

Endbericht

Rohstoffbedarf im Bereich der erneuerbaren Energien



Quelle: © Fotolia - Otmar Smit

Endbericht

Rohstoffbedarf im Bereich der erneuerbaren Energien

Projektnummer

1123/16-30

Von

Prognos AG

Hanno Falkenberg

Leonard Krampe

Jannis Lambert

Sebastian Lübbers

Oliver Lühr

Myrna Sandhövel

Öko-Institut

Matthias Buchert

Jürgen Sutter

Im Auftrag des

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Abschlussdatum

23. August 2019

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Wer heute die richtigen Entscheidungen für morgen treffen will, benötigt gesicherte Grundlagen. Prognos liefert sie – unabhängig, wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Seit 1959 erarbeiten wir Analysen für Unternehmen, Verbände, Stiftungen und öffentliche Auftraggeber. Nah an ihrer Seite verschaffen wir unseren Kunden den nötigen Gestaltungsspielraum für die Zukunft – durch Forschung, Beratung und Begleitung. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit rund 150 Experten ist das Unternehmen an acht Standorten vertreten: Basel, Berlin, Bremen, Brüssel, Düsseldorf, Freiburg, München und Stuttgart. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Unser Ziel ist stets das eine: Ihnen einen Vorsprung zu verschaffen, im Wissen, im Wettbewerb, in der Zeit.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

Berlin HRB 87447 B

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

DE 122787052

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Gründungsjahr

1959

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Tel.: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Tel.: +49 421 5170 46-510
Fax: +49 421 5170 46-528

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 23
79100 Freiburg | Deutschland
Tel.: +49 761 766 1164-810
Fax: +49 761 766 1164-820

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Tel.: +49 30 5200 59-210
Fax: +49 30 5200 59-201

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Tel: +32 280 89-947

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Tel.: +49 89 954 1586-710
Fax: +49 89 954 1586-719

Prognos AG

Schwanenmarkt 21
40213 Düsseldorf | Deutschland
Tel.: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Tel.: +49 711 3209-610
Fax: +49 711 3209-609

info@prognos.com | www.prognos.com | www.twitter.com/prognos_ag

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Ziel und Aufgabenstellung	IX
Zusammenfassung	X
1 Einordnung der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung Deutschlands und Darstellung des Rohstoffbedarfs für EE-Anlagen	1
1.1 Darstellung des Sachstandes zur aktuellen Bedeutung der erneuerbaren Energien in Deutschland	1
1.2 Beschreibung der aktuellen Bedeutung der erneuerbaren Energien für den Rohstoffbedarf	5
1.2.1 Baurohstoffe	6
1.2.2 Basismetalle	6
1.2.3 Technologiemetalle	9
1.3 Prägnante Darstellung der durch die Klimaschutzziele absehbaren Änderungen des Rohstoffbedarfs bis 2030	14
1.3.1 Baurohstoffe	15
1.3.2 Basismetalle	16
1.3.3 Technologiemetalle	20
1.3.4 Kurzer Ausblick auf den Zeitraum nach 2030 bis 2050	23
1.4 Ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen der Primärrohstoffgewinnung	24
2 Sozio-ökonomische Bedeutung der erneuerbaren Energien	27
2.1 Darstellung der ökonomischen Bedeutung des Sektors der erneuerbaren Energien und der Bedeutung für den Arbeitsmarkt	27
2.1.1 Förderung erneuerbarer Energieumwandlung	27

2.1.2	Systematisierung der Wertschöpfung	28
2.1.3	Ökonomische Quantifizierung	30
2.1.4	Beschäftigung und Bruttowertschöpfung durch erneuerbare Energien	32
2.2	Bestandsaufnahme der Erneuerbaren Energien in den Regionen	34
2.2.1	Auswahl und Zuschnitt der Regionen für die Fallbeispiele	34
2.2.2	Norddeutsche Windregion	36
2.2.3	Südostdeutsche Solarenergierregion	40
2.2.4	Mitteldeutsche Bioenergierregion	44
2.3	Perspektivische Entwicklung und Betrachtung von Hemmnissen	47
2.3.1	Ausbaupotenziale im Netzentwicklungsplan	47
2.3.2	Herausforderungen beim Ausbau der erneuerbaren Energien	48
	Quellenverzeichnis	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bedarf an Technologiemetallen für Schlüsseltechnologien der Energiewende nach dem Szenario B 2030	XII
Tabelle 2:	Kupferbedarf für PV- und Windkraftanlagen in Deutschland 2013	8
Tabelle 3:	Wichtige Technologiemetalle für die Energiewende	10
Tabelle 4:	Ausgewählte Daten aus Netzentwicklungsplan 2019 (Szenario B 2030)	15
Tabelle 5:	Kupfer- und Aluminiumbedarf für Schlüsselkomponenten von Elektroautos nach Szenario B 2030	16
Tabelle 6:	Bedarf an Technologiemetallen für Schlüsseltechnologien der Energiewende nach dem Szenario B 2030	20
Tabelle 7:	Anteil erneuerbarer Stromerzeugung an der Bruttostromerzeugung	35
Tabelle 8:	Anzahl Anlagen und installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in der Norddeutschen Windregion	37
Tabelle 9:	Anzahl Anlagen und installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in der Südostdeutschen Solarregion	41
Tabelle 10:	Anzahl Anlagen und installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in der Mitteldeutschen Bioenergieregion	45
Tabelle 11:	Kennzahlen zur zukünftigen Entwicklung des Stromsystems	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland	1
Abbildung 2:	Installierte Leistung erneuerbarer Stromerzeugung	2
Abbildung 3:	Hauptförderländer 2018 für Eisen (Gehalt im Erz) und Bauxit	7
Abbildung 4:	Hauptförderländer 2018 (Minenproduktion) für Kupfer und Nickel	9
Abbildung 5:	Hauptproduktionsländer 2018 für Indium (Raffinierte Produktion) und Gallium (Primärproduktion)	11
Abbildung 6:	Hauptproduktionsländer 2018 für Selen (Raffinierte Produktion) und Silizium	12
Abbildung 7:	Hauptförderländer 2018 (Minenproduktion) für Kobalt und Lithium	13
Abbildung 8:	Hauptförderländer 2018 (Minenproduktion) für Seltene Erden (als Seltenerdoxid-Äquivalente)	14
Abbildung 9:	Reserven an Eisenerz und Bauxit 2018 nach Hauptländern	18
Abbildung 10:	Reserven an Kupfer und Nickel 2018 nach Hauptländern	18
Abbildung 11:	Reserven an Selen 2018 nach Hauptländern	21
Abbildung 12:	Reserven an Kobalt und Lithium 2018 nach Hauptländern	22
Abbildung 13:	Reserven an Seltenen Erden (Seltenerdoxid-Äquivalente) 2018 nach Hauptländern	23
Abbildung 14:	EEG-Umlage je kWh und Gesamtumlagebetrag, 2010 bis 2020	28
Abbildung 15:	Wertschöpfungskette Erneuerbare Energien	29
Abbildung 16:	Marktsegmente und Technologiebereiche des Leitmarkts Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung	32
Abbildung 17:	Erwerbstätige im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung, 2003 – 2018	33
Abbildung 18:	Erwerbstätige im Marktsegment Erneuerbare Energien, 2003 – 2018	34

Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlendioxid
EE	Erneuerbare Energien
envigos	Model for environmental industry, goods and services (Umweltwirtschaftsmodell)
ETS	Energieerzeugung, -transport und -speicherung
FuE	Forschung und Entwicklung
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Hybridelektrofahrzeug)
InENS	Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
NEP	Netzentwicklungsplan
NMC	Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid
PV	Photovoltaik
PHEV	plug-in hybrid electric vehicle (Plug-in-Hybrid)
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
t	Tonne
TWh	Terrawattstunde
WKA	Windkraftanlagen

Ziel und Aufgabenstellung

Ziel des vorliegenden Berichtes ist die Darstellung der aktuellen und zukünftigen Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf die Rohstoffbedarfe in Deutschland. Darüber hinaus werden die ökonomische Bedeutung des Sektors der erneuerbaren Energien sowie seine Effekte auf dem Arbeitsmarkt beleuchtet. Im Fokus stehen hierbei die für die Energiewende wesentlichen erneuerbaren Erzeugungskapazitäten (insbesondere Windkraftanlagen, Photovoltaik (PV) und Bioenergieanlagen). Die gesamten Auswirkungen einer umfassenden Energiewende inklusive notwendigem Netzausbau, Mobilitätswende und Sektorkopplung können im Rahmen dieses Projektes jedoch nicht betrachtet werden. Gleiches gilt für eine derzeit nicht endgültig definierte Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. Redaktionsschluss des Berichtes war der 23. August 2019. Insofern konnten die Ergebnisse der zu diesem Zeitpunkt bereits laufenden Diskussionen zum Klimapakete der Bundesregierung nicht in den Bericht integriert werden.

Zusammenfassung

Deutschland ist seit 2016 Mitglied in der internationalen „Initiative für Transparenz im rohstoffgewinnenden Sektor“ (Extractive Industries Transparency Initiative, kurz: EITI) und erfüllt seit Mai 2019 mit dem ersten deutschen D-EITI-Bericht den internationalen EITI-Standard. Diesen ersten D-EITI-Bericht zeichnet aus, dass er im Kontextteil neben Pflichtthemen auch Sonderthemen aufgegriffen hat, die eine besondere Relevanz für den Rohstoffmarkt bzw. -sektor in Deutschland haben. Eines dieser Themen war die Bedeutung erneuerbarer Energien. Die den EITI-Prozess steuernde sog. Multistakeholder-Gruppe (MSG) hat sich zum Ziel gesetzt, für den zweiten D-EITI-Bericht unter Hinzuziehung externer Expertise die Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf die zukünftigen Rohstoffbedarfe sowie die damit einhergehenden sozio-ökonomischen Implikationen näher zu beleuchten.

Der vorliegende Bericht ordnet zunächst die erneuerbaren Energien in die Gesamtenergieversorgung Deutschlands ein und stellt sodann den Rohstoffbedarf für Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Anlagen) dar (Kapitel 1). Das zweite Kapitel befasst sich mit der sozio-ökonomischen Bedeutung der erneuerbaren Energien. Dies umfasst zum einen eine kurze Beschreibung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) als ein wichtiges Förderinstrument für erneuerbare Energien, aber auch Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte sowie Herausforderungen und Hemmnisse beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Auf Wunsch der MSG werden die sozioökonomischen Effekte insbesondere anhand dreier Modellregionen in Deutschland dargestellt, in denen Windkraft, Bioenergie bzw. Photovoltaik (PV) eine besondere Bedeutung spielen.

Einordnung der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung Deutschlands und Darstellung des Rohstoffbedarfs für EE-Anlagen

Mit dem Ziel, den Ausstoß menschlich verursachter Treibhausgase zu verringern, erfolgt eine tiefgreifende Transformation des Energiesystems weg von der Strom-, Wärme und Kraftstoffbereitstellung aus fossilen Ressourcen hin zu erneuerbaren Energieträgern. Diese Transformation besteht nicht allein in einer Auswechslung der Energieträger zur Strom- und Wärmeversorgung. Auch die Energieumwandlung (z. B. Art und Weise der Stromerzeugung), die Energieverteilung (z. B. Aus- und Umbau der Netze) und die Nutzung von Energie (z. B. für die Elektromobilität im Verkehr) ändern sich. All dies hat beträchtliche wirtschaftliche Auswirkungen auf den Energiesektor,

Erneuerbare Energien leisten bereits heute einen großen und wachsenden Anteil an der Energieversorgung in Deutschland. 2018 betrug der Anteil erneuerbarer Energien 14% am gesamten Primärenergieverbrauch. Deutlich höher ist der Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland mit 37,8%. Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energien beliefen sich 2018 auf 13,5 Mrd. Euro und sind somit seit 2013 in etwa konstant. Neben den direkten Investitionen wurden durch den Betrieb der Anlagen, und somit durch die Nachfrage nach Personal, Strom, Ersatzteilen oder Brennstoffen, wirtschaftliche Impulse bzgl. anderer Branchen in Höhe von 16,8 Mrd. Euro im Jahr 2018 hervorgerufen.

Durch die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energiequellen entsteht zudem ein zusätzlicher Rohstoffbedarf, während der Bedarf an fossilen Rohstoffen zurückgeht. Die in dem Gutachten vorgenommene Analyse der Rohstoffbedarfe bezieht sich sowohl auf Anlagen der Energieumwandlung (Windkraft und Photovoltaik) als auch auf bedeutende technologische Ver-

änderungen in der Verwendung von Energieträgern (stationäre Speicher und Batterien für die Elektromobilität). Untersucht wurden Baurohstoffe, Basismetalle und Technologiemetalle. Die Abschätzung der Rohstoffbedarfe erfolgt bis 2030. Für die Abschätzungen wird eine zukünftige Entwicklung des Energiesystems in Deutschland gemäß dem Szenario B des Netzentwicklungsplans 2019 der Übertragungsnetzbetreiber angenommen.¹ Dieses Szenario zeigt einen möglichen Entwicklungspfad des Energiesystems unter Berücksichtigung der politischen Ziele, d.h. insbesondere einen Anteil der erneuerbaren Energien von 65% zu erreichen, auf.

Bei den Baurohstoffen sind besonders Rohstoffe für die Herstellung von Beton von großer Bedeutung. 2018 betrug der Bedarf an Beton für neu installierte Windkraftanlagen 1,8 Mio. t. Der durchschnittliche Jahresbedarf dürfte in Zukunft etwa in dieser Größenordnung konstant bleiben. Die durch die Energiewende hervorgerufene Nachfrage nach Baurohstoffen ist im Vergleich zu dem Bedarf im Wohnungs- und Straßenbau jedoch eher gering (Deutschland hatte im Jahr 2018 einen Bedarf an Transportbeton von etwa 115 Mio. t).

