur Ausgangssituation in den Jahren 2012 / 2013 dargestellt wird, soll zunächst kurz auf aktuelle Entwicklungen in den einzelnen Techniken als Hintergrundinformation eingegangen werden. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in den Jahresberichten (vgl. hierzu auch O`Sullivan, et al. 2013, 2014).

In den Jahren 2012 und 2013 zeichnet sich für die deutschen Produktionsmittelhersteller von PV-Technik ein Bild von bestehenden Überkapazitäten bei den Herstellern. Der Branchenverband VDMA meldet sogar einen Umsatzeinbruch der Produktionsmittelhersteller für das Jahr 2013 gegenüber dem Vorjahr von ca. 45 % auf rund 700 Millionen Euro. Der weltweite Marktanteil liegt jedoch weiterhin bei rund 50 % (vgl. VDMA 14a, b), was trotz der weltweit bestehenden Überkapazitäten auf eine gute Wettbewerbsposition der deutschen Produktionsmittelhersteller schließen lässt.

Im Markt für Windenergie onshore haben zahlreiche Hersteller im Jahr 2012 eine Strategie zum Markteintritt geführt, so dass trotz eines langsam wachsenden Installationsmarktes weitere Kapazitäten aufgebaut wurden. Im Jahr 2013 ist diese Entwicklung bei weltweit rückläufigem Zubau letztlich zum Erliegen gekommen, d.h. es wurde nicht erheblich in neue Kapazitätserweiterungen investiert. Bei der Windenergie zeigt sich die unterschiedliche Dynamik zwischen Ausbau der installierten Leistungen und Ausbau der Produktionskapazitäten. Während im Jahr 2012 in der offshore Windenergie Kapazitäten zugebaut wurden, ist die mittlere Frist von erheblichen Unsicherheiten insbesondere in Deutschland und den Niederlanden geprägt. Das führte in 2013 dazu, dass im Wesentlichen bereits beschlossene Projekte von der Planungs- in die Bauphase eingetreten sind. Wesentlichen Investitionen in Produktionskapazitäten erfolgten daher nicht.

Bei der Abschätzung der Umsätze mit Produktionsanlagen im Bereich Biogas wurden für die Jahre 2012 / 2013 vor dem Hintergrund der unsicheren Rahmenbedingungen nur Investitionen zur Bestandserhaltung in die Berechnung einbezogen. Hintergrund ist auch, dass nach Einschätzung der Marktexperten ein Markt für Biogas außerhalb Europas mit Ausnahme von

Japan nicht von Relevanz ist. Der Markt für Produktionsmittel im Biokraftstoffbereich verzeichnete in den Jahren 2012 / 2013 ebenfalls Stagnation, so dass es zu keinen nennenswerten Kapazitätserweiterungen kam. Als Hintergrund ist anzumerken, dass seit dem Jahr 2010 die weltweite Produktion von Biokraftstoffen nicht erheblich anstieg. Im Jahr 2012 zeigte sich eine leicht rückläufige Tendenz und im Jahr 2013 ist die weltweite Produktion an Biokraftstoffen wiederum leicht gestiegen. Diese Entwicklungen basieren auf einem starken Wachstum in Brasilien und Nordamerika (+ 3 %). In Europa ist im Vergleich zum Rest der Welt der Trend gegenläufig. (vgl. BP 14)

Größere Kapazitätsschwankungen im Bereich der Produktionsmittel sind im Bereich der Biomasse Kleinanlagen aufgrund der stabilen Marktlage nicht aufgetreten. Für die Produktionsmittelhersteller ergaben sich daher im Wesentlichen Umsätze durch Ersatzinvestitionen.

Im Markt für Produktionsmittel im Bereich der Biomasse Heiz- / Kraftwerke fand in den Jahren 2012 / 2013 keine Produktionskapazitätserweiterung statt. Grund hierfür ist, dass neue Heiz- und Kraftwerke nur im Bereich der Industriekraftwerke und vereinzelt in Verbindung mit KWK realisiert wurden. Auch stellt sich der Zugriff auf Märkte außerhalb Europas (USA, Südafrika, Südamerika) vor dem Hintergrund technischer Vorschriften und eines schärferen regionalen Wettbewerbs vielfach als schwierig heraus. Bei der Einschätzung des Aufbaus von Produktionskapazitäten für Biomasse Heiz- und Kraftwerke ist zudem zu beachten, dass sich die Produktionsmittel prinzipiell nicht vom übrigen Anlagenbau für Kraftwerke mit Rost- oder Wirbelschichtfeuerung oder EBS-Kraftwerke unterscheiden. Grundsätzlich besteht bei der Abschätzung der Umsatzeffekte von Produktionsmittelherstellern für Kesselproduzenten die Schwierigkeit, dass diese ihre Kessel auch auf anderen Märkten zur alternativen Nutzung anbieten können bzw. ihre Betriebs- und Geschäftsausstattung grundsätzlich für die Produktion auf anderen Märkten als für EE-Technik aufgebaut haben. Folglich kann somit nicht davon ausgegangen werden, dass Nachfrageveränderungen nach EE-Technik zu einer analogen Änderung der Umsätze bei Produktionsmittelherstellern führt.

Insgesamt zeigt sich im Ergebnis für das Jahr 2013 ein Umsatzvolumen von rund 1,9 Mrd. € für die deutschen Produktionsmittelhersteller. Auf Erweiterungsinvestitionen entfallen hierbei rund 840 Mio. €. Den größten Anteil an diesen haben, trotz der bestehenden Überkapazitäten, die PV-Produktionsmittelhersteller mit rund 67 %. Weitere rund 21 % der Umsätze können mit Produktionsmitteln für Biokraftstoffe realisiert werden. Die restlichen 12 % an Zubauinvestitionen sind im Jahr 2013 im Bereich der Windenergie getätigt worden. Der größere Teil an Umsätzen fielen im Jahr 2013 mit rund 1 Mrd. € durch Ersatzinvestitionen an. Mit rund 58 % an den Ersatzinvestitionen realisierte der Bereich der Biokraftstoffe den größ-

ten Anteil. Im Bereich der Photovoltaik können rund 13 % und bei der Windenergie (onshore) rund 10 % verortet werden. Weitere 15 % an Umsätzen mit Produktionsmitteln entstammen dem Segment Biogas, Biomasse Kleinanlagen und Biomasse Heiz- und Kraftwerke.

Tabelle 5-2

**Umsatz- und Beschäftigungswirkungen der Produktionsmittelhersteller im Jahr 2013\***

	Ersatzinvestitionen		Zubauinvestitionen		Gesamt	
	Volumen in Mio. €	Mitarbeiter	Volumen in Mio. €	Mitarbeiter	Volumen in Mio. €	Mitarbeiter
Wind onshore	110	600	40	200	<b>150</b>	<b>800</b>
Wind offshore	-	-	60	300	<b>60</b>	<b>300</b>
Photovoltaik	140	700	560	3.000	<b>700</b>	<b>3.700</b>
Biogas	80	400	-	-	<b>80</b>	<b>400</b>
Biomasse Kleinanlagen	50	250	-	-	<b>50</b>	<b>250</b>
Biomasse Heiz-/ Kraftwerke	30	150	-	-	<b>30</b>	<b>150</b>
Biokraftstoffe	620	3.400	180	900	<b>800</b>	<b>4.300</b>
Zuschätzung Rest (Geothermie / Wärmepumpen / Solarthermie)	40	200	-	-	<b>40</b>	<b>200</b>
<b>Summe</b>	<b>1.060</b>	<b>5.700</b>	<b>840</b>	<b>4.400</b>	<b>1.900</b>	<b>10.100</b>

- = Abschätzung aufgrund schlechter Datenlage oder nicht verfügbaren aktuellen statistischen Daten nicht möglich.

\* Die hier genannten Beschäftigungseffekte können aufgrund von Abgrenzungsschwierigkeiten und u.U. resultierender Mehrfachzählungen über indirekte Produktionswirkungen nicht zu den Beschäftigten aus Investition und Betrieb in EE-Technik hinzugezählt werden.

Quelle: Prognos, eigene Berechnungen.

## 5.2.2 Szenarien zur Entwicklung zukünftiger Investitionen in Produktionsanlagen – Methodische Vorbemerkungen

Zukünftige Investitionen in oder auch zukünftige Rückbauten von Produktionskapazitäten sind eng mit dem Bestand an Produktionsanlagen und seiner derzeitigen und zukünftigen Auslastung verbunden. Die Auslastung von Produktionsanlagen ist wiederum eng an den EE-Ausbau gekoppelt. Im letzten Kapitel wurden bereits die Szenarien des nationalen und internationalen EE-Ausbaus und die jeweiligen Zubauziele vorgestellt. Hierauf aufbauend kann je nach Szenario abgeleitet werden, ob aufgrund des jeweiligen Zubauziels ein zusätzlicher Bedarf an weiteren Produktionskapazitäten besteht, lediglich Ersatzinvestitionen zum Erhalt der bestehenden Produktionskapazitäten geleistet oder gar die Produktionskapazitäten langfristig abgebaut werden. Der Bedarf an neuen Produktionskapazitäten und / oder an Ersatzinvestitionen leitet sich daher von bestimmten Prämissen zur Auslastung, technologischen Entwicklungen und nicht zuletzt zur Entwicklung der Weltmarktanteile ab.

Zur Schätzung des zukünftigen Investitionsvolumens wird daher wie folgt vorgegangen:

Erstens werden zur Berechnung des zukünftigen Bedarfs an Produktionskapazität spezifische Werte für die Produktionsmittel pro Ausbringungseinheit (bei Vollauslastung) gebildet. Einzig für die Geothermie und Solarthermie musste eine Näherungslösung für die spezifischen Werte gefunden werden. Der Grund hierfür ist, dass dieses Marktsegment zurzeit sehr klein ist und eine wie für die anderen Techniken entsprechende Datenbasis weder über die Befragung noch durch Recherche oder Interviews aufgebaut werden konnte. Letztlich ist eine Abschätzung über die eingesetzten Technologien bei Dampfturbinen, Generatoren, Wärmetauscher etc. erfolgt.

Zweitens werden Lernkurven für die Kostenveränderungen der Produktionsmittelinvestitionen entwickelt. In Abhängigkeit vom Entwicklungsstand der industriellen Fertigung bei der Herstellung von EE-Technik werden spezifische Lernkurven für die einzelnen Techniken angelegt, denn die Treiber des technologischen Fortschritts bei der Produktion von EE-Technik unterscheiden sich je nach Technologie. Das Biogas und die Biomassekessel profitieren beispielsweise vom Fortschritt bei Gasmotoren und bei Festbrennstoffkesseln insgesamt. Entwicklungen hin zu schlüsselfertigen Produktionsanlagen für die Solarwirtschaft sind hingegen im Wesentlichen vom Ausbau der EE-Techniken getrieben. Für alle Anlagen wird angenommen, dass nicht nur die Kosten bei Vervielfachung der Ausbringungsmenge sinken, sondern auch eine zunehmende Industrialisierung und Automatisierung der Produktion stattfindet. Dieser Trend hat sich bei den etablierten EE-Techniken PV, Wind und auch bei Biokraftstoffen in der Vergangenheit bereits abgezeichnet. Der Anteil an Ausgaben für Produktionsmittel im Vergleich zum Lohn wird bei wachsenden Ausbringungsmengen daher in Zukunft eher zunehmen. Die Herstellungskosten für die meisten EE-Techniken werden dadurch insgesamt aber auch in Zukunft weiter sinken.

Drittens finden Auslastungswerte und Marktanteile der in Deutschland produzierten und dann exportierten Güter und Dienste der deutschen Produktionsmittelhersteller am weltweiten Umsatz mit Produktionsmitteln Berücksichtigung, denn letztlich sollen Szenarien für den Export von in Deutschland gefertigten Produktionsanlagen abgeleitet werden.