Bedeutende Basismetalle für die Energiewende sind Stahl und Aluminium sowie Kupfer und Nickel. Stahl wird in vielen Anlagen als Baumaterial eingesetzt. Die durch die Energiewende hervorgerufene Stahlnachfrage ist im Vergleich zur Gesamtnachfrage nach Stahl in Deutschland von untergeordneter Bedeutung. Aluminium findet breite Anwendung in Windkraftanlagen und in PKW-Komponenten. Durch den Ausbau der Elektromobilität entsteht im Jahr 2030 voraussichtlich ein zusätzlicher Jahresbedarf an Aluminium von etwa 162.000 Tonnen. Kupfer wird neben Windkraft- und PV-Anlagen ebenso im Rahmen der Elektromobilität verwendet. Kupfer dürfte aufgrund der Energiewende deutliche Nachfrageimpulse erfahren. Während der Kupferbedarf 2013 für Windkraft- und PV-Anlagen bei 11.200 Tonnen lag, wird der jährliche Kupferbedarf bis 2030 um zusätzliche 73.500 Tonnen für Batterien, Elektromotoren und Leistungselektronik ansteigen. Der Bedarf an Nickel für die Elektromobilität wird für das Jahr 2016 auf etwa 1.050 Tonnen geschätzt. Bei einem Hochlauf auf etwa 1 Mio. neuzugelassene Elektrofahrzeuge im Jahr 2030 würde sich ein Nickelbedarf von rund 56.000 Tonnen ergeben.

Im Zusammenhang mit der Energiewende haben die Technologiemetalle Gallium, Indium, Selen und Silizium aufgrund ihrer Verwendung vor allem in PV-Modulen eine besondere Relevanz. Das Gleiche gilt für Kobalt und Lithium aufgrund ihrer Verwendung in Lithium-Ionen-Batterien sowie für Neodym und Dysprosium aufgrund ihrer Verwendung in Windkraftanlagen und Elektromotoren. Die zukünftigen jährlichen Bedarfe an Technologiemetallen zur Herstellung von PV-Modulen bleiben etwa konstant. Der jährliche Bedarf an Kobalt und Lithium steigt aufgrund zunehmender Batterieabsätze deutlich an. Gleiches gilt für den Bedarf an den Seltenerdenmetallen Neodym und Dysprosium. Dies ist verstärkt auf die Zunahme der Elektromobilität als auf den Bau von Windkraftanlagen zurückzuführen. Ein Überblick über den zukünftigen Bedarf an Technologiemetallen für Schlüsseltechnologien der Energiewende ist in Tabelle 1 ausgewiesen.

Die Primärgewinnung einiger benötigter Rohstoffe, z.B. Kobalt, kann insbesondere in Ländern mit schwachen Governancestructuren mit hohen menschenrechtlichen sowie sozialen und ökologischen Risiken verbunden sein. Gerade im sog. artisanalen Bergbau können Kinderarbeit und fehlende Sozial- und Sicherheitsstandards damit einhergehen, die auch zu Gesundheitsbelastungen der Bevölkerung vor Ort führen können. Umweltbelastungen bei der Primärrohstoffgewinnung entstehen z.B. auch durch Rodungen (bspw. bei Bauxit), Wasserverdunstungen (bspw. bei Lithium aus Salzseen) und Damnbrüchen (Risiko bei Bergbaustandorten).

¹ Siehe hierzu: <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2030-2019>

Tabelle 1: Bedarf an Technologiemetallen für Schlüsseltechnologien der Energiewende nach dem Szenario B 2030

Technologiemetall	Bilanzierte Technologien	Bedarf 2018 – 2030 kumuliert in Tonnen	Rechnerischer Bedarf in Tonnen pro Jahr (Durchschnitt)
Gallium (Ga)	Dünnschicht-PV	12	0,92
Indium (In)	Dünnschicht-PV, Dickschicht-PV	165	13
Kobalt (Co)	Lithium-Ionen-Batterien (E-Mob. und stationäre Speicher)	74.000	5.700
Lithium (Li)	Lithium-Ionen-Batterien (E-Mob. und stationäre Speicher)	50.000	3.800
Neodym (Nd)	Permanent erregte Windkraftanlagen (getriebelos), Elektromotoren HEV, PHEV, BEV, Pedelecs	3750	290
Dysprosium (Dy)	Permanent erregte Windkraftanlagen (getriebelos), Elektromotoren HEV, PHEV, BEV, Pedelecs	660	50
Selen (Se)	Dünnschicht-PV	64	5
Silizium (Si)	Dickschicht-PV (Dünnschicht-PV)	132.000	10.150

Quelle: eigene Berechnungen nach (OEKO 2019) und (OEKO/IZT 2019)

Sozio-ökonomische Bedeutung der erneuerbaren Energien

Um die Energiewende anzustoßen, wurde bereits 1990 mit dem Stromeinspeisungsgesetz ein Fördermechanismus eingeführt, das Energieversorgungsunternehmen in Deutschland erstmals verpflichtet, elektrische Energie aus regenerativen Prozessen (Wind- und Wasserkraft sowie Solarenergie und Biomasse) abzunehmen und zu vergüten. Heute wird die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland maßgeblich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) finanziell gefördert. Das EEG konzipiert eine Umlage, die auf den Stromverbrauch (mit Ausnahmen für energieintensive gewerbliche Verbraucher) zusätzlich zum Strompreis erhoben wird. Für 2019 beträgt die EEG-Umlage 6,4 ct/kWh. Der voraussichtliche Umlagebetrag für 2019 beläuft sich auf 23 Mrd. €.

Die Zahl der Erwerbstätigen im Leitmarkt „Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung“ belief sich im Jahr 2018 auf 284.000 Personen. Die Zahl der direkten sowie der induzierten Beschäftigung unterliegt Schwankungen und lag 2016 bei 338.500 Personen. Schwankungen in der Beschäftigung lassen sich unter anderem auf Schwankungen bei der Produktion von erneuerbaren Energieanlagen und Schwankungen bei der Anzahl der in Deutschland installierten Anlagen zurückführen.

Ein ausgewiesenes Ziel der Bundesregierung ist die Erhöhung des Anteils des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen auf 65%. Derzeit liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bei ca. 38%. Um den angestrebten Anteil zu erreichen, muss die installierte Leistung von 2018 bis 2030 entsprechend ausgebaut werden. Diesen Ausbauzie-

len stehen zahlreiche Herausforderungen in der Erschließung von erneuerbaren Ressourcen gegenüber. Herausforderungen bestehen insbesondere in Bezug auf die Ausweisung von Eignungsgebieten sowie die gesellschaftliche Akzeptanzsicherung.

Anhand einer regionalen Betrachtung veranschaulicht das Gutachten sodann die sozio-ökonomische Bedeutung der erneuerbaren Energien mit besonderer Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzungspotenziale der Energiequellen bzw. der zum Einsatz kommenden Technologien. Hierzu vorgestellt werden eine Norddeutsche Region (bestehend aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen) mit Fokus auf Windenergie, eine Mitteldeutsche Region (Hessen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) mit Bioenergienutzung sowie eine Süd-Ostdeutsche Region (Baden-Württemberg, Bayern und Brandenburg), wo eine ausgewiesene Solarenergienutzung stattfindet.

In der Norddeutschen Windregion waren im Jahr 2017 8.100 Unternehmen und 50.000 Erwerbstätige im Bereich der erneuerbaren Energien tätig. Die Bruttowertschöpfung lag 2018 bei etwa 5 Mrd. €. Im Bereich der Windenergie waren 2018 ca. 4.000 Unternehmen und rund 17.900 Erwerbstätige tätig, was etwa einer Verdoppelung gegenüber 2010 entspricht. Trotz des bisher starken Wachstums ist im Hinblick auf die weitere Entwicklung mit Schwankungen zu rechnen. So sind bei einem geringen Ausbau von Windkraftanlagen auch Beschäftigungseinbrüche zu erwarten.

In der Mitteldeutschen Bioenergieregion waren 2017 5.900 Unternehmen und etwa 37.000 Erwerbstätige im Bereich der erneuerbaren Energien tätig. Die Bruttowertschöpfung lag 2018 bei etwa 4,5 Mrd. €. Im Bereich der Bioenergie waren 2018 etwa 2.000 Unternehmen mit rund 7.600 Erwerbstätigen aktiv, was einem leichten Anstieg gegenüber den 5.100 Erwerbstätigen der Branche im Jahre 2010 entspricht. Der größte Unternehmenszuwachs vollzog sich in den Bereichen Betrieb und Wartung.

In der Südostdeutschen Solarregion waren 2017 16.700 Unternehmen und knapp 100.000 Erwerbstätige im Bereich der Erneuerbaren Energien tätig. Die Bruttowertschöpfung lag 2018 bei etwa 11 Mrd. €. Im Bereich der Solarenergie waren 2018 etwa 5.500 Unternehmen mit rund 20.100 Erwerbstätigen aktiv, was weniger als der Hälfte der 2010 aktiven Erwerbstätigen in der Branche entspricht. Zu den Gründen rückläufiger Beschäftigung und Wertschöpfung zählt die Verlagerung der Anlagenproduktion in das Ausland sowie eine abnehmende Installation neuer Anlagen gegenüber den hohen Installationszahlen während der Jahre 2010 bis 2012.

Der Ausbau erneuerbarer Energien sieht sich auch Herausforderungen gegenüber. Dazu gehören Fragen der Volatilität und Versorgungssicherheit ebenso wie die gesellschaftliche Akzeptanz des Ausbaus. Während der Ausbau mehrheitlich grundsätzlich befürwortet wird, variiert diese Befürwortung je nach Art der Technologie und scheint abhängig vom Grad der unmittelbaren Betroffenheit zu sinken. Auch Fragen des Natur- und Artenschutzes sowie Lärm- und Geruchsemissionen führen zu Akzeptanzproblemen.

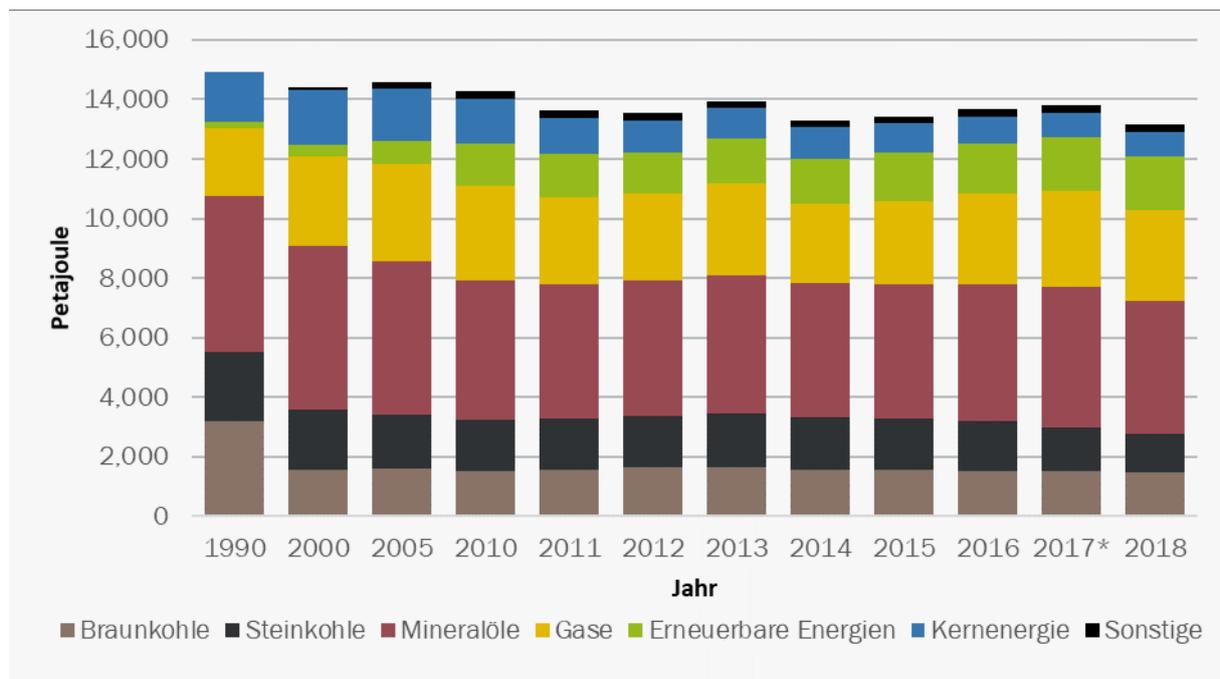
1 Einordnung der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung Deutschlands und Darstellung des Rohstoffbedarfs für EE-Anlagen

1.1 Darstellung des Sachstandes zur aktuellen Bedeutung der erneuerbaren Energien in Deutschland

Die tiefgreifende Transformation des Energiesystems weg von fossil-thermischer hin zu erneuerbarer Strom-, Wärme und Kraftstoffbereitstellung verändert nicht nur die Energieversorgung als solches, sondern hat auch beträchtliche Auswirkungen auf die wirtschaftliche Situation der Branche in Bezug auf den Rohstoffbedarf sowie die Beschäftigung. Die Transformation ist mittelfristig teils anhand internationaler Zielvorgaben (wie z.B. das Pariser Klimaabkommen) festgeschrieben und wird durch staatliche Umlageprogramme und weitere Gesetzgebung gefördert.

Erneuerbare Energien leisten einen großen und wachsenden Anteil an der Energieversorgung in Deutschland. 2018 betrug der Anteil erneuerbarer Energien 14% am gesamten Primärenergieverbrauch. Die bedeutendsten erneuerbaren Energieträger 2017 waren die Bioenergie, Windkraft und Photovoltaik mit Anteilen von 7,1%, 2,8% und 1,1% am gesamten Primärenergieverbrauch. Erneuerbare Energieträger werden sowohl in der Stromerzeugung als auch in der Wärmeerzeugung und dem Verkehrssektor verwendet (AG Energiebilanzen 2019).

Abbildung 1: Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland
1990 bis 2018, in Petajoule

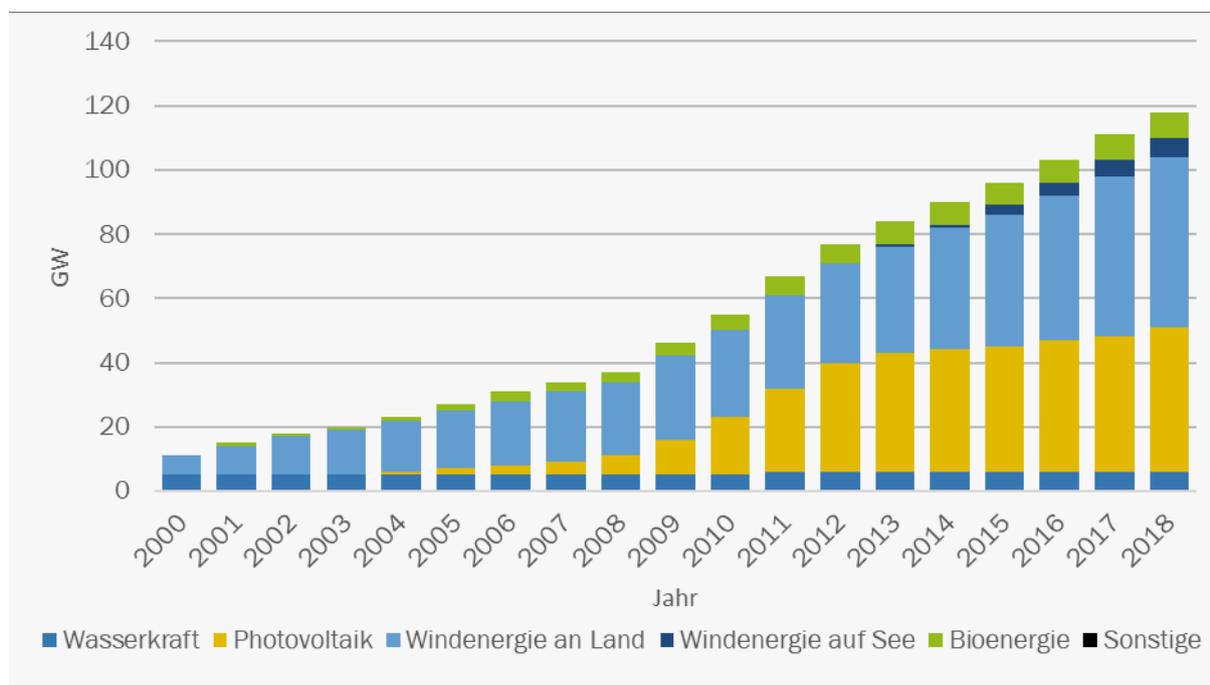


Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: AG Energiebilanzen (2019)

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung lag 2018 bei 226 TWh, der Anteil am inländischen Bruttostromverbrauch stieg gegenüber dem Vorjahr von 36,0 % weiter an und lag bei 37,8%. Bedeutendster Energieträger für die Stromerzeugung war die Windenergie mit einer Bruttostromerzeugung von 111,6 TWh. Die Stromerzeugung aus Biomasse blieb mit 51,3 TWh konstant gegenüber dem Vorjahr. Eine große Steigerung gegenüber dem Vorjahr verbucht dagegen die Photovoltaik mit 46,1 TWh, bedingt durch eine sehr sonnige Witterung im Jahr 2018.

Die installierte Leistung zur Stromerzeugung nahm für Windkraft, Photovoltaik und gasförmige Biomassen gegenüber dem Vorjahr zu und blieb für Wasserkraft sowie feste und flüssige Biomassen in etwa konstant. Die Gesamtleistung von Windkraftanlagen an Land steigerte sich – trotz einer Abschwächung des Zubaus gegenüber den Vorjahren – um etwa 2 GW auf 52,6 GW. Die installierte Leistung von Photovoltaikanlagen steigerte sich um etwa 3 GW auf 45,3 GW.

Abbildung 2: Installierte Leistung erneuerbarer Stromerzeugung
2000 – 2018, in GW



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: BMWi (2019)

Der Endenergieverbrauch im Wärmesektor stagnierte insgesamt gegenüber dem Vorjahr und betrug 2018 170,9 TWh. Da im Jahr 2018 ein leichter Rückgang der fossil-thermischen Wärmeerzeugung zu verzeichnen war, stieg damit der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte auf 13,9 Prozent leicht an. Mit 113,3 TWh wurde die meiste Wärmeenergie mithilfe biogener Festbrennstoffe bereitgestellt. Oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme sowie Biogas lieferten 13,5 bzw. 13,2 TWh Wärmeenergie, gefolgt von biogenen Abfällen (12,7 TWh) und Solarthermie (8,9 TWh).

Der Energiebedarf im Sektor Verkehr wird im Vergleich hierzu zu einem äußerst geringen Maß durch erneuerbare Energien gedeckt, erhöhte sich gegenüber 2017 um 0,4 Prozentpunkte auf

5,6 Prozent. Von den 35 TWh erneuerbaren Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor beliefen sich 2018 22,4 TWh auf Biodiesel, 8,8 TWh auf Bioethanol. 4,3 TWh des Endenergieverbrauchs Verkehr entfallen zudem auf erneuerbaren Strom im Schienen- und Straßenverkehr.

Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energien beliefen sich 2017 auf 16,2 Mrd. Euro und sind somit, mit Ausnahme von 2015, seit 2013 in etwa konstant. Mit 7,8 Mrd. Euro entfiel der größte Anteil der Investitionssumme 2017 auf Windkraftanlagen an Land, gefolgt von 3,2 Mrd. Euro für Windkraftanlagen auf See. Etwa 80% der Investitionen entfielen insgesamt auf Erneuerbare-Energien-Anlagen im Stromsektor (UBA 2019).

Neben den direkten Investitionen entfielen durch den Betrieb der Anlagen, und somit durch die Nachfrage nach Personal, Strom, Ersatzteilen oder Brennstoffen, wirtschaftliche Impulse auf andere Branchen von 16,2 Mrd. Euro im Jahr 2017. Die substantiellsten wirtschaftlichen Impulse werden mit 10,5 Mrd. Euro durch Biomasseanlagen zur Strom-, Wärme-, und Kraftstoffbereitstellung ausgelöst. Doch auch der Betrieb von Windkraft-, Photovoltaik- und Geothermie-Anlagen hat mit 2,1 Mrd. Euro, 1,5 Mrd. Euro bzw. 1,3 Mrd. Euro zu einem bedeutenden wirtschaftlichen Impuls beigetragen (UBA 2019).

Die Transformation des Energiesystems hin zu einer Energieversorgung aus regenerativen Energiequellen beruht nicht nur auf einer Auswechslung der Energieträger zur Strom- und Wärmeversorgung, sondern zieht aufgrund technologischer Umstellungen tiefgreifende Veränderungen des ganzen Energiesystems mit sich. Eine zentrale Eigenschaft des Strommarktes ist es, dass Angebot und Nachfrage sich zu jedem Zeitpunkt decken müssen. Fossil-thermische Kraftwerke können sich weitestgehend nach der Nachfrage richten und Strom nach Bedarf erzeugen. Solare Strahlungsenergie und Windenergie, und somit auch aus ihnen erzeugter Strom, treten witterungsabhängig auf. Aus solch fluktuierenden Quellen erzeugter Strom muss unter anderem durch neue Speicher, durch Netzausbau, durch kurzfristig bereitgestellte Ausgleichs- und Regelenergie sowie flexibilisierte Nachfrage in das System integriert werden. Trotz der gestiegenen Anforderungen an das Energiesystem insgesamt ist laut Monitoringbericht zur Versorgungssicherheit des BMWi (2019) letztere aktuell und perspektivisch gewährleistet.

Darüber hinaus treten im Zuge der Transformation weitere Herausforderungen auf. Da regenerative Stromerzeugungsanlagen kleiner und dezentraler sind als konventionelle Kraftwerke, kommt es im Zuge der Umstellung zu einem größeren Flächenverbrauch durch den Umwandlungssektor und den Energietransport. Insbesondere der Flächenverbrauch von Windkraftanlagen sowie der Eingriff in die Landschaftsästhetik führen in einigen Regionen zu Akzeptanzproblemen der Bevölkerung (Agora Energiewende, 2018). Auch das Errichten von Freiflächen-PV-Anlagen oder der Anbau von Bioenergiepflanzen führen zu Flächenkonkurrenzen mit anderen Arten der Flächennutzung.

Die aus erneuerbaren Energien resultierende Beschäftigung belief sich im Jahr 2016 auf 338.500 Personen. Im Bundesdurchschnitt waren etwa 8,6 von 1000 Beschäftigten in der Branche tätig. Regional ist die Bedeutung der Branche für den Arbeitsmarkt sehr unterschiedlich und schwankt zwischen 27 von 1000 Beschäftigten in Sachsen-Anhalt und 4,8 von 1000 Beschäftigten im Saarland. Von den insgesamt Beschäftigten entfielen rund 194.200 auf die Produktion und Installation neuer Anlagen. 75.500 Beschäftigte entfielen auf Betrieb und Wartung sowie

68.900 auf die Brenn- und Kraftstoffbereitstellung.² Während diese Werte sich auf die gesamte Wertschöpfungskette einschließlich der induzierten Beschäftigungseffekte der erneuerbaren Energien beziehen, werden im Kapitel 2 für eine detaillierte Betrachtung auf Basis aktueller amtlicher Statistiken nur die der Wertschöpfungskette der erneuerbaren Energien vorgelagerten bzw. nachgelagerten Leistungen betrachtet (siehe Abbildung 15).

Der durch die Energiewende angestoßene Strukturwandel geht mit einem Rückgang der Beschäftigung in der konventionellen Energiewirtschaft einher. Nach einer Untersuchung von GWS, Prognos AG, FHG ISI, DIW (2018) fallen die Beschäftigungswirkungen für den Sektor „Bergbau und Energieversorgung“ negativ aus. Zwischen 2000 und 2015 fiel die Entwicklung dort auf Grund der Energiewende um 2,3 % schlechter aus. Demgegenüber treten im Baugewerbe, im verarbeitenden Gewerbe und bei den Dienstleistungen positive Beschäftigungseffekte auf. Die Nettobeschäftigungswirkung der Energiewende fällt insgesamt positiv aus.

Für die zukünftige Entwicklung der erneuerbaren Energien wird im Rahmen dieses Projektes auf den aktuellen Szenariorahmen des Netzentwicklungsplans 2030 der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) zurückgegriffen. Der nachfolgenden Infobox können dazu detaillierte Informationen entnommen werden:

i

Szenarioauswahl für die zukünftige Entwicklung der erneuerbaren Energien

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist wesentlicher Teil der deutschen Energiepolitik und hat mit Blick auf die Klimaschutzziele 2030 eine besondere Relevanz. Die Förderung von Strom aus erneuerbaren Energien hat den positiven Nebeneffekt, dass auch der Wärme- und Verkehrssektor dekarbonisiert werden können (Power-to-x). Die Übertragungsnetzbetreiber zeigen in ihrem Entwurf des sechsten Netzentwicklungsplans (2019) den künftigen Ausbaubedarf des deutschen Stromnetzes auf. Der Netzentwicklungsplan 2019-2030 sieht drei verschiedene Szenarien A, B und C vor. In allen Szenarien sollen die erneuerbaren Energien bis 2030 mindestens einen Anteil von 65% an der Stromerzeugung erlangen. Der Unterschied liegt maßgeblich in der Zusammensetzung der Energiequellen aus PV, Onshore-Wind und Offshore-Wind.

- Dem Szenario A wird ein relativ hoher Anteil von konventionellen Energieträgern an der Stromerzeugung und eine Konzentration auf Offshore-Wind bei den erneuerbaren Energien zugrunde gelegt.
- Das Szenario B setzt auf einen ausgewogenen Ausbau der erneuerbaren Energien.
- In Szenario C wird am wenigsten Strom aus konventionellen Kraftwerken eingespeist und es wird ein starker Ausbau der Erneuerbaren mit Konzentration auf Photovoltaik-Anlagen angenommen.

Die Szenarien bilden eine mögliche Entwicklung des Stromsystems unter Berücksichtigung politischer, technologischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen ab, die zur

² GWS, DLR und DIW Berlin (2018), Ökonomische Indikatoren des Energiesystems: Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000 -2016, GWS Research Report 2018/01,

https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-und-energiewirtschaftliche-gesamtrechnung.pdf?__blob=publicationFile&v=18

bedarfsgerechten Dimensionierung des Stromnetzes im Rahmen der Netzplanung dient. Sie berücksichtigen als politische Rahmenbedingung etwa das im Koalitionsvertrag 2018 festgeschriebene Ziel eines Anteils von 65% des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien. Ferner sind auch die im Klimaschutzplan 2050 festgehaltenen sektorspezifischen CO₂-Reduktionsziele der Bundesregierung in den Szenarien berücksichtigt. Darüber hinaus enthalten die Szenarien Annahmen zur zukünftigen Entwicklung des regional und zeitlich aufgelösten Stromverbrauchs sowie zu technologischen Entwicklungen von Stromerzeugungsanlagen. Für eine genaue Beschreibung der in den Szenarien enthaltenen Annahmen wird auf den Netzentwicklungsplan Strom 2019 verwiesen.