Bei der Entwicklung der Weltmarktanteile in den Szenarien wird unterstellt, dass eine EE-Technik-Industrie langfristig in der Nähe von großen Märkten existiert. Für die Verortung der Produktionsstätten ist relevant in welcher Region der Welt ein Zubau an EE-Technik stattfindet (Nähe zwischen Anbieter und Nachfrager). Dementsprechend entwickeln sich auch die Weltmarktanteile Deutschlands. Das bedeutet, bei einem hohen Zubau an EE-Technik in Europa für die deutschen Produktionsmittelhersteller, dass sie auch einen relativ hohen Weltmarktanteil ausgehend vom heutigen Niveau halten können. Bauen anderen Regionen

verstärkt zu, schrumpft auch der deutsche Weltmarktanteil bei Produktionsmitteln. Dieser Trend der Produktionsverlagerung mit wachsender Verlagerung der Herstellung von Produktionsmitteln lässt sich derzeit beispielsweise in der Automobil- und Chemieindustrie verfolgen. Es ist davon auszugehen, dass schwere Lasten vor Ort produziert werden und somit zum Teil Aufträge für Produktionsmittel an lokal ansässige Produzenten gehen. Insbesondere wird dies der Fall sein, wenn es sich bereits um etablierte Techniken und Verfahren, wie Biegemaschinen, Ausstattung für Gießereien, den Kesselbau, etc. handelt. Gleichfalls kann der deutsche Weltmarktanteil auch sinken, wenn der Markt für Produktionsmittel insgesamt stark wächst und der Markt für die Herstellung von Produktionsmitteln für EE-Technik aufgrund der hohen Nachfrage für weitere Unternehmen attraktiv wird. Bei dieser asymmetrischen Marktsituation (Nachfrageüberschuss nach Produktionsmitteln), ist es aus Anbieter-sicht sehr wahrscheinlich, dass sich „lohnende“ Preise durchsetzen lassen und somit der Produktionsmittelmarkt anziehend auf weitere Unternehmen wirkt. Keinesfalls müssen jedoch sinkende Marktanteile mit rückläufigen Umsätzen einhergehen, sofern das gesamte Marktvolumen im Vergleich dazu überproportional ansteigt.

### **5.2.3 Zwei Szenarien zur Entwicklung der Exporte von Produktionsanlagen**

Wie oben beschrieben (vgl. Kapitel 4.2) werden die zwei Szenarien Energy [R]evolution und WEO-Current Policy für die künftige Entwicklung des Ausbaus der EE untersucht. Für die deutschen Produktionsmittelhersteller wurden passend dazu die Umsatzentwicklungen in jeweiligen Preisen für sechs Positionen betrachtet. Diese Positionen sind Windenergie onshore, Windenergie offshore, Photovoltaik, Biogas/Biomasse Heiz- und Kraftwerke, Festbrennstoffkessel und ein Posten, der Tiefengeothermie, Gezeiten-, Wellen- und Solarthermische Kraftwerke umfasst.

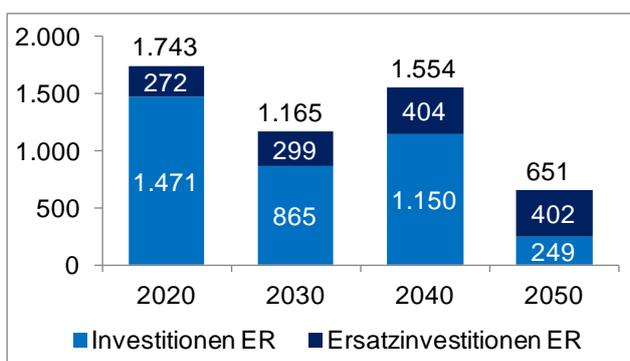
In Abhängigkeit der Ausbauziele in den Regionen der Welt und den Weltmarktanteilen der deutschen Produktionsmittelhersteller für die einzelnen Techniken fallen in den Szenarien entsprechend unterschiedliche Umsätze bei den Produktionsmittelproduzenten an. Ausgangswerte für die Weltmarktanteile sind hierbei die Werte im Jahr 2012. Die Weltmarktanteile der deutschen Produktionsmittelhersteller lagen bei 20 % für Ersatzinvestitionen bei Produktionsanlagen im onshore Bereich, 25 % für den Zubau von Kapazitäten im onshore Bereich, 25% für offshore, 46% für Photovoltaik, 29% (Biogas/Biomasse Heiz-/Kraftwerke), 30% (Festbrennstoffkessel), 15% (Rest: Geothermie, etc.). Insgesamt liegt der Weltmarktanteil der deutschen Produktionsmittelhersteller im Mittel über alle Technologien, d.h. Windenergie, Photovoltaik, Biogas, Biomasse, Festbrennstoffkessel, Geothermie / Solarthermie / etc. bei rund 33 %.

Im Energy [R]evolution-Szenario zeigen sich die höchsten Umsätze und der höchste Zubau an Leistung in den Jahren bis 2020. Daraufhin folgt eine Dekade in der weniger im Vergleich zur Vordekade zugebaut wird. Für die Produktionskapazitäten ergibt sich damit, dass diese weniger stark aufgebaut werden müssen um die Lücke zwischen Nachfrage und Angebot zu schließen. Jedoch steigen aufgrund der bereits aufgebauten Kapazitäten die Ausgaben für Ersatzinvestitionen auf gut 300 Mio. € jährlich an. Von 2030 an bis 2040 können die Produktionsmittelhersteller wieder mit einem höheren Umsatz aus dem Zubau an EE-Technik rechnen, da die Kapazitäten nicht ausreichen, um die dem Szenario zugrunde gelegten Ausbauziele zu erreichen. Weiterhin steigt der Bedarf an Ersatzinvestitionen. Nach 2040 reichen die in den Vordekaden aufgebauten Produktionskapazitäten aus um die Nachfrage nach EE-Technik zu decken, sodass die Umsätze mit Produktionsmitteln stark absinken. Der Austausch im Bestand zur Erhaltung der Produktionskapazitäten ist in dieser Dekade bedeutender als die Einnahmen aus der Schaffung neuer.

Die Entwicklung der Weltmarktanteile der deutschen Produktionsmittelhersteller, die aus Deutschland heraus in die Welt liefern, resultiert, wie bereits beschreiben, aus der geographischen Verortung des Zubaus an EE-Technik und zudem daraus welche Techniken in den Szenarien zugebaut werden.

Abbildung 5-13

**Umsatz der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im Energy [R]evolution Szenario in Mio. € pro Jahr**



Quelle: Eigene Darstellung.

Beispielsweise reduziert sich der Anteil an neu installierten Windenergieanlagen in Europa im onshore-Bereich von rund 30 % auf unter 10 % der weltweit installierten Leistung oder bei PV von rund 58 % auf rund 14 % der weltweit neu installierten Anlagen. Rückläufige Anteile ergeben sich für den Zubau in Europa gemessen an dem weltweiten Zubau für alle Techniken. Im Szenario Energy [R]evolution sinkt im Ergebnis der deutsche Marktanteil für

die Bereitstellung von Produktionsmitteln von derzeit etwa 33 % bis zum Jahr 2020 auf rund 22 % und bleibt bis zum Jahr 2030 weitestgehend konstant und sinkt bis 2050 auf einen Wert um etwa 20 %.<sup>34</sup>

Die folgende Abbildung gibt die Umsatzwerte der Produktionsmittelhersteller im Zeitverlauf für die untersuchten EE-Techniken wieder. Für das Energy [R]evolution-Szenario zeigen sich in den Jahren bis 2020 mit einem Anteil am Gesamtumsatz von rund 62 % als wesentliche Treiber für die Produktionsmittelherstellung die Photovoltaik und die onshore Industrie. Hier liegen die Umsatzwerte bei rund 470 bzw. 620 Mio. € jährlich. Umsatzwerte von 160 bis 260 Mio. € jährlich kann für die restlichen Techniken hauptsächlich durch Investitionen in den Aufbau von Produktionskapazitäten erzielt werden. Bis zum Jahr 2050 werden in dem Energy [R]evolution-Szenario weiterhin die onshore-Industrie und die Photovoltaik für den Zubau an Kapazitäten bedeutend sein. Zudem kommen als weitere Absatzmärkte für die Produktionsmittelhersteller die Tiefengeothermie und die Solarthermie bis zum Jahr 2040 hinzu. In der letzten Dekade zeigen sich die Gezeiten- und Wellenkraftwerke als wichtige Nachfrager nach Produktionsmitteln. Währenddessen können die Produktionsmittelhersteller mit hoher Nachfrage aus dem Segment Biogas und Biomasse Heiz- und Kraftwerke sowie Festbrennstoffkessel nicht rechnen. Im Wesentlichen werden hier Ersatzinvestitionen getätigt, welche aufgrund von Überkapazitäten sogar rückläufig sind. Beachtet ist hierbei bereits, dass ein Teil der Nachfrage im Segment der Festbrennstoffkessel und Biogas und Biomasse durch bereits bestehende Produktionskapazitäten gedeckt werden kann, die zurzeit noch nicht für den EE-Technik-Markt produzieren. Das heißt ein Teil bereits bestehender Produktion, beispielsweise von Kessel für konventionelle Energieversorgung, wird umgewidmet. Einerseits zeigt sich der Zubau an EE-Technik in diesem Segment damit nur bedingt als Treiber für zusätzlichen Umsatz und zusätzliche Wertschöpfung, andererseits können die aus der EE-Technik-Nachfrage aufgebauten Kapazitäten für die Produktion von Gütern auf anderen Märkten genutzt werden.

Insgesamt nimmt über den Zeitraum bis 2050 die Bedeutung von Ersatzinvestitionen in Folge der aufgebauten Kapazitäten zu. Lediglich in den Fällen bestehender Überkapazitäten nehmen auch die Umsätze durch Ersatzinvestitionen von Produktionsmitteln ab. Wobei sie zugleich die einzigen Umsätze der Produktionsmittelhersteller mit den betreffenden Techniken darstellen. Das betrifft beispielsweise in dem Jahrzehnt von 2040 bis 2050 die Produktions-

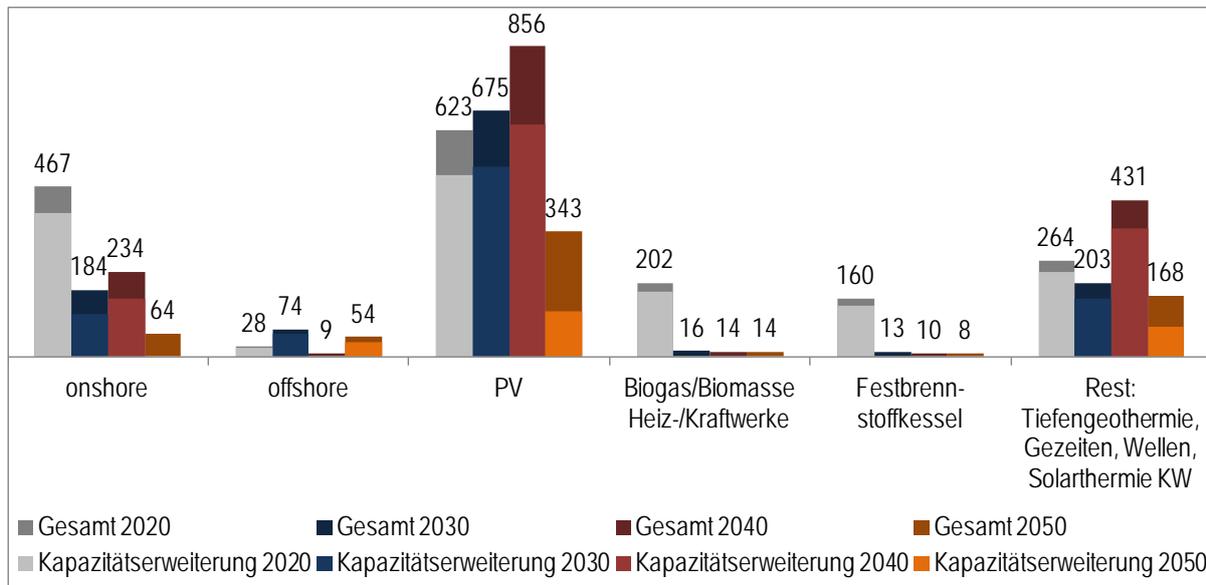
---

<sup>34</sup> Vgl. hierzu die Entwicklung des Zubaus nach Regionen unter Kapitel 4.2.

mittelhersteller für Windenergie (onshore), Biogas und Biomasse Heiz- und Kraftwerke und Festbrennstoffkessel.

Abbildung 5-14

**Umsatz nach EE-Techniken der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im Energy [R]evolution Szenario in Mio. € pro Jahr**

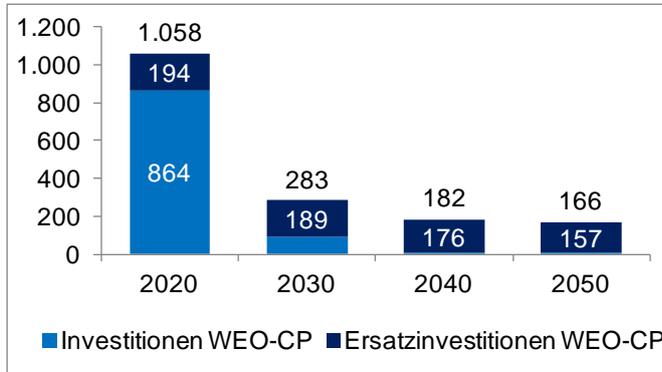


Quelle: Eigene Darstellung.