Als Referenzszenario wird in dieser Studie auf das (mittlere) Szenario B zurückgegriffen. In Szenario B 2030 steigt die Stromnachfrage bis 2030 gegenüber 2018 insgesamt leicht an. Während die herkömmliche Stromnachfrage über den Zeitverlauf aufgrund von Effizienzgewinnen abnimmt, wird durch die zunehmende Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Verkehr, in Form von Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung in Gebäuden und Elektromobilität, eine zusätzliche Stromnachfrage geschaffen. Eine weitere Nachfrage nach Strom entsteht bis 2030 über Power-to-Gas Anwendungen. Insgesamt beträgt der Bruttostromverbrauch im Szenario B im Jahr 2030 rund 590 TWh.

1.2 Beschreibung der aktuellen Bedeutung der erneuerbaren Energien für den Rohstoffbedarf

Bei der Analyse der Rohstoffbedarfe für die Energiewende sind diejenigen Rohstoffe von besonderer Bedeutung, die für die Herstellung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen benötigt werden. Weitere wichtige Technologien, die bereits heute und verstärkt in der Zukunft relevant sind, sind Lithium-Ionen-Batterien für stationäre Stromspeicher und vor allem elektrisch angetriebene Fahrzeuge (PKW, Busse usw.). Die Ausführungen zu den Rohstoffbedarfen für die erneuerbaren Energien in dieser Studie konzentrieren sich daher in erster Linie auf diese Technologien.

Neben Baurohstoffen und Basismetallen sind vor allem bestimmte Technologiemetalle von strategischer Relevanz. Für Windkraftanlagen (WKA) sind neben Stahl, Aluminium und Kupfer sowie Beton für das Fundament bei WKA mit getriebelosem Direktantrieb insbesondere die Seltenen Erden Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium in den Permanentmagneten wichtig. Für die verschiedenen Typen von Photovoltaikanlagen stehen neben Kupfer und Silizium die Technologiemetalle Indium, Gallium und Selen im Fokus. Lithium-Ionen-Batterien beinhalten insbesondere die strategischen Rohstoffe Kobalt, Nickel und Lithium.

In den nachfolgenden Unterabschnitten sind die Ausführungen zu den Rohstoffen zunächst unterteilt in die Kategorien Baurohstoffe (überwiegend nationale bzw. regionale Rohstoffversorgung) sowie Basismetalle (Rohstoffversorgung überwiegend außerhalb EU-28) und Technologiemetalle (Rohstoffversorgung ganz überwiegend außerhalb EU-28).

1.2.1 Baurohstoffe

Bei den Baurohstoffen sind besonders Rohstoffe für die Herstellung von Beton von großer Bedeutung. Beton findet im Rahmen der Energiewende vor allem Anwendung für die Fundamente und Türme von Windkraftanlagen. Für einen Kubikmeter Normalbeton werden z.B. 292 kg Zement und 1.916 kg Gesteinskörnung (üblicherweise Kies und Sand) benötigt (Beton 2017), d.h. auf 1 t Beton entfallen rund 868 kg Kies/Sand sowie 132 kg Zement. Obgleich in Deutschland Kies und Sand in vielen und großen geologischen Lagerstätten verfügbar ist, hat es in den letzten Jahren in einigen Regionen erste Verknappungen und lokale Preissteigerungen für diese Rohstoffe gegeben (Elsner 2018). Gründe sind Nutzungskonkurrenzen (mit Landwirtschaft, Naturschutz, Naherholung, Siedlungs- und Verkehrsfläche) und v.a. immer längere Genehmigungsverfahren sowie fehlendes Interesse von Grundstückseigentümern, Rohstoffflächen zur Verfügung zu stellen.

Für eine Windkraftanlage mit 2,3 MW Leistung wird in der Literatur ein Betonbedarf von 1.744 t angegeben (UBA 2016), d.h. ca. 760 t/MW. Nach einer überschlägigen Hochrechnung³ errechnet sich daraus ein Betonbedarf für die im Jahr 2018 neu installierten Windkraftanlagen in Deutschland (2.402 MW onshore nach BWE 2019) von 1,8 Mio. t. Im Vergleich dazu betrug im Jahr 2017 die Produktion allein von Transportbeton (BTB 2018) in Deutschland 52 Mio. m³ oder ca. 115 Mio. t Transportbeton. In Deutschland wurden insgesamt 247 Mio. t Bausand und -kies im Jahr 2016 gewonnen (Elsner 2018).

Windkraftanlagen⁴ haben demnach im Vergleich zum Gesamtbedarf in Deutschland keine marginale, jedoch auch keine überragende Bedeutung für die Nachfrage nach Beton und dessen Rohstoffe Kies, Sand und Zement. Vielmehr spielen die Nachfrage für den Wohnungs- und Nichtwohnungsbau sowie für den übrigen Tief- und Ingenieurbau (z.B. Brücken) die entscheidende Rolle für die Gesamtnachfrage bei diesen Rohstoffen.

1.2.2 Basismetalle

Stahl und Aluminium

Stahl und Aluminium sind die beiden Metalle, welche die weltweit absolut größte Nachfrage und Produktion verzeichnen. Die weltweite Rohstahlproduktion lag 2018 bei 1,808 Mrd. t (World Steel 2019). Allein in Deutschland werden rund 40 Mio. t Stahl pro Jahr nachgefragt (OEKO 2017); die Produktion in Deutschland liegt in vergleichbarer Größenordnung (42,4 Mio. t Rohstahl im Jahr 2018 nach World Steel 2019). In Deutschland sind davon rund 44% Sekundärstahl (BGR 2018), im globalen Mittel etwas weniger (BDSV 2019). Haupteinsatzgebiete von Stahl in Deutschland sind nach (BGR 2015) das Baugewerbe (31%), die Automobilindustrie (26%), der Maschinenbau (12%), die Metallwarenherstellung (12%) sowie die Rohrerstellung (10%).

Stahl wird in unterschiedlichen Qualitäten (von unlegierten Stählen bis zu hochlegierten Edelstählen) in vielen Anlagen als Baumaterial eingesetzt, so auch in Windkraft- und Photovoltaikanlagen, in Stromleitungen und in Biogasanlagen. Allerdings kann vorausgesetzt werden, dass die durch die Energiewende hervorgerufene Stahlnachfrage im Vergleich zur Gesamtnachfrage nach Stahl

³ Der konkrete Betonbedarf einer jeweiligen Windkraftanlage hängt neben der Leistung zusätzlich von der Art des Turmaufbaus usw. ab.

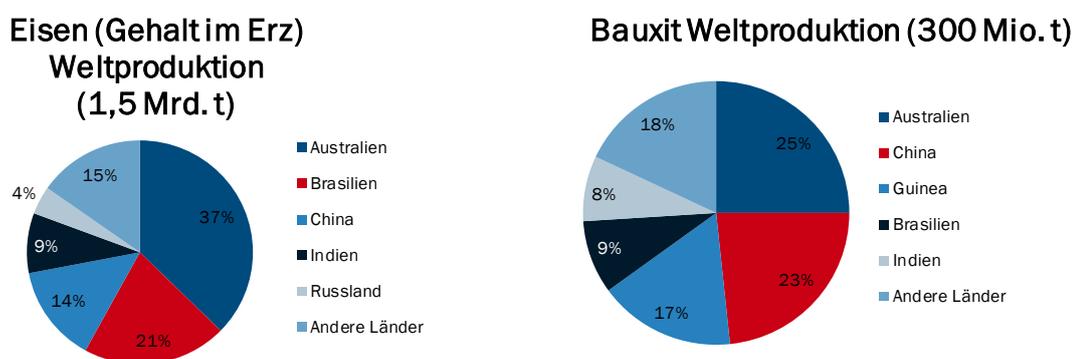
⁴ Hinweis: auch für den Bau konventioneller Kraftwerke wie Braun- und Steinkohlekraftwerke oder Kernkraftwerke waren in der Vergangenheit nennenswerte Mengen Beton notwendig.

in Deutschland von untergeordneter Bedeutung ist. Stahl spielte und spielt auch unabhängig von der Energiewende eine zentrale Rolle in der Energiewirtschaft – z.B. für Freileitungsmasten.

Die weltweite Produktion von Aluminium wird für das Jahr 2017 mit rund 75 Mio. t angegeben, davon entfallen rund 21,6% auf Sekundäraluminium (GDA 2019a). In Deutschland wurden im Jahr 2018 1,29 Mio. t Aluminium produziert, davon waren 59% Sekundäraluminium (GDA 2019a). Allerdings wird der Bedarf für Deutschland mit 3 Mio. t für das Jahr 2018 angegeben. Von dieser Menge wird jedoch ein nicht unbeträchtlicher Teil in Form von Halbzeugen und Gütern (z.B. PKW) wieder exportiert. Der GDA gibt als dominante Absatzmärkte für die deutsche Aluminiumindustrie den Verkehrssektor mit 48%, das Bauwesen mit 15%, den Verpackungssektor mit 10% sowie den Maschinenbau und die Elektrotechnik mit jeweils 7% an (GDA 2019a).

Aluminium findet breite Anwendung in Anlagen, unter anderem in Windkraftanlagen und auch in den im Rahmen der Energiewende neu zu errichtenden Stromleitungen. Ein besonders deutlicher weiterer Nachfrageschub für Aluminium zeichnet sich jedoch vor allem im Verkehrssektor ab. Aufgrund seiner geringen Dichte wird Aluminium z.B. zunehmend in PKW-Komponenten eingesetzt (nicht zuletzt zur Gewichts- und Kraftstoffeinsparung). So ist nach Angaben des GDA (GDA 2019b) der Aluminiumanteil in PKW europäischer Herstellung zwischen 1978 und 2015 von 32 kg auf 160 kg gestiegen. Durch die Elektromobilität wird die Aluminiumnachfrage weiter ansteigen, da Aluminium wichtig für Komponenten der Lithium-Ionen-Batterien (Batteriegehäuse, Modulgehäuse, Zellohüllen, Bestandteil der Kathoden: siehe Diekmann et al. 2017), der Leistungselektronik (Schüler et al. 2017) und der Elektromotoren (Bast et al. 2015) in Elektrofahrzeugen ist. In Abschnitt 1.3 wird auf diesen wichtigen Trend weiter eingegangen.

Abbildung 3: Hauptförderländer 2018 für Eisen (Gehalt im Erz) und Bauxit



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

In der obigen Abbildung sind die Hauptförderländer für Eisenerz sowie Bauxit (Rohstoff für Aluminium) dargestellt. Australien (37%) ist das Hauptförderland für Eisenerz, gefolgt von Brasilien (21%) und China (14%). In Europa ist Schweden bzgl. Eisenerzförderung relevant.

Die Hauptförderländer für Bauxit sind Australien (25%), China (23%), Guinea (17%) und Brasilien (9%).

Kupfer und Nickel

Kupfer wird in vielfältigen Anwendungen im Elektronik- und Maschinenbereich eingesetzt. In der folgenden Tabelle ist der Kupferbedarf für PV- und Windkraftanlagen im Jahr 2013 in Deutschland aufgeführt (OEKO/IZT 2019):

Tabelle 2: Kupferbedarf für PV- und Windkraftanlagen in Deutschland 2013

Technologie	Kupferbedarf 2013 in t (Daten gerundet)	Neu-installierte Leistung in MW (2013)
Dickschicht-PV	2.000	3.201
WKA (alle Typen gesamt)	9.200	5.187
Gesamt PV und WKA	11.200	8.388

Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (OEKO/IZT 2019)

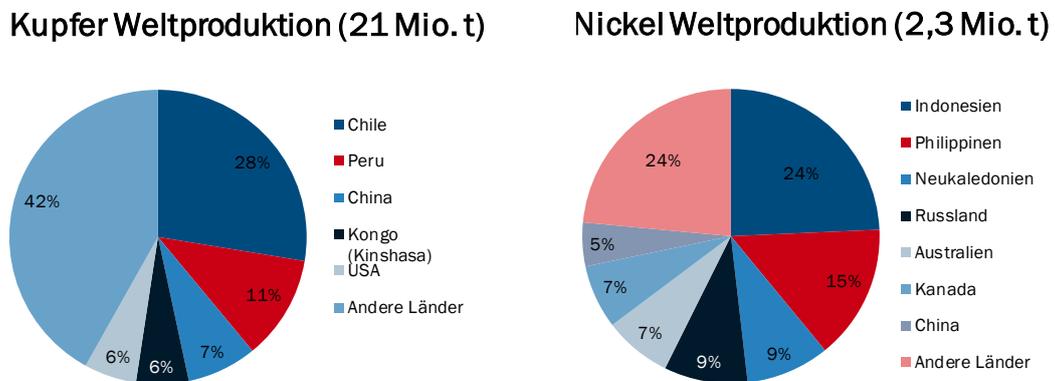
Neben dem Bedarf an Kupfer für Windkraftanlagen und PV von rund 11.200 t (siehe obige Tabelle), lässt gerade auch die Elektromobilität den Kupferbedarf in Deutschland ansteigen: Kupfer ist wichtiger Bestandteil in den Schlüsselkomponenten Lithium-Ionen-Batterien, Elektromotoren und Leistungselektronik. In Abschnitt 1.3 wird auf diese Aspekte weiter eingegangen. Kupfer dürfte aufgrund der Energiewende deutliche Nachfrageimpulse erfahren.⁵

Nickel findet vor allem in verschiedenen Legierungen (Edelstählen) Anwendung. Von stark steigender Relevanz ist der Nickelbedarf für Lithium-Ionen-Batterien. Aus (OEKO 2019) kann für das Jahr 2016 ein Nickelbedarf von rund 1.050 t für die Batterien neu zugelassener Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV, HEV, Pedelecs) abgeleitet werden.⁶ Dies ist angesichts der Weltproduktion (siehe folgende Abbildung) noch recht unbedeutend. Da die Elektromobilität jedoch mittel- und langfristige eine erheblich größere Bedeutung erhalten wird, wird hierauf in Abschnitt 1.3 besonders eingegangen.