Das WEO-Current Policy-Szenario ist insgesamt durch einen rückläufigen Umsatz geprägt, der auf sowohl rückläufigen Ersatzinvestitionen als auch geringeren Investitionen in Produktionsmitteln beruht. Können in der Dekade bis 2020 jährlich noch rund 1 Mrd. € jährlich an Produktionsmitteln abgesetzt werden, sinken diese von 2020 bis 2030 auf rund 280 Mio. € jährlichen Umsatz ab. Bis 2040 sind es rund weitere 100 Mio. € weniger an jährlichem Umsatz, die mit Produktionsmitteln realisiert werden. Bis 2050 verbleibt der Wert fast auf dem Niveau der Dekade bis 2040 bei rund 170 Mio. € jährlichem Umsatz. Wie oben beschrieben (vgl. Kapitel 4.1), steigt der Zubau an EE-Technik bis zum Jahr 2020 an, danach ist er jedoch zwei Dekaden in Folge niedriger. Für die Produktion bedeutet diese Entwicklung, dass bis zum Jahr 2020 zum Teil hohe Überkapazitäten aufgebaut werden. In den folgenden Jahrzehnten realisieren die Produktionsmittelhersteller vor dem Hintergrund der Überkapazitäten im Wesentlichen Umsätze durch Austausch im Bestand zur Sicherung der nachgefragten Menge an EE-Technik. Fortschreitende Industrialisierung mit steigender Produktivität (steigende Absatzmenge bei gleichen Investitionskosten bzw. sinkende Investitionskosten für Produktionsmittel bei gleichem Output) führen zudem zu tendenziell geringeren Umsätzen durch Ersatzinvestitionen.

Abbildung 5-15

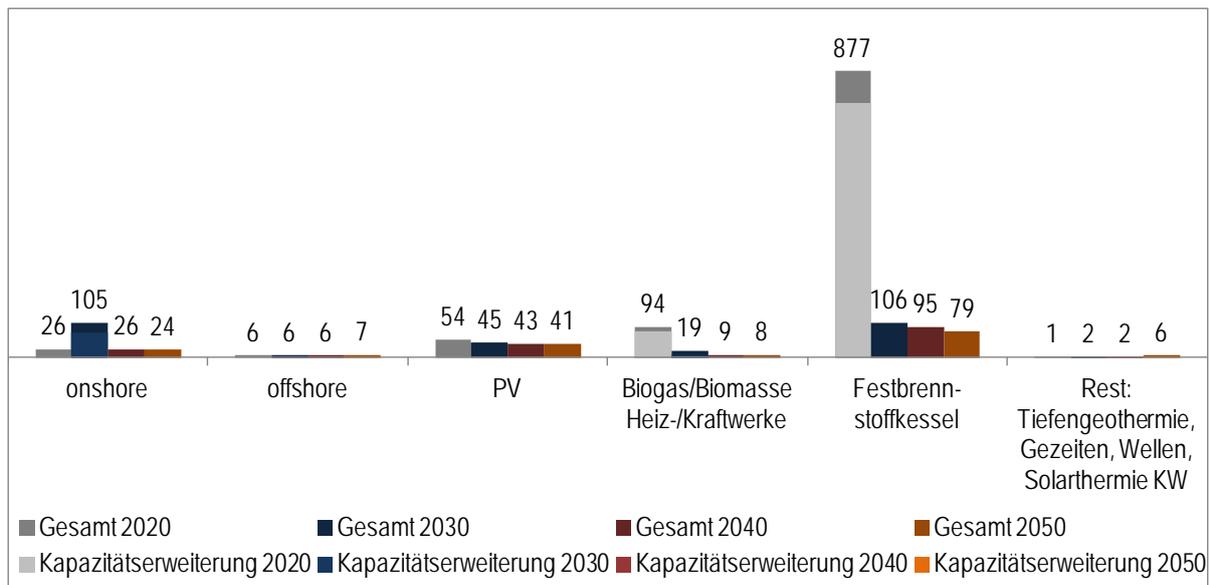
**Umsatz der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im WEO-Current Policy Szenario in Mio. € pro Jahr**



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 5-16

**Umsatz nach EE-Techniken der Produktionsmittelhersteller in Deutschland durch Export von Produktionsanlagen im WEO-Current Policy Szenario in Mio. € pro Jahr**



Quelle: Eigene Darstellung.

Im WEO-Current Policy Szenario zeigen sich die folgenden Entwicklungen für die Weltmarktanteile vor dem Hintergrund des regionalen Zubaus und der zugebauten Techniken: Bis zum Jahr 2020 ergibt sich durch den deutlich geringeren Zubau an EEs über alle Techniken in Europa eine Verringerung von aktuell etwa 33 % auf rund 16 %. Jedoch steigt der Anteil bis zum Jahr 2030 wieder auf rund 22 % an und bleibt bis zum Jahr 2040 mit 21 % weitestgehend konstant. Bis 2050 erfolgt wieder eine Verringerung auf rund 18 %.

Nach den einzelnen EE-Techniken betrachtet (siehe Abbildung 5-16) sind im WEO-Current Policy Szenario wesentlicher Treiber für den Umsatz bis 2020 Festbrennstoffkessel (Umsatz aus Kapazitätsaufbau rund 780 Mio. €), mit erheblichem Abstand gefolgt von Biogas und Biomasse Heiz- und Kraftwerke (Umsatz aus Kapazitätsaufbau rund 80 Mio. €). Einzige Technik die noch Umsatz bei den Produktionsmittelherstellern durch den Zubau von Produktionskapazitäten verursacht, ist die Windenergie (offshore) mit rund 5 Mio. €. Bei allen anderen Techniken fallen Ersatzinvestitionen an. In der Dekade nach 2020 sind Umsätze aus dem Zubau an Kapazitäten nur bei den Techniken zu erwarten, die in Bezug zu den Ausbauzielen des WEO-Current Policy-Szenarios eine zu geringe Produktionskapazität aufweisen. Dies sind die Windenergie (onshore: Umsatz von rund 80 Mio. € jährlich und offshore: rund 5 Mio. € jährlich), Biogas und Biomasse (rund 10 Mio. € jährlicher Umsatz) und Tiefengeothermie, Gezeiten, Wellen und Solarthermie Kraftwerke (rund 1 Mio. € jährlicher Umsatz). Vergleichsweise hohe Investitionen durch Bestandssicherung fallen aufgrund der Installationszahlen ebenfalls für die Festbrennstoffkessel, die Photovoltaik und die Windenergie (onshore) mit rund 106 bzw. 45 und 26 Mio. € jährlich an. Zur Sicherung der Produktionsmöglichkeiten investieren die Hersteller von Biomasse und Biogas Heiz- und Kraftwerke rund 9 Mio. €. Nach 2030 reichen – bis auf zwei Ausnahmen – Bestandssicherungsinvestitionen in die Produktionskapazitäten aus, um die Nachfrage nach EE-Technik zu decken. Die Ausnahmen betreffen die Windenergie offshore und aus dem zusammengefassten Posten die Solarthermischen Kraftwerke. Bei der offshore Industrie werden von 2030 bis 2050 jährlich rund 5 Mio. € in Produktionsmittel investiert. Im Bereich der Solarthermischen Kraftwerke entstehen Umsätze von 2030 bis 2040 von jährlich rund 1 Mio. € und in der darauf folgenden Dekade von rund 5 Mio. €. Hohe Ersatzinvestitionen fallen von 2030 bis 2050 vor allem für die Sicherung der Produktion von Festbrennstoffkesseln, Photovoltaik-Module und die Windenergie onshore an. Allein diesen drei Positionen kommen in den Jahren 2030 bis 2040 rund 93 % und in den Jahren 2040 bis 2050 rund 92 % der gesamten Ersatzinvestitionen zu. Hierbei halten die Investitionen in die Produktion von Festbrennstoffkesseln mit einem Investitionsvolumen von rund 95 Mio. € jährlich von 2030 bis 2040 und mit rund 79 Mio. € von 2040-2050 den größten Anteil. Mit Ersatzinvestitionen um die 40 Mio. € jährlich ist in die Produktion von PV-Technik von 2030 bis 2050 zu rechnen. Die Investitionen in die Produktion der onshore Windenergie belaufen sich zwischen 2030 und 2050 auf rund 25 Mio. € jährlich. Somit zeigt sich auch in dem WEO-Current Policy-Szenario in der langfristigen Betrachtung die zunehmende Bedeutung von Ersatzinvestitionen.

## 6 Szenarienvergleich – Nettoentwicklung

### 6.1 Wirtschaftsentwicklung in den Szenarien – ein Vergleich

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Entwicklungen bei der Bereitstellung von Strom und Wärme auf der Basis erneuerbarer Energien in Deutschland, sowie der Export von Anlagen und von Produktionsmitteln, mit denen das Ausland diese Anlagen herstellen kann, werden in diesem Abschnitt auf ihre jeweilige und gesamte Auswirkung auf die Beschäftigung in Deutschland untersucht. Zu diesem Zweck werden die jeweiligen Veränderungen zu insgesamt vier Szenarien zusammengefasst und in ein gesamtwirtschaftliches Modell eingestellt.

Diese Szenarien sind durch unterschiedliche Hypothesen bezüglich des Fortgangs des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland und weltweit gekennzeichnet, von der Aufgabe der Vorreiter- und Pionierposition Deutschlands bis hin zu ihrem Ausbau. Je nach Szenario treffen unterschiedliche Impulse auf die deutsche Wirtschaft. Die ökonomischen Eckdaten bleiben jedoch in diesen Szenarien unverändert, und die internationale Preisentwicklung ist insgesamt moderat.

Die Bevölkerung nimmt in Deutschland bis 2050 ab, besonders ist die Zahl der Personen im erwerbsfähigen Alter rückläufig. Gegenüber heute geht die Zahl der Erwerbspersonen um mehr als 15% zurück. Zusätzliche Beschäftigung wirkt sich daher auch auf die Löhne in den betreffenden Branchen aus. Die Szenarien liegen in ihren Wachstumsraten eng beieinander, bis 2030 liegt die Wachstumsrate zwischen 1,2% und 1,4%. Die Szenarien mit höheren Exporten weisen höhere Wachstumsraten auf.

Tabelle 6-1

#### Preisentwicklung bei importiertem Erdöl, in Dollar je Barrel

	Absolutwerte				% p.a.			
	2011	2020	2030	2050	2011-2020	2020-2030	2030-2050	2011-2030
Internationale Preise								
Ölpreis	99,0	111,4	110,9	111,5	1,3	0,0	0,0	0,3

Quelle: Eigene Berechnungen DLR, nach IEA 2013.

Der Ölpreis ist derzeit auf einem unerwartet niedrigen Niveau. Diese Entwicklung am aktuellen Rand wurde jedoch in den Szenarien nicht aufgegriffen, sondern vielmehr an den im

WEO – World Energy Outlook 2013 (IEA 2013) veröffentlichten Öl- und auch Gaspreis festgehalten. Diese steigen moderat auf 111,5 \$2011/bbl in 2050.

Deutschlands Energieverbrauch beeinflusst die internationalen Preise für fossile Energieträger allenfalls indirekt, da die Energiewende international beobachtet wird. Für einen direkten Einfluss ist die Nachfrage Deutschlands mit guten 4% an der weltweit gehandelten Menge und knappen 5% am Handelswert zu gering. Daher sind die Importpreise exogen und in beiden Szenarien gleich.

## **6.2 Abschätzung der Nettobeschäftigung**

### **6.2.1 Das Modell PANTA RHEI**

Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien im Vergleich zu einer Entwicklung ohne diesen Ausbau werden mittels des energie- und umweltökonomischen makro-ökonomischen Modells PANTA RHEI berechnet. PANTA RHEI ist ein zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen entwickeltes Simulations- und Prognosemodell für die Bundesrepublik Deutschland. Der Name, der eine Reflexion des griechischen Philosophen Heraklit zitiert („alles fließt“), ist Programm: Das Modell erfasst den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen.