⁵ An dieser Stelle sei betont, dass ein noch deutlich größerer Nachfrageschub für Kupfer aus dem Netzausbau resultiert. Rohstoffe für den Netzausbau sind jedoch nicht Gegenstand dieser Studie.

⁶ Aus (OEKO 2019) liegen detaillierte Daten für die Globale Elektromobilität (Startjahr 2016) vor. Für Deutschland wurde der Nickelbedarf unter einfacher Annahme eines 5%-Anteils geschätzt.

Abbildung 4: Hauptförderländer 2018 (Minenproduktion) für Kupfer und Nickel



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Kupfererz wird an erster Stelle in Chile gewonnen (28%), danach folgen Peru (11%), China (7%) sowie die DR Kongo und die USA mit jeweils 6%. Der hohe Anteil der übrigen Länder (42%) zeigt, dass die weiteren Förderländer stark gestreut sind. In Europa wird z.B. in Polen, Spanien und Bulgarien Kupfererz gewonnen. Hervorzuheben ist die gute Recyclingfähigkeit von Kupfer; zudem wird bei der Kupferraffination eine Reihe von Technologiemetallen (siehe weiter unten z.B. zu Selen) gewonnen.

Die Minenproduktion von Nickel von 2,3 Mio. t im Jahr 2018 verteilt sich zu 24 % auf Indonesien, zu 15 % auf die Philippinen, zu 9 % auf Neukaledonien, zu 9 % auf Russland und zu jeweils 7 % auf Australien und Kanada (USGS 2019). Auch im Falle von Nickel zeigt sich eine recht breite Streuung der Förderländer (siehe Abbildung oben).

1.2.3 Technologiemetalle

Einige Technologiemetalle sind essenziell für eine Reihe von Schlüsseltechnologien der Energiewende. Im Unterschied zu den Basismetallen, die global mindestens mit mehreren Millionen t (im Falle von Stahl deutlich mehr als eine Milliarde t pro Jahr) produziert werden und ganz überwiegend für Anwendungen außerhalb der eigentlichen Energiewende Verwendung finden (z.B. für den Bau von Gebäuden), ist die Versorgung Deutschlands bzw. der EU mit einzelnen Technologiemetallen wie z.B. Seltenen Erden aufgrund kurzfristiger Lieferengpässe immer wieder Gegenstand von politischen Strategien, F+E-Programmen und entsprechenden Studien (vgl. z.B. DERA 2016, EC 2017, WD 2018, OEKO/IZT 2019, OEKO 2019). Folgende Technologiemetalle spielen bei den hier betrachteten Technologien für die Energiewende (PV- und Windkraftanlagen, Lithium-Ionen-Batterien) aktuell bereits eine wichtige Rolle bzw. werden in diesem Bericht in den Fokus genommen.

Tabelle 3: Wichtige Technologiemetalle für die Energiewende

Technologiemetall	Wesentliche Technologien	Bedarf in t	Bezugsjahr (Quelle)
Gallium (Ga)	Dünnschicht-PV	0,18	2013 (OEKO/IZT 2019)
Indium (In)	Dünnschicht-PV, Dickschicht-PV	14	2013 (OEKO/IZT 2019)
Kobalt (Co)	Lithium-Ionen Batterien (E-Mobilität und stationäre Speicher)	1.000	2016 (abgeleitet nach OEKO 2019)
Lithium (Li)	Lithium-Ionen Batterien (E-Mobilität und stationäre Speicher)	500	2016 (abgeleitet nach OEKO 2019)
Neodym (Nd)	Permanent erregte Windkraftanlagen (getriebe- los), Elektromotoren HEV, PHEV, BEV, Pedelecs	74	2013 (OEKO/IZT 2019)
Dysprosium (Dy)	Permanent erregte Windkraftanlagen (getriebe- los), Elektromotoren HEV, PHEV, BEV, Pedelecs	7,5	2013 (OEKO/IZT 2019)
Selen (Se)	Dünnschicht-PV	1	2013 (OEKO/IZT 2019)
Silizium (Si)	Dickschicht-PV (Dünnschicht-PV)	19.200	2013 (OEKO/IZT 2019)

In voranstehender Tabelle 3 sind die wesentlichen Anwendungen der Technologiemetalle im Rahmen der Energiewende und ihr jährlicher Bedarf in Deutschland für Referenzjahre dargestellt. Beim Vergleich der Tonnagen müssen unbedingt die jeweiligen Weltproduktionen und Reserven in natürlichen Lagerstätten berücksichtigt werden (siehe nachfolgende Abbildungen). Von der Mengenrelevanz stechen vor allem Silizium (in erster Linie für Dickschicht-PV) mit 19.200 t/Jahr sowie die Batterierohstoffe Kobalt und Lithium hervor.⁷

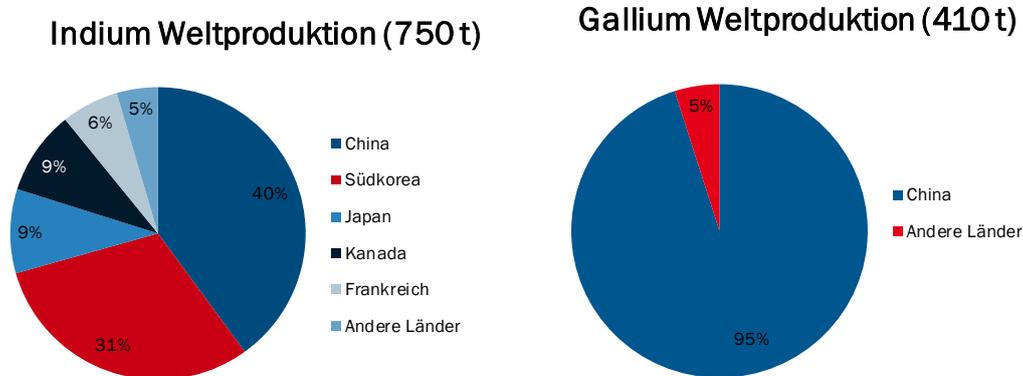
Die Seltenerdmetalle Neodym und Dysprosium, die essenziell für Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagnete und damit für permanent erregte Synchronmotoren (für entsprechende Varianten von Windkraftanlagen und BEV; PHEV, HEV, Pedelecs) sind, weisen bei deren Herstellung einen Bedarf von 7,4 bzw. 7,5 t⁸ auf. Indium kommt auf einen Einsatz von 14 t für Dickschicht- und Dünnschicht-PV. Gallium und Selen spielen bei den betrachteten Technologien nur bei Dünnschicht-PV eine Rolle. Letztere war 2013 jedoch nur für einen Wert von 99,1 MW neu installierter Leistung in Deutschland verantwortlich (OEKO/IZT 2019).

In den folgenden Tortendiagrammen sind die Hauptförderländer der betrachteten Technologiemetalle dargestellt.

⁷ Der Kobalt- und Lithiumbedarf für E-Fahrzeuge in Deutschland wurde analog zu Nickel unter Annahme eines 5%-Anteils am globalen Bedarf (OEKO 2019) geschätzt.

⁸ Der Dysprosiumbedarf ist hier im Vergleich zum Neodymbedarf vergleichsweise niedrig, da Pedelecmotoren und Windkraftanlagen, die nur einen relativ geringen Dysprosiumgehalt aufweisen, im Bezugsjahr 2013 den wesentlichen Beitrag zur Nachfrage lieferten.

Abbildung 5: Hauptproduktionsländer 2018 für Indium (Raffinierte Produktion) und Gallium (Primärproduktion)



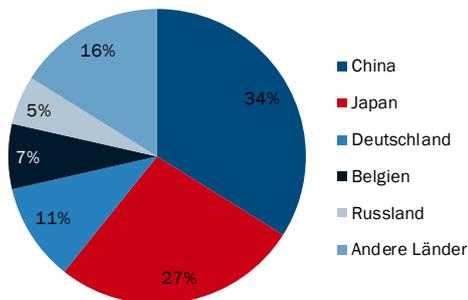
Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Indium kommt überwiegend vergesellschaftet in Zinkerzen in sehr geringer Konzentration (< 1 – 100 PPM) vor (USGS 2019). Hauptproduktionsländer (in 2018: 750 t) sind China (40%), Südkorea (31%) sowie Japan und Kanada mit je 9%. Aber auch in Frankreich und in Belgien werden relevante Mengen Indium hergestellt (USGS 2019).

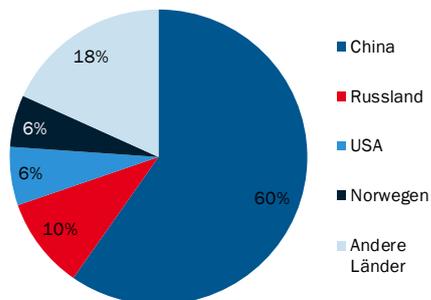
Gallium wird als Begleitelement überwiegend aus Bauxit (90%) und aus Zinkblende (10%) gewonnen (DERA 2018). Bei Gallium hat China im Laufe der letzten Jahre durch Erweiterung der Kapazitäten ständig Marktanteile gewonnen (DERA 2018) und zuletzt einen Anteil von 95% (USGS 2019) erzielt. Allerdings werden auch aus Neuschrotten, die Gallium enthalten, große Mengen Gallium (128 t in 2015) recycelt. Dies geschieht in einer Reihe von Ländern – in der EU z.B. in Deutschland, UK und der Slowakei (DERA 2018). Wichtig ist zu erwähnen, dass die Potenziale einer Galliumgewinnung aus Bauxit global bislang nur in geringem Maße ausgeschöpft werden, d.h. eine deutlich höhere Nachfrage könnte durch eine entsprechende Steigerung befriedigt werden (DERA 2018).

Abbildung 6: Hauptproduktionsländer 2018 für Selen (Raffinierte Produktion) und Silizium

Selen Weltproduktion (2.800 t)



Silizium Weltproduktion (6,7 Mio. t)

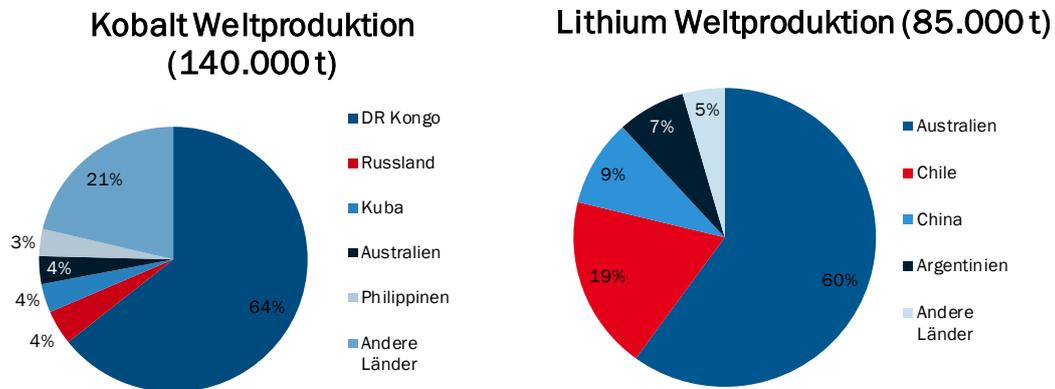


Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Der Bedarf an Selen für Dünnschicht-PV-Zubau in Deutschland im Jahr 2013 betrug rund 1 t (OEKO/IZT 2019). Dies ist fast vernachlässigbar im Vergleich zur globalen Selenproduktion von 2.800 t in 2018 (USGS 2019). Selen kommt in natürlichen Lagerstätten vor allem als Begleitelement von Kupfererz vor und wird bei der elektrolytischen Raffination von Kupfer als Nebenprodukt gewonnen. Größter Produzent ist China (34%) gefolgt von Japan (27%) sowie Deutschland (11%) und Belgien (7%). Da Kupferraffination in Ländern wie Deutschland und Belgien eine große Rolle spielt, werden in diesen EU-Ländern allein 300 t bzw. 200 t Selen produziert. Aber auch andere EU-Länder wie Finnland, Polen und Schweden verfügen über eine relevante Selenproduktion (USGS 2019). Daher erscheint die Versorgungssituation Deutschlands sowie der EU im Falle von Selen vergleichsweise gesichert.

Die Weltproduktion an Silizium betrug 2018 6,7 Mio. t. Außerhalb der USA entfielen 62% der Siliziumproduktion auf Ferrosilizium (USGS 2019). Die Rohstoffversorgung (Quarzsand) stellt kein Problem dar; mehrere europäische Länder wie Norwegen, Frankreich oder Spanien produzieren relevante Mengen an Silizium (USGS 2019).

Abbildung 7: Hauptförderländer 2018 (Minenproduktion) für Kobalt und Lithium



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

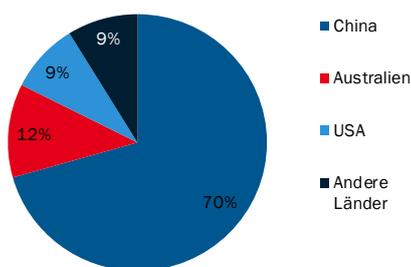
Auf die Weltproduktion (Minenproduktion) von 140.000 t Kobalt im Jahr 2018 entfallen 64 % auf die DR Kongo (USGS 2019). Die übrige Minenproduktion ist über eine Reihe weiterer Länder breit gestreut (siehe oben).

Hinsichtlich der Förderländer von Lithium⁹ zeigt in den letzten Jahren Australien die stärkste Dynamik und hat mit 60% der Weltproduktion Chile (19%), China (9%) und Argentinien (7%) weit hinter sich gelassen (USGS 2019).

⁹ Lithium kommt in der Natur in Form von Salzen oder in Mineralien vor. Es wird üblicherweise aus den natürlichen Vorkommen in Form von Salzen (Lithiumcarbonat, Lithiumhydroxid etc.) gewonnen. Wenn in dieser Publikation von Lithium gesprochen wird, so ist der Lithiumgehalt in entsprechenden Vorkommen bzw. Produkten gemeint. Aufgrund seiner hohen Reaktivität wird Lithium ganz überwiegend nicht als Metall, sondern in Form von Lithiumsalzen gehandelt. Eine häufig zu findende statistische Einheit ist das Lithiumcarbonat-Äquivalent.

Abbildung 8: Hauptförderländer 2018 (Minenproduktion) für Seltene Erden (als Seltenerdoxid-Äquivalente)

**Seltene Erden (Weltproduktion
170.000 t)**



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Die Weltproduktion an Seltenen Erden lag 2018 bei 170.000 t, davon entfielen auf China 70%. Allerdings beinhalten die Daten für China nicht die im Land illegal abgebauten Mengen, die offensichtlich immer noch beträchtlich sind, jedoch mittlerweile von der Regierung durch Gegenmaßnahmen deutlich reduziert wurden (USGS 2019). Weitere wichtige Förderländer sind Australien (12%) und die USA (9%). Unter dem Begriff Seltene Erden werden insgesamt 17 Elemente zusammengefasst, die jedoch in sehr unterschiedlichen Konzentrationen in den Lagerstätten gefunden werden (OEKO 2011). Für die Energiewende sind nicht zuletzt die Seltenen Erden Neodym und Dysprosium (siehe Tabelle 3) sowie Praseodym und Terbium interessant, da sie mit ihren Eigenschaften für Permanentmagnete essenziell sind, die für unterschiedlichste Elektromotoren bzw. Generatoren wichtige Komponenten darstellen.

Neodym und Praseodym zählen zu den Leichten Seltenen Erden, diese finden sich in fast allen Vorkommen weltweit. Terbium und Dysprosium zählen zu den Schweren Seltenen Erden. Diese beiden Elemente sind für eine höhere Temperaturstabilität der Permanentmagneten sehr wichtig (Bast et al. 2015). Da Schwere Seltene Erden ausschließlich in China weiterverarbeitet werden und tendenziell teurer sind, wurden von der Industrie in den letzten Jahren erfolgreich Anstrengungen unternommen, den Gehalt an Schweren Seltenen Erden in den Permanentmagneten durch Innovationen aus der Materialforschung deutlich zu reduzieren (OEKO/IZT 2019).

1.3 Prägnante Darstellung der durch die Klimaschutzziele absehbaren Änderungen des Rohstoffbedarfs bis 2030

Für die mittelfristige Perspektive (2030) wird hier auf das aktuelle Szenario B des Netzentwicklungsplans Strom der Übertragungsbetreiber zurückgegriffen.¹⁰ Nachfolgende Tabelle zeigt ausgehend vom Referenzjahr 2017 für die Bereiche regenerative Erzeugung elektrischer Energie (Wind onshore, Photovoltaik) sowie Elektroautos und stationäre Batteriespeicher die Zielwerte für das Jahr 2030 nach Szenario B. In der 2. Spalte von rechts sind die jeweiligen Zuwächse (Aus-

¹⁰ Eine Ausführliche Darstellung des Szenarios findet sich in Kapitel 1.1.

bau) zwischen 2018 und 2030 kumuliert dargestellt und in der rechten Spalte der durchschnittliche Ausbau pro Jahr.¹¹ Es ist darauf hinzuweisen, dass das Ausbauziel für die Erneuerbaren auch mit anderen Kombinationen der aufgeführten Technologien erreichbar ist. Das Szenario B des Netzentwicklungsplans ist insoweit nur eine von vielen Möglichkeiten der Zielerreichung.

Tabelle 4: Ausgewählte Daten aus Netzentwicklungsplan 2019 (Szenario B 2030)

Regenerative Erzeugung elektrische Energie*	Referenz 2017	Szenario B 2030	Ausbau 2018 – 2030 nach Szenario B 2030	Ausbau pro Jahr (Durchschnitt)
Wind onshore (GW)	50,5	81,5	31,0	2,38
Photovoltaik (GW)	42,4	91,3	48,9	3,76
Elektroautos (Mio.)	0,1	6,0	5,9	0,45
PV-Batteriespeicher (GW)	0,3	8,0	7,7	0,59
Großbatteriespeicher (GW)	0,1	2,0	1,9	0,15

* Nur ausgewählte regenerative Energiequellen; Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (NEP 2019)

Aufbauend auf den Daten der voranstehenden Tabelle 4 werden in den nachfolgenden Unterabschnitten – soweit möglich und relevant – quantitative Einschätzungen für den Bedarf ausgewählter Rohstoffe (vgl. Abschnitt 1.2) bis 2030 nach dem Szenario B gegeben.

1.3.1 Baurohstoffe

Wie in Abschnitt 1.2 ausgeführt, sind im Rahmen der Energiewende in erster Linie die mit dem Bau von Windkraftanlagen einhergehenden Rohstoffbedarfe an Kies, Sand und Zement relevant, die für den Beton der Fundamente und Türme benötigt werden. Ausgehend von der Bedarfsrechnung für das Jahr 2018 (2.402 MW onshore) errechnet sich für den Zeitraum ab 2018 bis 2030 ein kumulierter Betonbedarf für die Errichtung weiterer Windkraftanlagen von rund 23 Mio. t. Dies ergibt einen Durchschnittswert von rund 1,8 Mio. t/a (ca. wie 2018).

Dieser Bedarf an Beton und den damit verbundenen Rohstoffen Kies, Sand und Zement für den Ausbau der Windkraft ist keinesfalls marginal. Allerdings bestehen in den anderen Verbrauchsbereichen für Beton (Wohnungs- und Nichtwohnungsbau, Tiefbau und Ingenieurbau) erheblich größere jährliche Bedarfsnachfragen. Sowohl die jährlichen Verbrauchsschwankungen in diesen anderen Bereichen als auch dort mögliche Einsparpotentiale für Beton und die im Zuge dessen nachgefragten Primärbaustoffe (vgl. hierzu im Detail OEKO 2017) übersteigen den jährlichen Betonbedarf für den Ausbau der Windkraft erheblich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass vor dem Hintergrund der am Gesamtbedarf heimischer Baurohstoffe gemessen überschaubaren Nachfragezuwächse, die durch die Energiewende hervorgerufen werden, mittelfristig (bis 2030) und auch langfristig (bis 2050) kein entscheidender Einfluss der Energiewende auf die Nachfrage nach Baurohstoffen zu erwarten ist.

¹¹ Dieser Wert ist nur als Orientierungsgröße zu verstehen, so wird z.B. die jährliche Zahl neuer Elektroautos nicht konstant bleiben, sondern bis 2030 immer weiter ansteigen.

1.3.2 Basismetalle

Wie in Abschnitt 1.2 bereits angemerkt, werden im Rahmen der Energiewende nicht zuletzt die Elektromobilität und hier nicht zuletzt Elektroautos deutliche Nachfrageimpulse für Aluminium und Kupfer setzen. In der nachfolgenden Tabelle sind auf Basis des Szenario B (siehe obige Tabelle 4) die Bedarfe an Aluminium und Kupfer für zusätzliche 5,9 Mio. Elektroautos aufgeführt.

Tabelle 5: Kupfer- und Aluminiumbedarf für Schlüsselkomponenten von Elektroautos nach Szenario B 2030

Metall (Komponente)	Bedarf 2018 – 2030 kumuliert in t	Rechnerischer Bedarf in t/a (Durchschnitt)
Kupfer (Lithium-Ionen-Batterie)	283.000	21.700
Kupfer (Elektromotor)	114.000	8.800
Kupfer (Leistungselektronik)	11.000	800
Kupfer (gesamt)	408.000	31.500
Aluminium (Lithium-Ionen-Batterie)	821.000	63.200
Aluminium (Elektromotor)	83.000	6.400
Aluminium (Leistungselektronik)	51.000	3.900
Aluminium (gesamt)	955.000	73.500

Quelle: Eigene Berechnungen nach (OEKO 2019, Diekmann et al. 2017, Schüler et al 2017, Bast et al. 2015 und Optum 2011)

Kupfer und Aluminium verzeichnen anhand der Nachfrage für die Produktion der Elektroautos einen merklichen Nachfrageschub. Für die drei in der Tabelle 5 aufgeführten Komponenten der Elektroautos allein ergibt sich zwischen 2018 und 2030 ein Bedarf an Kupfer von 408.000 t und an Aluminium von 955.000 t. Der jährliche Bedarf liegt rechnerisch im Durchschnitt bei 31.500 t/a Kupfer und 73.500 t/a Aluminium.

Allerdings wird die Anzahl der neu zugelassenen Elektroautos bis 2030 deutlich ansteigen. Geht man von 1 Mio. neuen Elektroautos im Jahr 2030 aus, dann liegt der Kupferbedarf 2030 bei rund 73.500 t und der Bedarf an Aluminium in 2030 bei 162.000 t.¹² Werden noch weitere PKW mit Antriebsbatterien berücksichtigt (PHEV und HEV¹³) und ebenso die stationären Lithium-Ionen-Batterien, so sind auf die zuvor genannten Zahlen noch mindestens 10% aufzuschlagen.¹⁴

Ein Vergleich der Entwicklung des Kupferbedarfs für Elektroautos mit dem Kupferbedarf für Windkraftanlagen und PV-Anlagen (rund 11.200 t für das Jahr 2013, vgl. Tabelle 2) zeigt, dass

¹² Für die drei Komponenten der Elektroautos wurde insgesamt ein Gewicht von gut 73 kg Kupfer und von 162 kg Aluminium unterstellt. Diese Werte beruhen auf den Quellen: (OEKO 2019, Diekmann et al. 2017, Schüler et al 2017, Bast et al. 2015 und Optum 2011). Ein Quervergleich mit der Quelle (Ecomento 2017) ergibt dort für Kupfer einen Wert von 75 kg je BEV. Die Daten stimmen mithin quasi überein.

¹³ Über die zukünftige Zahl von neuen HEV und PHEV gibt es unterschiedliche Einschätzungen. Allerdings sind gerade die Batterien der heute von den Zahlen her dominierenden HEV (gegenüber BEV und PHEV) erheblich kleiner und leichter als die von BEV.

¹⁴ Legt man die Annahmen aus (NEPS 2019) für das Szenario B 2030 zugrunde, macht der kumulierte Ausbau der stationären Speicher (PV- und Großbatteriespeicher) weniger als 4% der Kapazität (in GWh) aus, die die stationären Speicher und die zusätzlichen 5,9 Mio. Elektroautos in Summe aufweisen. Die Elektromobilität ist demnach der entscheidende Entwicklungstreiber bei den Lithium-Ionen-Batterien und der damit verbundenen Rohstoffnachfrage.

nach Szenario B 2030 die Elektroautos hinsichtlich des jährlichen Kupferbedarfs die neu zu installierenden Windkraft- und PV-Anlagen drei- bis sechsmal übertreffen werden.¹⁵

Das Basismetall Nickel spielt eine Schlüsselrolle für die Elektromobilität, da es ein wichtiger Bestandteil des Kathodenmaterials von Lithium-Ionen-Batterien ist. Bei Nickel kommt als weiterer Mengentreiber hinzu, dass bei dem für die Elektromobilität dominierenden Kathodenmaterialtyp Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid (kurz NMC) ein dynamischer Trend der Erhöhung des Nickelanteils klar zu erkennen ist (OEKO 2019). Grund ist die Strategie, das deutlich teurere Kobalt, dessen Bezug aus dem Hauptförderland DR Kongo fortgesetzt Gegenstand von Diskussionen ist (vgl. Abschnitt 1.4), entsprechend in der Kathodenmaterialmischung zu reduzieren. Es sind folglich für Nickel zwei sich verstärkende Treiber (mehr Elektroautos plus höhere Nickelanteile je Batterie) zu konstatieren.

Für das Szenario B 2030 lässt sich zwischen 2018 und 2030 ein kumulierter Nickelbedarf von rund 272.000 t für die zusätzlichen 5,9 Mio. Elektroautos berechnen.¹⁶ Im rechnerischen Mittel wären dies über den genannten Zeitraum rund 21.000 t Nickel jährlich. Allerdings gilt für Nickel bzgl. Elektroautos das Gleiche wie für Kupfer und Aluminium (siehe oben): da der Markt der Elektromobilität gerade erst anläuft, kann für das Jahr 2030 mit rund 1 Mio. neuer Elektroautos in Deutschland (nur BEV) gerechnet werden. Dies würde für das Jahr 2030 allein einen Nickelbedarf von rund 56.000 t¹⁷ bedeuten (zum Vergleich: für 2016 wurden für die Elektromobilität in Deutschland 1.050 t Nickel abgeschätzt, vgl. Abschnitt 1.2). Geht man noch zusätzlich von weiterem Nickelbedarf für HEV und PHEV Batterien sowie stationäre Speicher aus, dann können zu allen oben genannten Zahlen wie bei Kupfer und Aluminium noch mindestens 10% hinzu addiert werden.