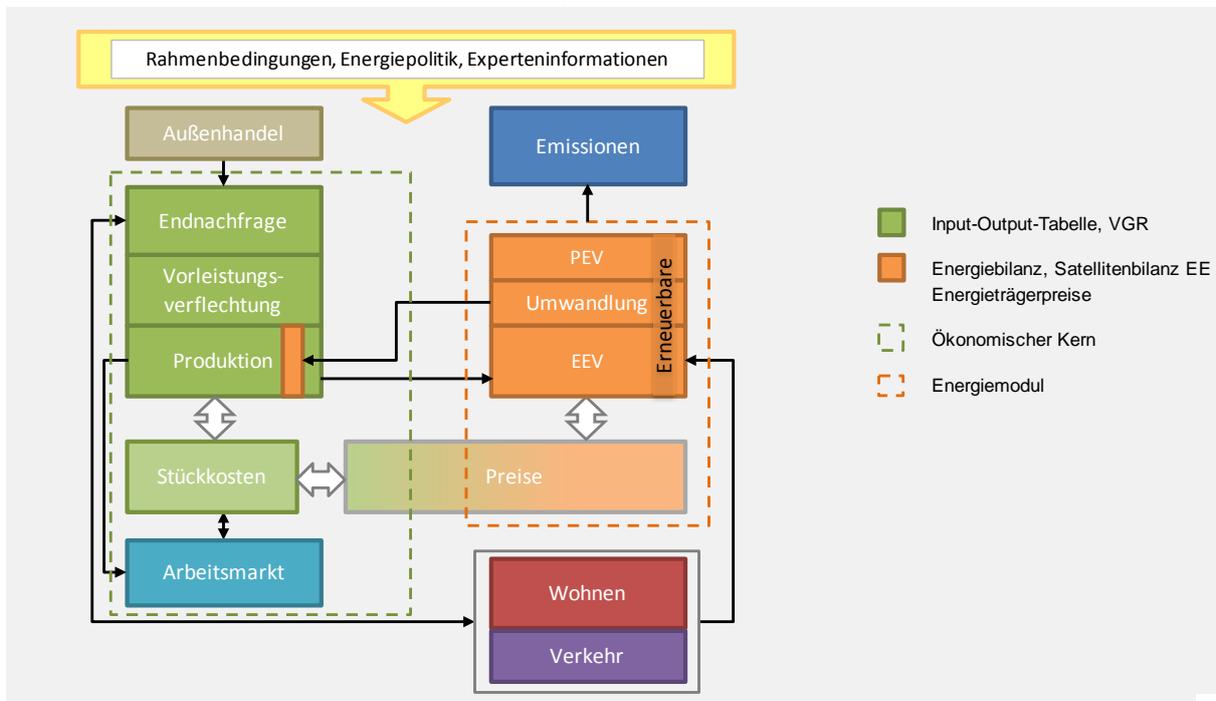
Einen Einblick in die Struktur des Modells PANTA RHEI gibt das im Folgenden dargestellte Flussdiagramm (Abbildung 6-1). Neben der umfassenden ökonomischen Modellierung werden die Bereiche Energieverbräuche und Luftschadstoffe, sowie Verkehr und Wohnungen detailliert erfasst. Alle Modellteile sind konsistent miteinander verknüpft. Der Verkehrsbe- reich liefert z. B. den Treibstoffverbrauch in Litern, der mit den Literpreisen multipliziert unmittelbar in die monetäre Vorleistungsnachfrage der Industrie und die Konsumnachfrage der Privaten Haushalte eingeht. Änderungen der Steuersätze auf Treibstoffe führen dann einerseits zu geänderten Steuereinnahmen und vielfältigen ökonomischen Anpassungsprozessen. Andererseits lösen die Preisänderungen für Treibstoffe ihrerseits Verhaltensanpassungen aus, die im Modellrahmen erfasst werden.

Das Modell wird voll interdependent gelöst, d.h. dass die Wirkungen einer Maßnahme auf alle Modellvariablen gleichzeitig erfasst werden und keine Effekte „verloren gehen“. Das Modell enthält eine Fülle gesamtwirtschaftlicher Größen auf Basis der amtlichen Statistik und erlaubt sektorale Aussagen nach 59 Wirtschaftsbereichen. Die Energiebilanzen der AGEB

sind voll in das Modell integriert. Die Verhaltensparameter sind auf Basis von Zeitreihendaten der Jahre 1991 bis 2010 ökonometrisch geschätzt.

Abbildung 6-1

**Die Struktur des Modells PANTA RHEI**



Quelle: GWS; eigene Darstellung.

Die besondere Leistungsfähigkeit des Modells beruht auf den Konstruktionsprinzipien Bottom-up und vollständige Integration. Das Konstruktionsprinzip Bottom-up besagt, dass jeder der 59 Sektoren der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert ist und die gesamtwirtschaftlichen Variablen durch explizite Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. Das Konstruktionsprinzip vollständige Integration beinhaltet eine komplexe und simultane Modellierung, die die interindustrielle Verflechtung ebenso beschreibt wie die Entstehung und die Verteilung der Einkommen, die Umverteilungstätigkeit des Staates sowie die Einkommensverwendung der Privaten Haushalte für die verschiedenen Güter und Dienstleistungen. Der disaggregierte Aufbau des Modells ist in das vollständig endogenisierte Kontensystem der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eingebettet. Damit ist insbesondere auch die Umverteilung der Einkommen durch den Staat endogen abgebildet.

Das Modell weist einen sehr hohen Endogenisierungsgrad auf. Exogen vorgegeben sind im Wesentlichen Steuersätze, das Arbeitsangebot sowie die Zinssätze und internationale Wachstumsdynamiken wichtiger Abnehmerländer deutscher Waren und Dienstleistungen. Das gesamte System löst simultan. Die Struktur des Modells ist hochgradig interdependent.

Neben den üblichen Kreislaufinterdependenzen sind die Mengen-Preisinterdependenzen und die Lohn-Preisinterdependenz abgebildet

Im Kern von PANTA RHEI liegt ein ökonometrisches Input-Output-Modell, das als evolutorisches Modell bezeichnet werden kann. In den Verhaltensgleichungen werden Entscheidungsroutinen modelliert, die nicht explizit aus Optimierungsverhalten der Agenten abgeleitet sind, sondern beschränkte Rationalität zum Hintergrund haben. Die Herstellungspreise sind das Ergebnis einer Aufschlagskalkulation der Unternehmen. Die Zeit ist im Modell historisch und unumkehrbar. Die Kapitalstockfortschreibung generiert Pfadabhängigkeit.

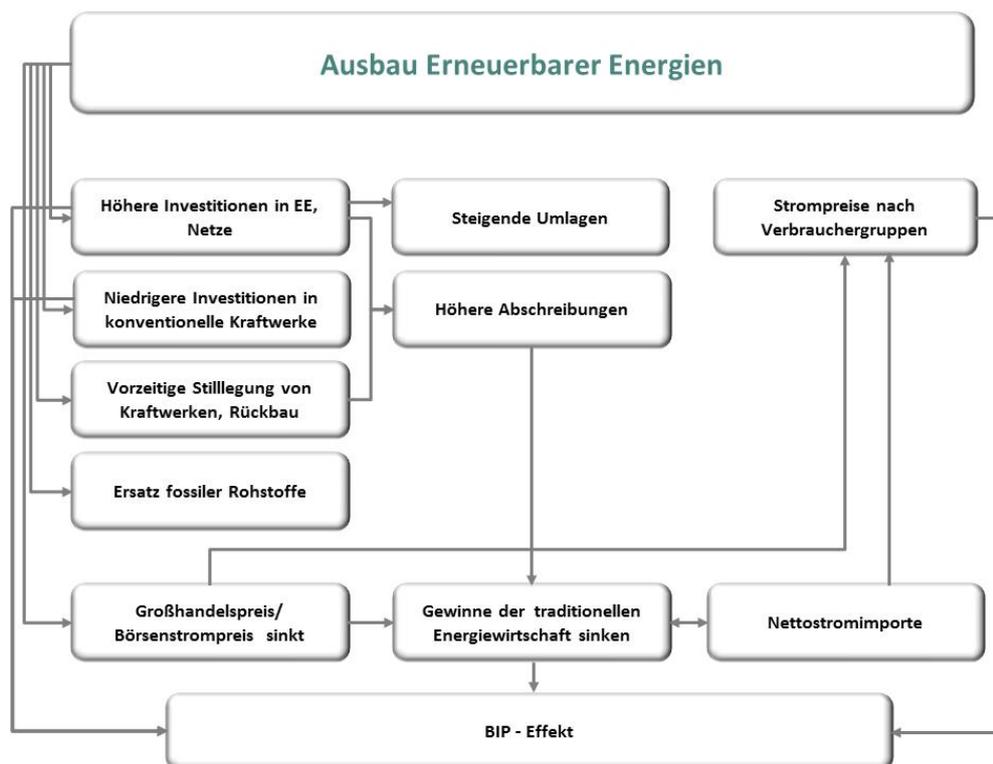
Dem Input-Output-Ansatz wird gemeinhin eine nachfrageorientierte Modellierung zugesprochen. Dies trifft hier allerdings nicht zu. Es ist zwar richtig, dass die Nachfrage im Modell die Produktion bestimmt, aber alle Güter- und Faktornachfragevariablen hängen unter anderem von relativen Preisen ab, wobei die Preise wiederum durch die Stückkosten der Unternehmen in Form einer Preissetzungshypothese bestimmt sind. Der Unterschied zu den allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, in denen ein Konkurrenzmarkt modelliert wird, liegt in diesem Punkt in der unterstellten Marktform, nicht in der Betonung der einen oder der anderen Marktseite. Man kann es auch so formulieren: Die Unternehmen wählen aufgrund ihrer Kostensituation und der Preise konkurrierender Importe ihren Absatzpreis. Die Nachfrager reagieren darauf mit ihrer Entscheidung, die dann die Höhe der Produktion bestimmt. Angebots- und Nachfrageelemente sind also im gleichen Maße vorhanden.

Das Modell PANTA RHEI ist in den vergangenen Jahren vielfältig eingesetzt worden, u. a. in den Energieszenarien 2010 und 2011. Die gesamtwirtschaftlichen Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien wurden vor dem Hintergrund der Wirtschaftskrise und dem ersten Jahr des stark steigenden PV Ausbaus 2011 errechnet (Lehr et al. 2011). Die Energiereferenzprognose (EWI, Prognos, GWS 2014) sowie die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Energiewende (GWS, Prognos, EWI 2014) sind weitere Untersuchungen, bei denen PANTA RHEI in jüngerer Zeit zum Einsatz gekommen ist.

### **6.2.2 Gesamtwirtschaftliche Effekte des Ausbaus Erneuerbarer Energien – die Wirkungskanäle**

Der Ausbau erneuerbarer Energien entfaltet seine Auswirkung auf die Beschäftigung in Deutschland im Modell über eine Reihe von Wirkungskanälen (Abbildung 6-2).

Abbildung 6-2

**Gesamtwirtschaftliche Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung**

Quelle: GWS/Prognos/EWI 2014.

Die Investitionen in den Kraftwerkspark und in die Anlagen zur Bereitstellung von Wärme folgen unterschiedlichen Mustern in den beiden Szenarien. Im Nullszenario wird der fossile Kraftwerkspark ausgebaut und es werden Ersatzinvestitionen getätigt. Raumwärme wird mittels moderner Gas- und Ölheizungen bereitgestellt, Investitionen in alternative Wärmebereitstellung etwa auf Basis der Wärmepumpe oder der Solarthermie finden nicht statt. Da der Wärmemarkt auch mit dem aktuell bestehenden Instrumentarium zur Förderung der erneuerbaren Energieträger sich nur zögerlich entwickelt, wird sich im Nullszenario ohne weitere Förderung kein EE-Ausbau ergeben. Im Ausbauszenario treiben die Investitionen in die erneuerbaren Energien die heimische Installation an und führen zumindest in der Aufbauphase und beim Betrieb und bei der Wartung zu heimischer Wertschöpfung und somit zu mehr Beschäftigung. Die insgesamt, d.h. im konventionellen und im erneuerbaren Kraftwerkspark, höheren Investitionen haben wie oben beschrieben einen kurzfristig positiven Effekt auf die gesamtwirtschaftliche Nachfrage und sind langfristig mit Kapitalkosten (Kapitaldienst) verbunden. Vorzeitige Stilllegungen von Kraftwerken aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit führen über erhöhte Abschreibungen ebenfalls zu höheren Kosten in der

Stromwirtschaft. Der Rückbau von Kraftwerken ist in den Szenarien nicht explizit berücksichtigt.

Über die Deckung der Differenzkosten führt das Ausbauszenario zunächst zu höheren Strompreisen für die Stromabnehmer, die sich an der Umlage beteiligen. Die Mechanismen der Ausnahmetatbestände sind vom heutigen Stand des EEG 2014 fortgeschrieben. Der Großhandelspreis hingegen sinkt, da zunehmend Anlagen mit Grenzkosten von Null ins System kommen. Die Gewinne der Energieversorger mit fossilbasierter Erzeugung sinken und führen zu einer Fortsetzung der bereits beobachtbaren Auswirkungen auf die Beschäftigung. Die Importe fossiler Energieträger sinken und führen insgesamt zu einer Verbesserung der Leistungsbilanz. Allerdings wird die deutsche Leistungsbilanz zunehmend kritisiert, sodass ein Rückgang von Importen hier nicht wirklich zu einer Verbesserung beiträgt. Die zusätzliche Exporttätigkeit betont die Exportlastigkeit der deutschen Wirtschaft ebenfalls und wird in den vorliegenden Simulationen nicht ins Gegenteil verkehrt.