Wie bereits in Abschnitt 1.2 aufgeführt, hat Stahl selbstverständlich auch eine Bedeutung für die Energiewende – allerdings sind die Auswirkungen auf die Stahlnachfrage eher überschaubar. Zwar wird auch für die spezifischen Komponenten der Elektromobilität Stahl benötigt (z.B. für Elektromotoren), allerdings darf nicht vergessen werden, dass gleichzeitig durch die Substitution von Benzin- bzw. Dieselfahrzeugen erheblich höhere Mengen an Stahl/Eisen eingespart werden (Wegfall von Verbrennungsmotor und Getriebe sowie Komponenten des Abgasstrangs).

In den nachfolgenden Abbildungen sind die aktuell bekannten Reserven¹⁸ an natürlichen Rohstoffen aufgeführt, die zur Herstellung der Basismetalle Stahl, Aluminium, Kupfer und Nickel benötigt werden. Für alle vier Rohstoffe fallen zunächst die gewaltigen Größenordnungen der Reserven auf. Hinzu kommt, dass die Reserven bei allen Rohstoffen keine statische Größe sind, sondern z.B. durch technologische Innovationen bei der Rohstoffgewinnung/-verarbeitung und/oder Rohstoff-Preiserhöhungen zu einem Anwachsen der verfügbaren Reserven führen können. Physische Verknappungen sind aufgrund der großen Reserven daher für diese Rohstoffe nicht zu erwarten.

¹⁵ Hinzu kommt noch ein erheblicher Kupferbedarf für den Netzausbau (nicht Gegenstand in dieser Studie).

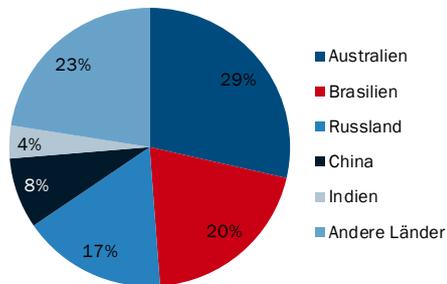
¹⁶ Für den Zeitraum 2018-2030 wird mit einem Mix des Kathodenmaterials von 10% NMC 111, 50% NMC 622, 30% NMC 811 und 10% NCA (Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid) über alle E-Fahrzeuge gerechnet. Die Ziffern bei NMC stehen für das stöchiometrische Verhältnis von Nickel, Mangan und Kobalt untereinander (gerundet kann es als Gewichtsverhältnis in Rechnungen eingehen). Das bisherige NMC 111-Kathodenmaterial wird gerade nach und nach von NMC 622 abgelöst; aber auch NMC 811 steht bereits in den Startlöchern.

¹⁷ Für das Jahr 2030 wird mit einem Mix von 90% NMC 811 und 10% NCA gerechnet.

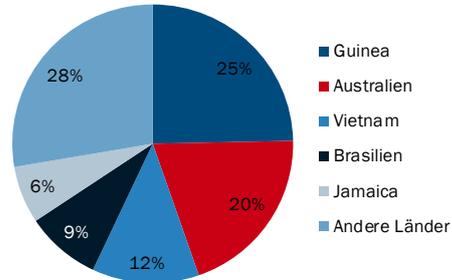
¹⁸ Definition nach (USGS 2019): heute technisch und wirtschaftlich gewinnbare Ressourcen.

Abbildung 9: Reserven an Eisenerz und Bauxit 2018 nach Hauptländern

Eisenerz Reserven (84 Mrd. t)



Bauxit Reserven (30 Mrd. t)



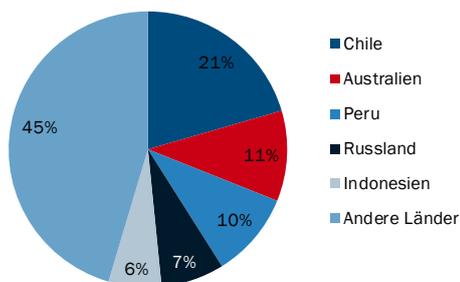
Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Bei der Verteilung der heute bekannten Reserven an Eisenerz entspricht die Rangfolge auf den ersten beiden Plätzen jener der aktuellen Produktion (vgl. Abbildung 3). Australien führt hier mit 29% vor Brasilien mit einem Anteil von 20%. Russland belegt bei den Reserven mit 17% den dritten Platz vor China und Indien. Auf die besonderen Herausforderungen beim Eisenerzabbau speziell in Brasilien wird in Abschnitt 1.4 eingegangen. Bei Stahl ist die wichtige Rolle von Schrotten (Sekundärmaterial) für die Rohstoffversorgung hervorzuheben. Zudem wird erwartet, dass langfristig ein deutlich höherer Schrottanteil für die globale Stahlversorgungverantwortlich sein wird (BDSV 2019). Dies wird die die globalen Eisenerzvorkommen betreffende Nachfrage langfristig dämpfen.

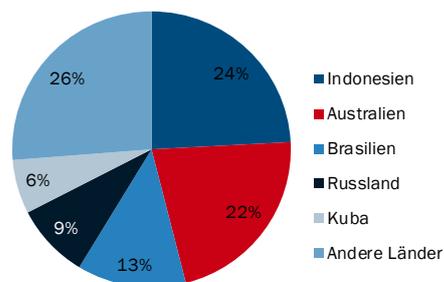
Bei den Bauxitreserven (vgl. Abbildung 9) liegt Guinea an erster Stelle (25%), es folgen Australien (20%) und an dritter Stelle Vietnam (12%). Auch bei Aluminium spielt Recycling eine wichtige Rolle zur Schonung der natürlichen Vorkommen.

Abbildung 10: Reserven an Kupfer und Nickel 2018 nach Hauptländern

Kupfer Reserven (830 Mio. t)



Nickel Reserven (89 Mio. t)



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Die Kupferreserven sind auf relativ viele Länder gestreut. Chile ist mit 21% das Land mit den derzeit größten Reserven. Australien, das bei der Minenproduktion von Kupfer aktuell keine überragende Stellung einnimmt, liegt bei den Reserven mit einem Anteil von 11% auf dem zweiten Rang. Wie bereits in Abschnitt 1.2 angemerkt, verfügt Kupfer über gute Recyclingeigenschaften. Daher ist eine mittel- und langfristige Ausweitung des Kupferrecyclings eine wichtige Strategie zur Schonung von Primärreserven.

Indonesien weist mit 24% den größten Anteil an den globalen Nickelreserven auf, gefolgt von Australien mit 22% und Brasilien mit 13%. Ansonsten finden sich Nickelreserven in relativ vielen Ländern. Nickel wird gegenwärtig hauptsächlich in der Edelstahl-Produktion eingesetzt (USGS 2019). Durch den globalen Hochlauf der Elektromobilität ergeben sich jedoch anhand der Bedarfe für Lithium-Ionen-Batterien bis 2030 Größenordnungen des Nickelbedarfs die jenen der Edelstahl-Produktion entsprechen (OEKO 2019). Das Recycling von Edelstahl ist bereits heute ein etabliertes Geschäftsfeld. Das Recycling von Nickel aus Lithium-Ionen-Batterien beginnt sich gerade zu etablieren und wird mittel- und langfristig eine wichtige Rohstoffquelle für Nickel darstellen. Auf dieses Thema wird näher bei den Technologiemetallen Lithium und Kobalt eingegangen (siehe Abschnitt 1.3.3).

1.3.3 Technologiemetalle

In der nachfolgenden Tabelle sind die für die in Abschnitt 1.2 vorgestellten Technologieelemente zu erwartenden Rohstoffbedarfe für den Zeitraum 2018 – 2030 nach dem Szenario B 2030 aufgeführt.

Tabelle 6: Bedarf an Technologiemetallen für Schlüsseltechnologien der Energiewende nach dem Szenario B 2030

Technologiemetall	Bilanzierte Technologien	Bedarf 2018 – 2030 kumuliert in t	Rechnerischer Bedarf in t/a (Durchschnitt)
Gallium (Ga)	Dünnschicht-PV	12	0,92
Indium (In)	Dünnschicht-PV, Dickschicht-PV	165	13
Kobalt (Co)	Lithium-Ionen-Batterien (E-Mob. und stationäre Speicher)	74.000	5.700
Lithium (Li)	Lithium-Ionen-Batterien (E-Mob. und stationäre Speicher)	50.000	3.800
Neodym (Nd)	Permanent erregte Windkraftanlagen (getriebelos), Elektromotoren HEV, PHEV, BEV, Pedelecs	3750	290
Dysprosium (Dy)	Permanent erregte Windkraftanlagen (getriebelos), Elektromotoren HEV, PHEV, BEV, Pedelecs	660	50
Selen (Se)	Dünnschicht-PV	64	5
Silizium (Si)	Dickschicht-PV (Dünnschicht-PV)	132.000	10.150

Quelle: eigene Berechnungen nach (OEKO 2019) und (OEKO/IZT 2019)

Aus der obigen Tabelle ist zu entnehmen, dass die jährlichen Bedarfe bzgl. jener Technologieelemente, die für die Dünnschicht- und Dickschicht-PV¹⁹ relevant sind, eine eher unspektakuläre Entwicklung aufweisen. Dies hat zwei Gründe: zum einen liegt der durchschnittliche jährliche Wert neu installierter PV-Kapazitäten in der Größenordnung des Wertes des Referenzjahres (2013, vgl. Tabelle 3). Zum anderen ist ein Trend zu verzeichnen, wonach geringere Mengen an Technologiemetallen pro Einheit kWp benötigt werden (OEKO/IZT 2019).

Eine deutliche Zunahme des Rohstoffbedarfs ist jedoch bei den Batterierohstoffen Lithium und Kobalt festzustellen. Der kumulierte Bedarf von rund 74.000 t Kobalt und rund 50.000 t Lithium zwischen 2018 und 2030 errechnet sich aus den vorgesehenen 5,9 Mio. zusätzlichen Elektroautos (BEV). Zu diesem Bedarf müssen mindestens noch 10% für HEV, PHEV sowie stationäre Batteriespeicher addiert werden.²⁰ Geht man für 2030 von 1 Mio. zusätzlichen Elektroautos aus,

¹⁹ Für den Zeitraum 2018-2030 ist ein Anteil von 90% Dickschicht-PV und 10 % Dünnschicht-PV (davon überwiegend CIGS) angesetzt (vgl. auch PV Magazin online 2018).

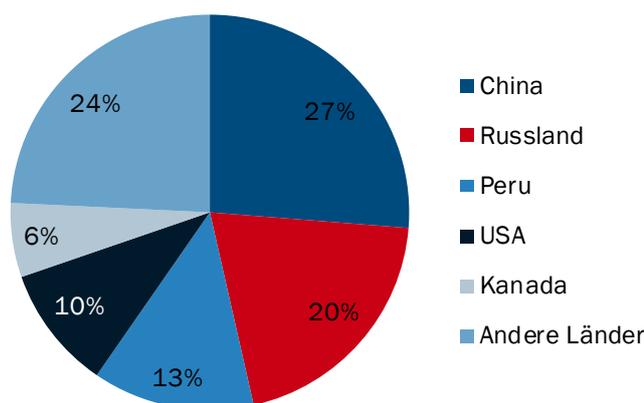
²⁰ Auch Elektrobusse etc. sorgen für einen zusätzlichen Bedarf an Kobalt und Lithium, allerdings sind die Mengen erheblich geringer im Vergleich zu den Bedarfen, die durch die (zahlreichen) Elektro-PKW her vorgerufen werden (OEKO 2019).

errechnet sich dafür ein Kobaltbedarf von 7.500 t und ein Lithiumbedarf von 8.400 t im Jahr 2030 (im Referenzjahr 2016 betrug der Kobaltbedarf für die Elektromobilität in Deutschland lediglich 1.000 t Kobalt und 500 t Lithium). Mittel- bzw. langfristig kann das Recycling von Lithium-Kobalt-Batterien einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung Europas mit den insbesondere für die Batterieherstellung benötigten Schlüsselrohstoffen Lithium, Nickel und Kobalt (in 2030 jeweils ca. 10% und in 2050 ca. jeweils 40% für die genannten Metalle) leisten (vgl. hierzu ausführlich Buchert et al. 2017).