### **6.2.3 Beschäftigung und weitere Nettoergebnisse**

Um die erneuerbaren Energien auszubauen, werden bis zum Jahr 2050 erhebliche Investitionen notwendig. Dies gilt für Neuinvestitionen, aber auch für den Ersatz bereits heute bestehender Anlagen. Insgesamt wird die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern die in den Energiewendezielen festgelegten 80% erreichen, wobei die inländische Erzeugung hinter diesem Ziel zurückbleibt und die Restmenge importiert werden muss (vgl. ausführlicher in Kapitel 4.1).

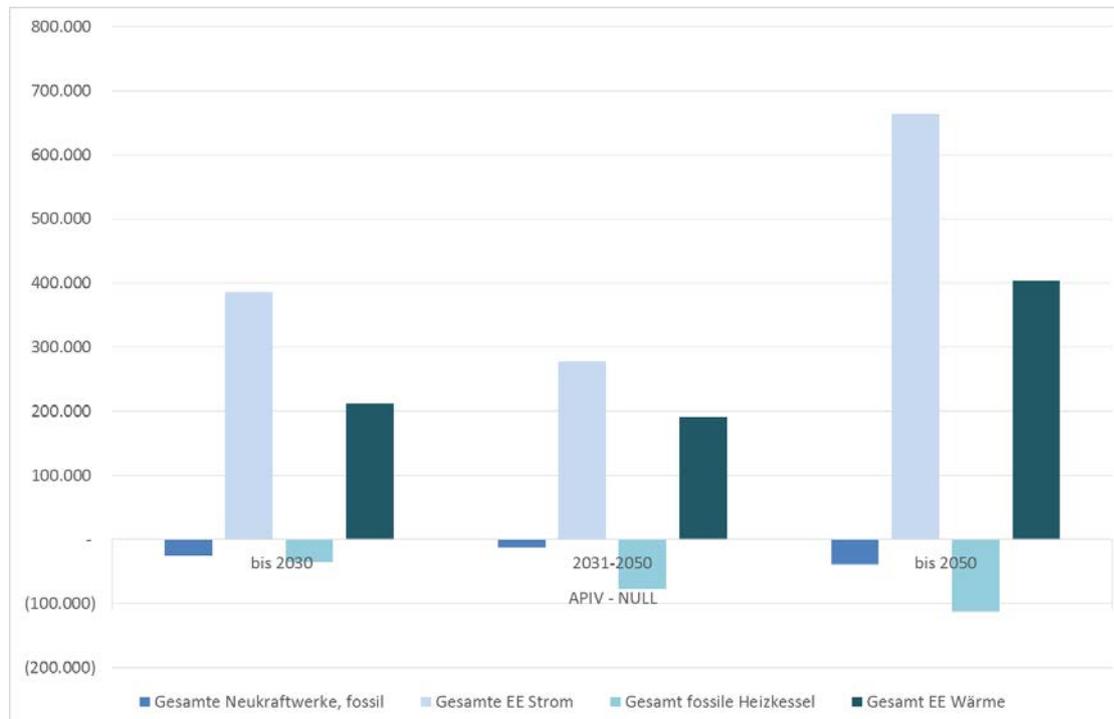
Die Investitionen verteilen auf die Strom- und Wärmebereitstellung etwa Zweidrittel zu einem Drittel. Dies ist vor allem deshalb von Bedeutung, weil die Differenzkosten der Stromerzeugung auf die Verbraucher umgelegt werden, während die Differenzkosten der Wärmeerzeugung über begünstigte Kredite, wie etwa das Marktanreizprogramm getragen werden.

Insgesamt entfallen auf den Ausbau der fossilen und erneuerbaren Energiebereitstellung bis 2050 mehr als 1,3 Billionen Euro. Im fossilbasierten Nullszenario wird weniger investiert, aber auch hier kostet die Energiebereitstellung mehr als 300 Milliarden Euro bis 2050. Der Ausbau der Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energieträger kostet im Ausbauszenario mehr als 400 Milliarden Euro, insgesamt wird für die Wärmeerzeugung 600 Milliarden Euro investiert. Die Minderinvestitionen in die fossilen Anlagen werden im Ausbauszenario mehr als kompensiert. Insgesamt ist das Investitionsniveau deutlich höher. Die neuen Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien können durch heimische Hersteller und durch Importe bereitgestellt werden. Für den Zeitablauf wird von einer zunehmenden Konsolidierung

der EE-Märkte ausgegangen. Dies bildet sich auch in den Annahmen zur Exporttätigkeit der EE-Branche und der Hersteller von Maschinen und Anlagen als Produktionsmittel ab.

Abbildung 6-3

**Mehr– und Minderinvestitionen in fossile und erneuerbare Energieanlagen, kumuliert in Mio. €**



Quelle: DLR. Eigene Darstellung.

Im Folgenden wird das Ausbauszenario inklusive zusätzlicher mittlerer Exporte sowohl bei den Endprodukten, wie der Windturbine oder dem Biomasseheizkessel, den Komponenten wie den Wechselrichtern etc. und den Produktionsanlagen aus dem Maschinen- und Anlagenbau miteinander verglichen. Höhere und niedrigere Exporte der jeweiligen Güter werden anschließend im Sinne einer Sensitivitätsanalyse in ihren Wirkungen untersucht.

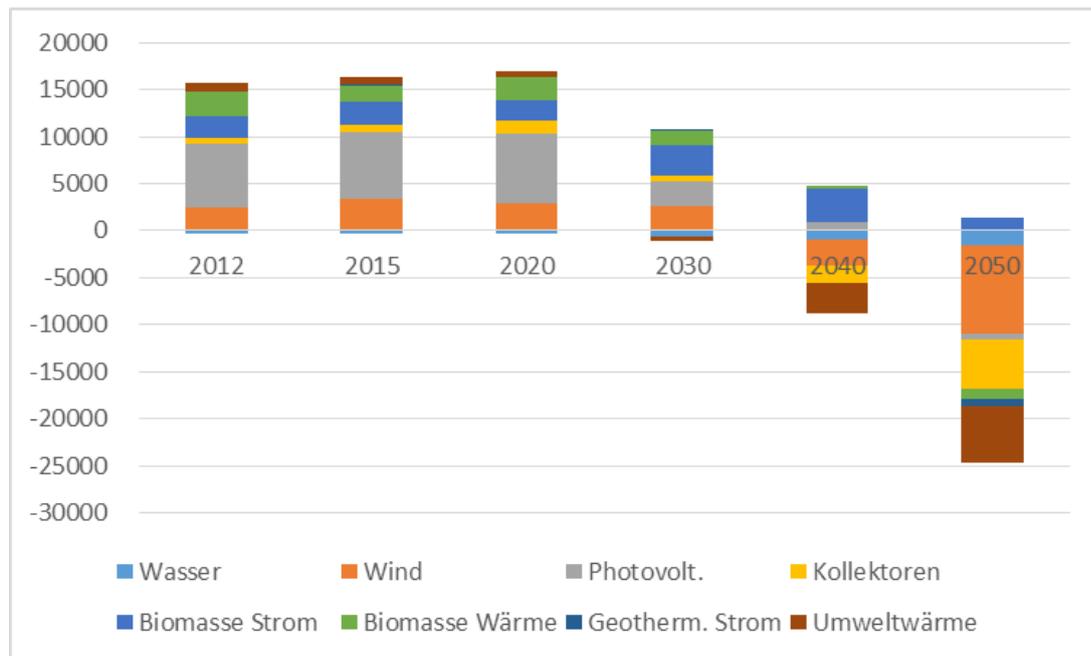
Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist mit Mehrkosten verbunden, die bei der Stromerzeugung auf die Verbraucher umgelegt werden. In der vorliegenden Betrachtung werden dabei die tatsächlich anfallenden Differenzkosten umgelegt, die Mechanismen des EEG werden nicht übernommen. Dies bedeutet insbesondere, dass die Differenzkosten durch die große Wasserkraft gemindert sind und dass die Differenzkosten in der Zukunft negativ werden und der Ausbau erneuerbarer Energien die Verbraucher entlastet.

Abbildung 6-4 zeigt den Verlauf der Differenzkosten im Strom und Wärmebereich bis 2050 für den in den Szenarien unterstellten Preispfad der fossilen Brennstoffe. Bis 2020 liegen die Differenzkosten eher unverändert in der Größenordnung von etwa mehr als 15 Milliarden

Euro. Die erzeugte Strom- und Wärmemenge aus erneuerbaren Energien steigt in diesem Zeitraum um 25%, sodass sich bereits in diesem Zeitraum eine erhebliche Kostendegression ergibt. Bis 2030 halbieren sich die Differenzkosten nahezu und bis 2040 ist die Summe negativ; danach tritt eine deutliche Entlastung durch den Ausbau erneuerbarer Energien ein.

Abbildung 6-4

**Entwicklung der Differenzkosten für Strom und Wärme in Millionen Euro**



Quelle: DLR, eigene Berechnungen.

Die Stromgestehungskosten steigen in der Zukunft getrieben durch leicht steigende fossile Brennstoffpreise. Differenzkosten reflektieren die Unterschiede zwischen den Stromgestehungskosten eines fossil-basierten Kraftwerksparks im NULL-Szenario und dem Ausbauszenario mit erneuerbaren Energien. Sie sind mit der EEG Vergütung für diesen hypothetischen Fall gleichzusetzen.

Die mit dem Ausbau erneuerbarer Energien verbundenen Tätigkeiten in Installation, Herstellung, Wartung und Betrieb sowie die Exporte von Anlagen und Produktionsanlagen führen auch vor dem Hintergrund höherer Preise und Differenzkosten insgesamt zu einem höheren Beschäftigungsniveau im Ausbauszenario im Vergleich zum Nullszenario.

Die hier ausführlicher dargestellte Simulation greift auf das mittlere Exportszenario B zurück, um weder überoptimistische Werte noch zu pessimistische Werte bezüglich der Exporte anzunehmen. Im nächsten Abschnitt finden sich Sensitivitätsrechnungen zur Wirkung der anderen beiden Exportszenarien.

Mit steigender Produktion steigen in einem Modell wie PANTA RHEI natürlich die mengenmäßigen Importe. Darüber hinaus nimmt das Modell eine zunehmend arbeitsteilige Welt an, in der auch anteilig die Importe noch leicht steigen werden. Mit diesen Annahmen sind die in Kapitel 2 beschriebenen Importquoten aus 2014 fortgeschrieben worden, ohne dass eine explizite Modellierung der Importveränderungen eingesetzt wird.

Tabelle 6-2

**Übersicht über die wichtigsten ökonomischen Kenngrößen, Abweichungen zum Nullszenario, Ausbau der erneuerbaren Energien unter der Annahme mittlerer Exportszenarien, in jeweiligen Größen.**

	Absolutwerte					Abweichung in %				
	2015	2020	2030	2040	2050	2015	2020	2030	2040	2050
Komponenten des preisbereinigten BIP										
	Abweichungen in Mrd. €									
Bruttoinlandsprodukt	25,5	28,6	44,6	64,5	86,8	1,0	1,0	1,4	1,9	2,3
Privater Konsum	5,0	7,4	14,9	24,6	33,6	0,4	0,5	0,9	1,4	1,8
Ausrüstungen und Bauten	7,7	5,4	8,1	12,4	18,2	3,4	2,1	2,6	3,4	4,2
Exporte	10,0	13,3	16,2	22,8	32,8	0,7	0,9	0,7	0,8	0,9
Importe	-3,2	-5,3	-7,8	-5,9	-3,1	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	-0,1
Preisindizes										
	Abw. in Prozentpunkten									
Privater Konsum	0,03	0,00	-0,21	-0,64	-1,26	0,03	0,00	-0,17	-0,48	-0,92
Produktion	0,16	0,16	-0,21	-0,84	-1,85	0,15	0,14	-0,16	-0,60	-1,29
Importe	0,03	-0,11	-0,35	-0,59	-0,73	0,02	-0,10	-0,28	-0,46	-0,56
Staatshaushalt in jeweiligen Preisen										
	Abweichungen in Mrd. €									
Finanzierungssaldo	1,6	1,9	5,4	9,0	11,9	-6,2	-14,8	16,8	42,7	26,6
Staatskonsum	0,9	1,1	1,2	1,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0
Monetäre Sozialleistungen	0,0	-0,2	-1,3	-3,9	-7,7	0,0	0,0	-0,2	-0,6	-1,0
Gütersteuern	-0,1	-0,4	-0,5	-0,4	-0,7	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2
Einkommen- und Vermögenssteuern	2,2	3,1	5,5	7,3	7,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,4
Arbeitsmarkt										
	absolute Abweichungen									
Erwerbstätige (Inland) in 1000	50	73	110	190	232	0,1	0,2	0,3	0,6	0,7
Erwerbslose in 1000	-26	-41	-69	-130	-165	-1,2	-1,9	-7,6	-9,1	-13,5
Einkommen der pr. Haushalte in jew. Pr.										
	Abweichungen in Mrd. €									
Verfügbares Einkommen	7,4	11,0	20,4	30,3	35,8	0,4	0,6	0,9	1,1	1,2
Empfangene Arbeitnehmerentgelte	3,4	4,5	9,8	17,2	22,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8
Empfangene Vermögenseinkommen	7,2	10,3	17,0	21,2	22,5	1,5	2,0	2,7	2,8	2,6

Quelle. Eigene Berechnungen.

Bis 2030 steigt die Mehrbeschäftigung gegenüber dem Nullszenario auf ca. 100.000 Personen an, verläuft jedoch noch gebremst durch die teilweise deutlichen Differenzkosten. Nach 2030 kommen die preissenkenden Effekte der EE verstärkend zu den anderen Treibern hinzu und die Nettobeschäftigung steigt auf 190.000 (2040) bis über 230.000 im Jahr 2050.

Die ökonomischen Indikatoren entwickeln sich insgesamt positiv (Tabelle 6-2). Das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt liegt im gesamten Beobachtungszeitraum höher als im Nullszenario. Wenn der entlastende Preiseffekt wirkt, liegt das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt sogar deutlich über dem Bruttoinlandsprodukt, das sich für das Nullszenario ergibt. Der private Konsum profitiert ebenfalls besonders in der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums von den gesunkenen Energiepreisen, das Preisniveau liegt insgesamt niedriger als im Nullszenario. Die Energieimporte gehen zurück, die Exporte liegen über den Exporten des Nullszenarios, der größte Teil hiervon entfällt auf die Exporte von EE-Systemen und Produktionsanlagen. Allerdings entwickeln sich die Exporte insgesamt auch besser. Die Beschäftigung liegt im Beobachtungszeitraum zunächst sehr geringfügig oberhalb des Pfades im Nullszenario, später steigt die positive Nettobeschäftigung auf über 230 Tausend.

Die Ergebnisse werden vom Verlauf der Differenzkosten, der Exporte und der Investitionen getrieben. Positive Differenzkosten im Strom- und Wärmebereich wirken preistreibend und somit belastend auf die Wirtschaft. Die Differenzkosten fallen über die sogenannten Jahreskosten an, d.h. sie werden annuitätisch über die Lebensdauer einer Anlage berechnet. Dies verteilt den Kosteneffekt in die Zeit, überwiegend über 20 Jahre Lebensdauern der Anlagen. Folgen mehrere Jahre mit dem Ausbau einer Technologie mit hohen Differenzkosten aufeinander, wie es in der Vergangenheit bei der Photovoltaik der Fall war, kumulieren die zusätzlichen Kosten und es entsteht eine stärkere Belastung. Für die zukünftige Entwicklung sind keine Technologiesprünge, die mit erheblichen Zusatzkosten verbunden wären in den Szenarien unterstellt.

Besonders interessant ist ein Blick in die Beschäftigungseffekte nach Branchen, bei dem sich die Gewinner und Verlierer des Ausbaus erneuerbarer Energien zeigen. Hauptgewinner ist die Branche selbst, in der die Dienstleistungen für die Installation, den Betrieb und die Wartung ebenso enthalten sind, wie die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und ihrer Komponenten.

Außerhalb dieses Bereichs sind die Effekte eher klein. Tabelle 6-3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Sektoren. Wenn die Veränderung der Beschäftigung unterhalb von 100 Beschäftigten liegt, ist der Effekt gewissermaßen im Unschärfbereich der Berechnung und es lassen sich allenfalls Aussagen bezüglich der Richtung des Effekts treffen. Daher werden in Tabelle 6-3 für diese Bereiche die jeweiligen Vorzeichen des Effekts ausgewiesen. Die Kunststoffverarbeitung beispielsweise profitiert von den Zulieferungen zu den EE-Sektoren, ebenso wie die Glasherstellung.

Tabelle 6-3

**Absolute Abweichung der Beschäftigung im Ausbauszenario nach Sektoren der größten Abweichungen**

	2014	2015	2020	2030	2035	2040	2045	2050
Summe	31	50	73	110	161	190	218	232
Erneuerbare Energien	102	111	144	133	133	132	123	115
Papiergewerbe	-	-	-	-	-	-	-	-
Chemie	-	-	-	-	-	-	-	-
Gummi und Kunststoff	+	+	+	+	+	+	+	+
Glasgewerbe, Keramik,	+	+	+	+	+	+	+	+
Metallbearbeitung	+	+	+	+	+	+	+	+
Metallerzeugnisse	-	-	-	-	-	-	-	-
Maschinenbau	3	4	2	1	2	2	2	2
Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung	7	6	5	5	6	6	6	6
Energieversorgung	-16	-15	-16	-14	-11	-9	-5	-1
Baugewerbe	25	24	10	14	16	14	16	16
Kfz-Handel, Rep. KFZ, Tankstellen	-	-	-	-	-	+	+	+
Handelsvermittlung und Großhan- del	-	-	-	-	-	+	+	+
Einzelhandel, Rep. v. Gebrauchsgü- tern	-	-	-	-	-	10	13	14
Landverkehr	-4	-4	-3	0	2	4	6	7
Verkehrsvermittlung	-	-	-	-	-	+	+	+
Nachrichtenübermittlung	-	-	-	-	-	-	-	-
Kreditgewerbe	-	-	-	-	+	+	+	+
Versicherungsgewerbe	-	-	+	+	+	+	+	+
Grundstück- und Wohnungswesen	-	-	-	+	+	+	+	+
Vermietung beweglicher Sachen	-	-	-	-	-	-	-	0
Summe Dienstleistungen Verkehr bis Vermietung	-4	-3	-3	0	2	4	6	7

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Dienstleistungen im unteren Bereich der Tabelle verzeichnen zunächst leichte Rückgänge, weil die Produktion und der Konsum leicht zurückgehen. Mit wiederansteigendem Konsum verzeichnen diese Bereiche dann jedoch auch positive Beschäftigungseffekte. Die größten negativen Effekte lassen sich in der Energieversorgung feststellen, wobei der Betrieb von EE-Anlagen diesem Bereich nicht zugerechnet wird. Vielmehr bildet er die traditionelle Energieversorgung ab, deren Geschäftsmodell mit zunehmendem Ausbau erneuerbarer Energien

weniger erfolgreich ist und in Zukunft auch sein wird. Maschinenbau und Baugewerbe wiederum gehören zu den Gewinnern des Ausbauszenarios.

Tabelle 6-3 beschreibt Nettowirkungen, d.h. die Differenz zwischen zwei Szenarien. Unterstellend, dass im Nullszenario nahezu keine Beschäftigten in den EE-Branchen arbeiten, gibt die Branchenzeile auch Auskunft über die Entwicklung der direkten Beschäftigung unter den Szenarioannahmen. Aus der Abschätzung der Bruttobeschäftigung der Vergangenheit lässt sich das Verhältnis zwischen direkter und indirekter Beschäftigung auch in der Zukunft als etwa hälftig annehmen, sodass die Bruttobeschäftigung um die 300.000 in der Spitze liegen kann. Daraus kann nicht geschlossen werden, dass die zukünftige Bruttobeschäftigung deutlich geringer sein wird, denn in dieser Abschätzung sind die Aspekte Betrieb und Wartung von EE-Anlagen, Forschung, und die Bereitstellung von Biomasse nicht enthalten. Eine genauere Zuweisung ist auch insofern schwierig, als die Strukturen der Vorlieferung für Technologien in 30 Jahren vorausgeschätzt werden müssten. Auf diesem Zeithorizont „stimmen“ zwar die Tendenzen der Modellergebnisse und die Größenordnungen, aber Details lassen sich nicht seriös voraussagen.

#### **6.2.4 Deutschlands Rolle am Weltmarkt**

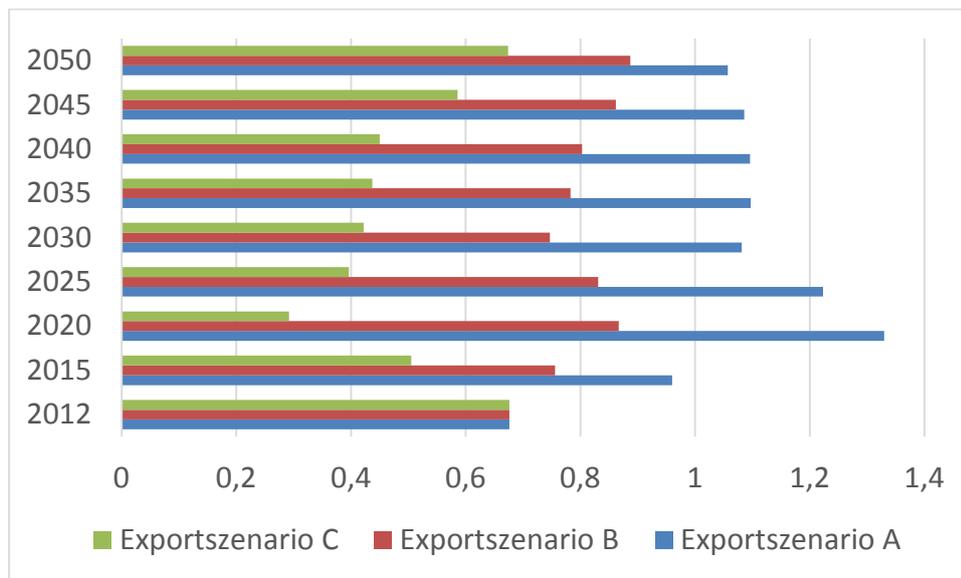
Frühere Untersuchungen haben bereits die Bedeutung des Exports für die langfristigen Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt gezeigt (Lehr et al. 2011). Wie in Kapitel 5 beschrieben, hängen die deutschen EE Exporte von einer Vielzahl von Faktoren ab.

Um einen Bandbreite dieser Möglichkeiten abzudecken und mittels Sensitivitäten den Möglichkeitsraum abzubilden, werden im Folgenden die Ergebnisse der Simulationen mit einem geringen EE-Anlagen und Produktionsanlagenexport und mit einem sehr hohen Exportvolumen dargestellt. Abbildung 6-5 zeigt einen Überblick über die unterstellten Exportentwicklungen, die in Kapitel 5 ausführlich dargestellt wurden. Hier werden die Exporte als Anteile der gesamten Exportaktivität abgebildet. Es zeigt sich, dass auch in der hohen Variante, die EE-Exporte nicht mehr als 1,4% des gesamten Exports ausmachen.

Beim unteren Szenario C, bei welchem der weltweite Ausbau der erneuerbaren Energien sichtlich ins Stocken gerät, fallen die Exportmöglichkeiten Deutschland entsprechend gering aus und die gesamtwirtschaftlichen Effekt, insbesondere die Nettobeschäftigung, sind negativ bis 2022. Die positiven Effekte auf die Beschäftigung in den EE-Branchen, die mit unter 100.000 Beschäftigten bis 2020 deutlich hinter der Größe dieser Branche mit über 140.000 im durch mittlere Exporte gekennzeichneten Szenario zurückbleiben, können die durch die

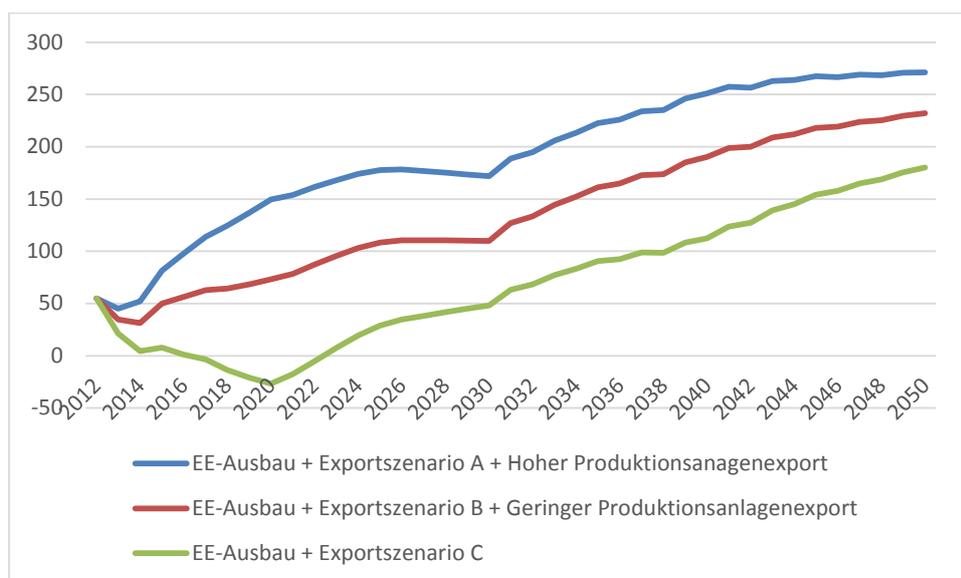
höheren Preise induzierten negativen Effekte und den Beschäftigungsrückgang in der Energiewirtschaft nicht ausgleichen. Abbildung 6-6 zeigt den Verlauf der Nettobeschäftigung im Szenarienvergleich zwischen dem Szenario niedriger Exporte und dem Nullszenario.

Abbildung 6-5  
Exportszenarien (Anteil am Export Deutschlands)



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 6-6  
Nettobeschäftigung unter verschiedenen Exportannahmen (in 1000 Beschäftigten)



Quelle. Eigene Berechnungen der GWS.

Die Szenarien mit höherer Exporttätigkeit und größeren Aktivitäten auf den internationalen Märkten führen zu größeren Aktivitäten auch bei den deutschen Herstellern und somit auch zu positiven Beschäftigungsimpulsen. Zusätzliche Exporte wirken sich vor allem deshalb positiv aus, weil die zusätzlichen Kosten für mehr Installationen nun im Ausland anfallen, die Preiswirkung der Differenzkosten in diesem Szenario nicht größer ist als im Ausbauszenario. Es lässt sich die Frage stellen, ob diese Exportaktivität zusätzlich ist. Grundsätzlich ist der Anteil auch der höheren Exporte im E[R] Szenario an den gesamten Exporten Deutschlands jedoch so gering und die Abhängigkeit der Wirtschaft von der Exporttätigkeit so hoch, dass die Änderungen bei den erneuerbaren Energien die Produktionsmöglichkeit der deutschen Industrie nicht an ihre Grenzen bringt.

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Transformation der Energieversorgung in Deutschland hat durch die Energiewende, die rasante Entwicklung der Photovoltaik hin zur Wettbewerbsfähigkeit und durch die Notwendigkeit der Integration deutlicher Anteile fluktuierender Erzeugung in bislang darauf nicht eingerichtete Strukturen in den letzten Jahren für viel Diskussionsstoff gesorgt. Dabei sind es die erneuerbaren Energien, die am wahrscheinlichsten den im Rahmen der Energiewende gesteckten Zielkorridor einhalten werden und sowohl die mittelfristigen Ziele als auch die langfristigen erreichen werden. Die andere Säule der Energiewende, die Energieeffizienz wird ihren Zielkorridor nach heutiger Einschätzung ohne weitere Maßnahmen verfehlen.

Bereits jetzt tragen die erneuerbaren Energien in erheblichem Maße zur Stromerzeugung bei. Bei der Wärmerzeugung verläuft der Ausbau deutlich schleppender. Deutsche Hersteller mussten sich in einigen Technologiebereichen von der Führungsposition auf einem Nischenmarkt verabschieden und sich dem internationalen Wettbewerb unter vielleicht nicht immer gleichen Bedingungen stellen. Wenngleich die Beschäftigung durch den Ausbau und den Betrieb der erneuerbaren Energien in absoluten Zahlen zuletzt brutto leicht rückläufig war, konnten sich viele Unternehmen auf den nun stärker umkämpften Märkten halten und ihre Umsätze, wie 2013 im Falle der Windindustrie, sogar ausbauen. Letztlich treibt aber auch der heimische Ausbau, bzw. werden rückläufige Installationen in Deutschland, wie bei der Photovoltaik in rückläufiger Beschäftigung gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen und Handwerksbetrieben sichtbar.

Wie lässt sich diese Entwicklung bewerten und wo geht die Reise hin? Mit diesen Fragen setzt sich die vorgelegte Untersuchung auseinander und findet eine Reihe von Antworten. Im methodischen Bereich fordert die dynamische Entwicklung der Technologien, der mit ihrer Herstellung verbundenen Prozesse und Kosten immer neue Anpassungen des Bewertungs- und Schätzinstrumentariums. Daher wird auch in diesem Bericht ausführlich auf die Ableitung angepasster Kostenstrukturen auf Basis der Ergebnisse einer aktuellen, umfangreichen Unternehmensbefragung eingegangen. Die Befragung führt darüber hinaus zu einer Fülle von zusätzlichen, vielleicht eher als weiche Informationen zu bezeichnende Erkenntnisse. Hier wird deutlich, dass die EE-Industrie durch hochqualifizierte Beschäftigungsverhältnisse geprägt ist, dem Fachkräftemangel durch ein hohes Engagement in der betrieblichen Berufsbildung begegnet und Zeit-/Leiharbeit ein gängiges Beschäftigungsmodell zur Flexibilisierung darstellt.

Mit zunehmendem Anlagenbestand erfährt der Betrieb von Anlagen und ihre Wartung, Erhaltung und Reparatur mehr Bedeutung. Um dem gerecht zu werden, wurde erstmals eine Befragung auch unter den Dienstleistern und Handwerksbetrieben durchgeführt, die mit diesen Aufgaben vertraut sind. Dadurch konnte die Validität der Schätzungen in diesem Aufgabenfeld, das in Zukunft deutlich an Bedeutung gewinnen wird, spürbar verbessert werden. Nicht nur bezüglich der Kosten spielen Verteilungsfragen eine Rolle, auch die regionale Verteilung der Beschäftigung auf die Bundesländer wird zunehmend diskutiert. Wenngleich die Datenlage auch hier immer besser wird, zeigt sich, dass auch im EE Bereich der Aufholprozess des Ostens noch nicht in eine völlige Angleichung der Produktionsmöglichkeiten geführt hat. Trotz der Unterstützung von regionalen Clustern kommen viele Vorleistungen aus den traditionellen industriellen Kernen im Süden und Westen.

Die Szenarien der nationalen und der internationalen Entwicklung reflektieren den starken Ausbau der letzten Jahre und die regionale Verschiebung nach Asien. Die Investitionen in den Weltregionen zeigen auf welche Dynamik im Ausbau auf Grund der EE-Potentiale weltweit erreicht werden kann.

Deutschlands Exporte hängen von diesen internationalen Entwicklungen kritisch ab. Zunehmende Local content Forderungen, mit denen sich Länder oder Regionen einen Anteil entlang der Wertschöpfungskette sichern möchten und damit dem politischen Druck bezüglich neuer Jobs nachgeben, senken den Welthandel. Andererseits lohnt sich die Produktion vor Ort nur dann, wenn auch ein hinreichendes Marktvolumen in Aussicht steht, und das könnte derzeit zwar von China, aber nicht unbedingt von vielen anderen Ländern gewährleistet werden.

Daher stellt die Untersuchung drei Szenarien vor – eines in einer Welt mit schleppendem Ausbau und schwachem Export, eines mit dynamischem Ausbau und ebensolchem Export und eines, in welchem zwar der internationale Ausbau kräftig anzieht, Deutschland in seiner Rolle am Weltmarkt jedoch beispielsweise durch wenig innovative Produkte gefährdet ist.

Neben die Abschätzung des Exports von Endprodukten und Komponenten wurde eine erste Abschätzung des Exports von Produktionsanlagen gestellt. Diese verhalten sich oftmals antizyklisch zum Ausbau: Phasen sich intensivierenden Ausbaus ziehen den Ausbau der Produktionsmöglichkeiten nach sich, andererseits kann ein erheblich Ausbau erst nach Ausweitung der Produktionskapazitäten stattfinden. Somit glätten die Exporte von Produktionsanlagen eventuelle Fluktuationen auf dem Weltmarkt beim Bau von EE-Anlagen – wie es in der Vergangenheit bei der PV zu beobachten war. Auch hier gilt: ist der regionale Markt groß genug, lohnt sich auch der Bau von Anlagen in heimischer Produktion. Insgesamt ist bei den Produk-

tionsmittelherstellern langfristig der Trend hin zu einer wachsenden Bedeutung der Ersatzinvestitionen im Vergleich zur Kapazitätserweiterung sichtbar.

Die Nettobeschäftigung ergibt sich aus den positiven Treibern durch Investitionen in Produktion und Installation von Anlagen und durch ihren Betrieb sowie die Bereitstellung von Biomasse, Dämpfend und negativ wirken Preissteigerungen, die insbesondere infolge der drei hohen PV Zubaujahre in Deutschland in der mittleren Frist verstärkt wirksam werden.

Daraus zu schließen, dass nun die deutlich preiswerteren Anlagen nicht mehr zugebaut werden sollen, wäre kontraproduktiv, denn gerade die neuen Anlagen sind viel näher an der Wettbewerbsfähigkeit. Der Zuwachs an Beschäftigung in den Hersteller- und Installationsbetrieben im Bereich erneuerbare Energien wird aber auch durch den Beschäftigungsabbau bei den konventionellen Energieerzeugern konterkariert. Dieser Effekt lässt sich bereits beobachten, ebenso wie die notwendigen Anpassungen der Geschäftsmodelle von etablierten Akteuren auf dem Energiemarkt, die sich stärker als bisher dem Ausbau erneuerbarer Energien zuwenden müssen.

Aus der Sicht der Produktionsmittelhersteller ist die langfristig abnehmende Bedeutung des europäischen Marktes beim Ausbau der erneuerbaren Energien damit verbunden, dass Marktanteile deutlich abnehmen können. Die Stärkung des europäischen Marktes für erneuerbare Energien wäre somit auch in der Konsequenz für die Produktionsmittelhersteller von hoher Bedeutung zur langfristigen Sicherung der aktuell sehr guten Marktposition deutscher Maschinen- und Anlagenbauer.

Aus Sicht der Beschäftigten in den Herstellerbranchen von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sind klare Zielsetzungen auch auf den wichtigsten Exportmärkten notwendig. Europa scheint derzeit sein klares Bekenntnis zum Ausbau erneuerbarer Energien nicht verlängern zu wollen, die jüngsten Beschlüsse bleiben deutlich hinter der Eindeutigkeit einer 20-20-20 Strategie zurück. Ein deutlich langsamerer Ausbau in Europa drückt auf die Wettbewerbsfähigkeit auch der deutschen EE-Branche, denn Europa ist ein wichtiger Absatzmarkt gewesen.

Im Vergleich zu den stromerzeugenden Technologien zeigen die wärmeerzeugenden wenig Dynamik. Dabei ist gerade hier die wichtige Schnittstelle zur Effizienz, dem zweiten Standbein der Energiewende und einer zukünftigen Klimapolitik. In Gebäuden mit geringem Wärmebedarf bietet sich die Deckung des restlichen Bedarfs mit erneuerbaren Energien auf jeden Fall an. Hier sollte man aufgrund der Dringlichkeit bezüglich der Klimaschutzziele unbedingt die entsprechenden Programme wieder aufnehmen oder fortführen.

Unter dem Aspekten der Beschäftigung und der langfristigen Herstellung in Europa und Deutschland können anspruchsvolle Wärmelösungen auch zukünftig Märkte sichern und neue erobern. Bereits jetzt finden sich hier weniger importierte Technologien als beispielsweise im PV Sektor.

Letztlich trägt auch der Kraftstoffsektor in den vorgeschlagene Ausbauszenarien zum Energiemix und somit zur Beschäftigung bei. Die hierzu notwendigen Strategien für nachhaltige Biomassenutzung stehen bislang aus.

## Literatur

- BA\_B & Bundesagentur für Arbeit: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen in den Bundesländern (Quartalsdaten, 2- bis 3-Steller der WZ08), jeweils 2. Quartal.
- BAFA & Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Daten zum Marktanreizprogramm, aufbereitet vom ZSW, bereitgestellt durch [www.foederal-erneuerbar.de](http://www.foederal-erneuerbar.de)
- Ball, J. & Meckling, J.: Infocenter – Statistik zu den Bundesländern ([www.windenergie.de](http://www.windenergie.de)).
- BDBe & BDBE – Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.: Standorte deutscher Produktionsanlagen.
- BDEW & Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Erneuerbare Energien und das EEG in Zahlen (2010, 2011, 2012).
- Blazajczak, J. & Edler, D. (2008): Szenarien zur Entwicklung des Weltmarktes für Umwelt- und Klimaschutzgüter, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 204 14 107), Reihe Umwelt Innovation und Beschäftigung des BMU und UBA 04/08, Dessau 2008.
- BMU (2012): Nitsch, J., Pregger, P., Naegler, T., Heide, D., Luca de Tena, D., Trieb, F., Scholz, Y., Nienhaus, K., Gerhardt, N., Sterner, M., Trost, T., von Oehsen, A., Schwinn, R., Pape, C., Hahn, H., Wickert, M. & Wenzel, B., Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und Global, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), März 2012.
- BMWi (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Studie von EWI, GWS und Prognos im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), August 2010.
- BMWi (2010a): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 28. September 2010.
- BMWi (2014): Erneuerbare Energien im Jahr 2013 - Erste vorläufige Daten zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Stand: 28. Februar 2014.
- BMWi (2014a): Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Energiedaten – nationale und internationale Entwicklung, Stand 23.6.2014, erhältlich unter: <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/energiedaten.html>
- BMWi (2014b): Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende, Dezember 2014, Berlin
- BMLEV & Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Holzmarkbericht 2010 und 2011.
- BNA & Bundesnetzagentur: EEG-Statistikbericht, unterschiedliche Jahrgänge.

BNA\_PV & Bundesnetzagentur: Datenmeldungen über PV-Anlagen.

Breitschopf, B., Nathani, C., Resch, G., Methodological guidelines for estimating the employment impacts of using renewable energies for electricity generation, Study commissioned by IEA's Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD), Karlsruhe 2012.

Bundesagentur für Arbeit (2014a): Arbeitsmarktberichterstattung: Der Arbeitsmarkt in Deutschland – Stand 31.12.2011. DEWI Magazin No. 40, Februar 2012. | Windenergienutzung, Zeitarbeit – Aktuelle Entwicklungen. Nürnberg, Juli 2014.

Bundesagentur für Arbeit (2014b): Arbeitsmarktberichterstattung: Der Arbeitsmarkt in Deutschland – Stand 31.12.2012. DEWI Magazin No. 42, Februar 2013, Frauen und Männer am Arbeitsmarkt im Jahr 2013. Nürnberg, Juli 2014.

Bundesagentur für Arbeit (ibv, BfA 2009): Der Arbeitsmarkt für Akademiker in Deutschland; Arbeitsmarktberichterstattung Ingenieure/-innen. Nürnberg.

Bundesbank (2014): Jahresdurchschnitte Devisenkurse, abrufbar auf [http://www.bundesbank.de/Navigation/DE/Statistiken/Zeitreihen\\_Datenbanken/Makrooekonomische\\_Zeitreihen/its\\_list\\_node.html?listId=www\\_s331\\_b01012\\_1](http://www.bundesbank.de/Navigation/DE/Statistiken/Zeitreihen_Datenbanken/Makrooekonomische_Zeitreihen/its_list_node.html?listId=www_s331_b01012_1)

CSP Today (2014): Global Tracker, <http://social.csptoday.com/tracker/projects/table>.

DBFZ & Deutsches BiomasseForschungsZentrum: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, jährliche Berichterstattung seit 2009.

DENA, Deutsche Energieagentur: [www.Offshore-Wind.de](http://www.Offshore-Wind.de).

DEPV, Deutscher Energieholz- & Pellet-Verband e.V.: Verbandsprofil, Pellethersteller (<http://www.depv.de>).

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Acatech 2009): Strategie zur Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Handlungsempfehlungen für die Gegenwart, Forschungsbedarf für die Zukunft. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag.

Deutscher Gewerkschaftsbund (DGB, 2013). Frauen in MINT-Berufen: Weibliche Fachkräfte im Spannungsfeld Familie, Beruf und beruflichen Entwicklungsmöglichkeiten. Arbeitsmarkt aktuell Nr. 3/Juni 2013. Hrsg. Von der Abteilung Arbeitsmarktpolitik des DGB. Berlin.

DEWI (2012|2013): Windenergienutzung Avoiding Sun Stroke - Assessing National Competitiveness in the Global Solar Race. Stanford University and Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), November 2013.

Distelkamp, M., Bickel, P., Ulrich, P. & Lehr, U. (2011): Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern: Ausgewählte Fallstudien sowie Pilotmodellierung für die Windenergie an Land. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück, Stuttgart, Berlin, Juli 2011.

Ender, C. & EEG\_ASD, EEG-Anlagenstammdaten, veröffentlicht von den Übertragungsnetzbetreibern (50 Hertz, amprion, Tennet, Transnet\_BW), jeweils abgerufen am 6. März 2013.

- EPIA (2014): Market Report 2013, European Photovoltaic Industry Association.
- erdwärmeliga, www.erdwärmeliga.de: erdwärmeLIGA-Bundesliga, Offizielle Daten.
- FNR & Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Adressendatenbank (<http://www.nachwachsenderohstoffe.de>).
- FV\_Biogas & Fachverband Biogas e.V.: Branchenzahlen und Prognose der Branchenzahlen, unterschiedliche Jahrgänge.
- GEA (2012): Geothermal: International Market Overview Report. Geothermal Energy Association, May 2012.
- GEA (2013): 2013 Geothermal Power: International Market Overview. Geothermal Energy Association, September 2013.
- Gehrke, B. & Schasse, U. (2013): Umweltschutzgüter – wie abgrenzen? Methodik und Liste der Umweltschutzgüter 2013. Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung des Umweltbundesamtes 01/2013.
- GIZ (2013): Assessment of the localisation, industrialisation and job creation potential of CSP infrastructure projects in South Africa – A 2030 vision for CSP. Earnest & Young, enolcon, commissioned by Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) and Southern Africa Solar Thermal and Electricity Association (SASTELA), June 2013.
- Godfoy-Genin, A.S. (Hrsg. 2010): Prometea - Women in Engineering and Technology Research. Münster und Berlin: Literaturverlag.
- Greenpeace, EREC, GWEC, Teske, S., Muth, J., Sawyer, Pregger, S.T., Simon, S., Naegler, T., O'Sullivan, M, Schmid, S., Graus, W., Zittel, W., Rutovitz, J., Harris, S., Ackermann, T. Ruwahata, R & Martensen, N. (2012): Energy [R]evolution - a sustainable world energy outlook. Amsterdam, Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC), Global Wind Energy Council (GWEC), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 2012.
- GTAI\_BOS, German Trade and Invest: "Fact sheet – PV Balance of System", unterschiedliche Jahrgänge, zuletzt Juli 2012.
- GTAI\_CSP & German Trade and Invest: "Fact sheet – the CSP industry in Germany", unterschiedliche Jahrgänge.
- GTAI\_PV & German Trade and Invest: "Fact sheet - Photovoltaics in Germany", unterschiedliche Jahrgänge, zuletzt September 2012.
- GtV & Bundesverband Geothermie: Tiefe Geothermieprojekte in Deutschland.
- GWEC (2014): Global Wind Statistics 2013, Global Wind Energy Council.
- IAB (2014): Hausmann, A.C. / Kleinert, C, Institut für Arbeitsmarktforschung: Männer- und Frauendomänen kaum verändert – Berufliche Segregation auf dem Arbeitsmarkt. IAB Nr.9/2014: Aktuelle Analysen aus dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. Nürnberg.
- IEA (2007): World Energy Outlook 2007. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

- IEA (2011): World Energy Outlook 2011. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- IEA (2013): International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2013.
- IEA-SHC (2014): Solar Heat Worldwide – Market and Contribution to the Energy Supply 2012. IEA Solar Heating & Cooling Programme, June 2014.
- IHA (2013): IHA Hydropower Report. International Hydropower Association, 2013.
- Kratz, M., Lehr, U., Nitsch, J., Edler, D. & Lutz, C. (2007): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte 2006. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2007.
- Krewitt, W. & Schломann, B (2006): Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, Gutachten für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2006.
- Lehr, U., Lutz, C., Edler, D., O'Sullivan, M., Nienhaus, K., Simon, S., Nitsch, J., Breitschopf, B., Bickel, P. & Ottmüller, M. (2011): Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. N. u. R. Bundesministerium für Umwelt. Osnabrück, Berlin, Karlsruhe, Stuttgart, GWS, DIW, DLR, FhG-ISI, ZSW.
- MB, Marktbeobachtung (Diverse Fach- und Pressebeiträge).
- O'Sullivan, M. (DLR), Edler, D. (DIW), Bickel, P. (ZSW), Lehr, U. (GWS), Peter, F. & Sakowski, F. (Prognos) (2013): Bruttobeschäftigung 2012 – eine erste Abschätzung, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), März 2013.
- O'Sullivan, M. (DLR), Edler, D. (DIW), Bickel, P. (ZSW), Lehr, U. (GWS), Peter, F. & Sakowski, F. (Prognos) (2014): Bruttobeschäftigung 2012 – eine erste Abschätzung, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Mai 2014.
- O'Sullivan, M. (DLR), Edler, D. (DIW), Nieder, T. (ZSW), Rüther, T. (ZSW) & Lehr, U. (GWS), Peter, F. (Prognos): Bruttobeschäftigung 2011 – eine erste Abschätzung, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), März 2012.
- Pfenning, U. & Renn, O. (Hrsg.) (2012): Wissenschafts- und Technikbildung auf dem Prüfstand, Zum Fachkräftemangel und zur Attraktivität der MINT-Bildung und –Berufe im europäischen Vergleich. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. NOMOS-Verlag. Baden-Baden / Berlin.
- Photon, o.J. Ein Jahresbericht zur Entwicklung der Photovoltaikindustrie wird jedes Jahr in der ersten Ausgabe der monatlichen Fachzeitschrift veröffentlicht. Darin werden für die unterschiedlichen Komponenten und Technologien Produktion und Kapazitäten der Hersteller für das Vorjahr detailliert dargestellt.
- REN21 (2014): Renewables 2014 – Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), 2014.

- Schreyer, F. (2008): Akademikerinnen im technischen Feld – Der Arbeitsmarkt von Frauen in Männerfächern. Campus Verlag. Frankfurt/Main.
- SOKO: o.J. Unternehmensbefragung im Rahmen des Projektes „Kurz- und langfristige Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt“, durchgeführt vom SOKO Institut von April 2008 bis September 2008.
- 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.
- StaBuA (2010): Input-Output-Rechnung im Überblick, Artikelnummer: 5815116099004, Wiesbaden 2010.
- StaBuA (2014): Statistisches Bundesamt: Input-Output-Rechnung 2010, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Fachserie 18, Reihe 2, Artikelnummer: 2180200107004), Wiesbaden 2014.
- StBA\_AA & Statistisches Bundesamt: o.J. Ergebnisse der Bodennutzungshaupterhebung 2010, 2011 und 2012.
- StBA\_AH: o.J. Außenhandel nach Bundesland und nach Warenverzeichnis, Sonderauswertung.
- StBA\_AW: o.J. Abfallentsorgung, Fachserie 19, Reihe 1.
- StBA\_BF: o.J. Statistisches Bundesamt: Fertigstellungen im Wohn- und Nichtwohnbau nach Gebäudearten und Art der vorwiegend verwendeten Heizenergie.
- StBA\_MZW: Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte.
- Stern (2006): Stern Review on the Economics of Climate Change, 2006, abrufbar auf [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern\\_review\\_report.htm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm).
- SWW\_FV, Sonne, Wind & Wärme (unterschiedliche Ausgaben): Firmenverzeichnis.
- SWW\_PH, Pelletshersteller weltweit bzw. (2013): Windenergie in Deutschland und Österreich; Sonne- Aufstellungszahlen für das Jahr 2012. DEWI GmbH, 2013.
- UNPD (2011): "World Population Prospects: The 2010 Revision." Retrieved 3.4.2011, 2011, from <http://esa.un.org/unpp/>.
- Ulrich, P. & Lehr, U. (2014): Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern: Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2013 in den Bundesländern. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück.
- Ulrich, P. & Lehr, U. (2013): Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern! Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2012 in den Bundesländern. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück.

Ulrich, P., Distelkamp, M., Lehr, U., Bickel, P. & Püttner, A. (2012): Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern! Bericht zur daten- und modellgestützten Abschätzung der aktuellen Bruttobeschäftigung in den Bundesländern. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück, Stuttgart.

VDI (2007): Ingenieurmangel in Deutschland – Ausmaß und wirtschaftliche Konsequenzen. Studie erstellt vom Institut der Deutschen Wirtschaft (DIW) im Auftrag des VDI. VDI-Verlag. Düsseldorf.

Wentzel, W., Mellies, S. & Schwarze B. (Hrsg. 2011): Generation Girls' Day. Verlag Budrich. UniPress. Opladen. Berlin.