Eine deutliche Zunahme des Bedarfs an den Seltenerdelementen Neodym und Dysprosium ist ebenso festzustellen (siehe Tabelle 6). Im Durchschnitt der Jahre 2018 bis 2030 liegt der Bedarf an Neodym fast viermal so hoch wie 2013, der Bedarf an Dysprosium mehr als sechsmal so hoch.²¹ Bei den Seltenerdelementen ist der zunehmende Bedarf stärker auf die Elektromobilität zurückzuführen als auf den Bau bzw. Betrieb von Windkraftanlagen.²²

Abbildung 11: Reserven an Selen 2018 nach Hauptländern

Selen Reserven (99.000 t)



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

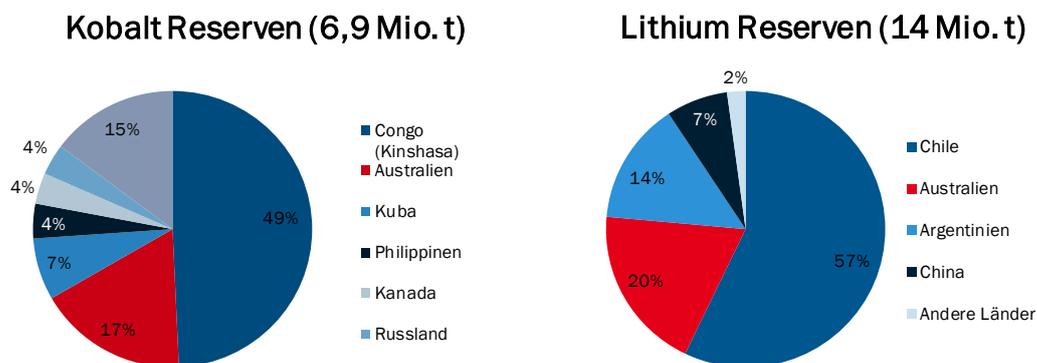
Die obige Abbildung weist die globalen derzeitigen Selen-Reserven nach Ländern auf. China, Russland und Peru belegen hier die ersten drei Plätze. Probleme der Versorgung sind kaum zu erwarten, zumal Selen als Nebenprodukt bei der Kupferraffination auch in Deutschland und an-

²¹ Im Referenzjahr 2013 spielten Elektromotoren für Pedelecs, die geringere Dysprosium-Gehalte aufweisen als Elektromotoren für BEV, PHEV und HEV, im Mix eine größere Rolle.

²² Eine Vorausberechnung des Bedarfs an Seltenen Erden hängt von vielen Parametern ab, da z.B. sowohl bei den Elektromotoren für Fahrzeuge als auch bei den Generatoren für Windkraftanlagen auch Technologievarianten am Markt sind, die ohne Permanentmagnete, d.h. ohne Seltene Erden auskommen. Für die Berechnung hier wurden für BEV ein Anteil von 50% BEV mit Permanentmagneten angesetzt, bei HEV/PHEV und Pedelecs ein Anteil von 100%. Bei den Windkraftanlagen onshore ein Anteil von 15% mit Permanentmagnet. Bei allen Unsicherheiten der Detailannahmen darf auf alle Fälle von einem deutlichen Bedarfszuwachs für Neodym und Dysprosium ausgegangen werden.

deren europäischen Ländern in großen Mengen gewonnen wird. Außerdem wird Selen bereits im industriellen Maßstab aus unterschiedlichsten Rückständen recycelt.

Abbildung 12: Reserven an Kobalt und Lithium 2018 nach Hauptländern



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

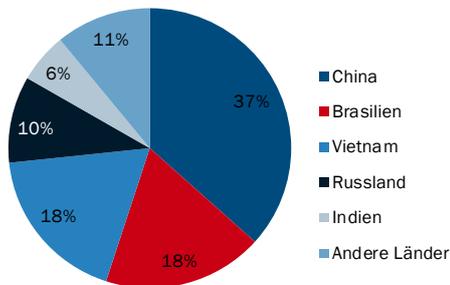
Hinsichtlich Kobalt und Lithium wird die Frage nach ausreichenden Reserven aufgrund des Markthochlaufs der Elektromobilität besonders intensiv diskutiert. Im Falle von Kobalt liegen die Reserven vor allem in der Demokratischen Republik Kongo (49%). Es folgen Australien mit 17% und Kuba mit 7%. Für Lithium werden die größten Reserven in Chile (57%) ausgewiesen. Danach folgen Australien (19%) und Argentinien (14%). Die aktuellen Reserven an Lithium sind derzeit rund doppelt so hoch wie jene an Kobalt (vgl. Abbildung 12).

Es muss jedoch betont werden, dass Daten zu Reserven sich verändern können. Sowohl für Kobalt als auch für Lithium werden noch deutlich größere Ressourcen²³ ausgewiesen (USGS 2019).

²³ Ressourcen können im Gegensatz zu Reserven heute aus technologischen und/oder wirtschaftlichen Gründen noch nicht ausgebeutet werden. Da sich beide Parameter verändern können, sind die Reserven keine statische Größe.

Abbildung 13: Reserven an Seltenen Erden (Seltenerdoxid-Äquivalente) 2018 nach Hauptländern

Seltene Erden Reserven (120 Mio.t)



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: USGS (2019)

Die globalen Reserven an Seltenen Erden weisen erhebliche Volumina auf. Sie finden sich breit gestreut in einer Reihe an Ländern. Die größten Reserven werden in China (37%) ausgewiesen, gefolgt von Brasilien und Vietnam (je 18%).

Für Indium, Gallium und Silizium werden keine Reserven ausgewiesen, allerdings sind Verknappungen hier kaum zu befürchten.

1.3.4 Kurzer Ausblick auf den Zeitraum nach 2030 bis 2050

Quantifizierungen von Rohstoffbedarfen, die von technologischen und infrastrukturellen Entwicklungen im Zusammenhang mit der Energiewende abhängig sind, sind für die Zeit nach 2030 naturgemäß nur anhand von Tendenzen vorzunehmen. In einigen technologischen Bereichen (z.B. Elektromobilität) haben sich in den letzten 10–15 Jahren bemerkenswert dynamische Entwicklungen gezeigt. Entsprechende Entwicklungen – z.B. Feststoffbatterien oder Batterien gänzlich anderer Zusammensetzung – sind durchaus möglich, ohne dass man hier gesicherte Vorhersagen treffen kann.

Mit Blick auf die hier untersuchten Technologien und die damit verbundenen Entwicklungen für die Zeit nach 2030 liegen folgende Megatrends nahe (OEKO 2019, DERA 2016):

- Die Elektromobilität (nicht nur im PKW-Bereich) wird weiterhin ein massiver Technologietreiber sowie Treiber der Rohstoffnachfrage im quantitativen Sinne sein. Die Frage welche Rohstoffe (und welche Mengen) aus diesem Bereich besonders nachgefragt werden, ist deutlich schwieriger zu beantworten.
- Ungeachtet aller Unsicherheiten kann davon ausgegangen werden, dass Basismetalle wie Kupfer, Aluminium und Nickel durch die Energiewende einen starken und dauerhaften Nachfrageschub erfahren werden.
- Technologien im Bereich der Sektorkopplung (abgesehen von Elektrofahrzeugen sind dies z.B. Elektrolyseure für Wasserstoff usw.) werden aller Voraussicht nach erst nach 2030 eine wichtige Rolle hinsichtlich des Rohstoffbedarfs einnehmen.

- Das Recycling von vielen Zielmetallen wird nach 2030 eine deutlich höhere Relevanz für die Rohstoffversorgung aufweisen.

Die in diesem Endbericht vorgenommenen Quantifizierungen der Rohstoffbedarfe bis 2030 (vgl. Abschnitt 1.3) beziehen sich ausschließlich auf die Energiewende in Deutschland – und beschränken sich dabei auf PV, Windkraft sowie Elektromobilität und stationäre Speicher (Lithium-Ionen-Batterien). Die globalen Rohstoffmärkte werden mittel- bzw. langfristig jedoch deutlich stärker durch globale Transformationen des Energiesektors (Ausbau der erneuerbaren Energien in China etc.) beeinflusst werden.

1.4 Ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen der Primärrohstoffgewinnung

In diesem Abschnitt wird kurz auf einige wichtige, ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen der Primärrohstoffgewinnung eingegangen. Die Ausführungen sind dabei auf einige der in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Rohstoffe beschränkt. Diese sollen aufgrund der Komplexität der Thematik nur als sehr kurzer Aufriss verstanden werden. Es wird auf die z.T. sehr umfassende Literatur zu diesem, in den letzten Jahren vermehrt diskutierten Themenkomplex verwiesen.

Eisenerz

Vor allem der Eisenerzabbau in Brasilien ist in den letzten Jahren durch folgenschwere Unglücke, ausgelöst durch Dammbürche von großen Rückhaltebecken für Bergbauabfälle, in Verruf geraten.²⁴ Im Januar 2019 barst ein Damm der Mine Córrego do Feijão im Bundesstaat Minas Gerais und setzte rund 12 Mio. Kubikmeter Schlamm frei, der mehrere Siedlungen unter sich begrub und rund 300 Menschen das Leben kostete (Zeit online 2019). Hinzu kommen große Umweltschäden durch die freigesetzten Rückstände aus dem Eisenerzabbau. Bereits im November 2015 war es im selben Bundesstaat zu einem ähnlichen Unglück in einer Eisenerzmine gekommen. Die Bilanz 2015: 19 Tote, 35 Mio. Kubikmeter Schlamm, die sich in den Rio Doce ergossen und ihn auf einer Länge von 650 km bis in den Atlantik kontaminierten (Spiegel online 2016). Die beiden Unglücke sind keinesfalls als unvermeidliche Naturkatastrophen einzustufen. Vielmehr ist in Brasilien und darüber hinaus eine grundsätzliche Diskussion über Sicherheitsstandards und deren Überprüfung entbrannt (SZ online 2019).

Umweltkatastrophen durch Dammbürche von Rückstandsbecken aus dem Bergbau sind keineswegs nur auf den Bereich des Eisenerzbergbaus beschränkt (siehe z.B. folgende Ausführungen zu Bauxit). Allerdings stellt der Eisenerzbergbau innerhalb der Metallgewinnung hinsichtlich der bewegten und behandelten Erzmengen den mit Abstand größten Materialstrom dar.

Bauxit

Bei der Betrachtung der Bauxitreserven wird deutlich, dass diese bis auf Australien in Schwellen- und Entwicklungsländer im tropischen Gürtel lokalisiert sind (vgl. hierzu Abbildung 9). Dies führt dazu, dass der Bauxitabbau häufig mit der Rodung von Tropenwäldern verbunden und entspre-

²⁴ In diesen Rückhaltebecken – engl. tailing ponds – werden große Mengen schlammartiger Rückstände aus der Flotation des Erzmaterials gelagert. Letztlich sollen die Rückstände dort für die Ewigkeit lagern – sofern keine spätere Aufbereitung vorgesehen ist – und müssen Klimaschwankungen über viele Jahre hinweg standhalten. Vor allem Starkregenereignisse oder Erdbeben stellen ein großes Risiko dar. Sind die Dämme nicht ausreichend ausgelegt, kommt es zu Katastrophen wie in Brasilien.

chend umstritten ist (vgl. Beispiel aus Brasilien in Rüttinger et al. 2016). Eine Ausweitung der Konflikte nicht zuletzt durch Rodung von Tropenwald ist zumindest nicht auszuschließen. Eine mittel- bzw. langfristige Zunahme des Recyclings von Aluminium kann ebenso wie bei Stahl helfen, den wachsenden Nachfragedruck auf die Reserven (hier Bauxit) ein Stück zu dämpfen.

Bei der Aufbereitung von Bauxit (Laugung mit Natronlauge) fallen große Rotschlammrückstände an. In Ungarn ereignete sich 2010 ein verheerender Dambruch eines Rotschlammbeckens mit Toten, Verletzten und erheblichen Umweltschäden (Spiegel online 2019).

Kobalt

Kobalt, neben Lithium ein wichtiger Bestandteil bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität, steht angesichts der Tatsache, dass die aktuelle Förderung und die Reserven gut zur Hälfte in der DR Kongo liegen, besonders im Fokus (siehe Tabelle 6). Große Besorgnis besteht mit Blick auf den Anteil des artisanalen bzw. illegalen Kleinbergbaus an der Kobaltförderung in der DR Kongo (BGR 2019).²⁵ Kinderarbeit, fehlende Sicherheitsstandards und hohe Gesundheits- und Umweltbelastungen sind hiermit oftmals verbunden. Hinzu kommen schwache staatliche Strukturen und verbreitete Korruption in der DR Kongo (Schüler et al. 2018). Alle diese Fakten rechtfertigen eine besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich des Rohstoffs Kobalt.

Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund forcieren alle nennenswerten Hersteller von Lithium-Ionen-Zellen sowie ihre Kunden (Automobilindustrie usw.) eine starke Reduzierung des spezifischen Kobaltgehalts an den Batteriezellen. Eine zweite wichtige Strategie zur Verringerung der Abhängigkeit von Primärkobalt stellt das hochwertige Recycling von Lithium-Ionen-Batterien dar (Buchert et al. 2017). Ungeachtet dessen ist die Schaffung einer umfassenden Transparenz in der Lieferkette von Kobalt eine wesentliche Voraussetzung, um – in Anbetracht der sehr schwierigen Ausgangslage in der DR Kongo – mittelfristig eine Verbesserung bei Umwelt- und Sozialstandards zu erreichen.

Lithium

Kritische Diskussionen zur Lithiumgewinnung werden bislang hauptsächlich mit Blick auf Chile und Argentinien geführt. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass in Lateinamerika bis vor kurzem die größten Anteile der Weltproduktion gewonnen wurden. In Chile und Argentinien erfolgt die Lithiumgewinnung aus Salzseen. Daher steht vor allem die damit verbundene Wasserverdunstung in ariden Gebieten im Mittelpunkt. Durch die großen Verdunstungsverluste können die Grundwasserpegel angrenzender Gebiete (welche häufig eine landwirtschaftliche Nutzung durch indigene Völker erfahren) massiv beeinträchtigt werden (Schüler et al. 2018). Erste Versuche zur technischen Lösung des Wasserverdunstungsproblems bei der Lithiumgewinnung aus Salzseen in Lateinamerika sind inzwischen von verschiedenen Unternehmen gestartet worden (Schüler et al. 2018).

In Australien hingegen wird Lithium aus Erzgestein und nicht aus Salzseen gewonnen – daher gibt es hier keine entsprechende Diskussion über Wasserverluste durch Verdunstung. Allerdings sind bei der zunehmenden Lithiumgewinnung aus dem Festgesteinsbergbau in Australien andere

²⁵ (BGR 2019) geben für den artisanalen Kleinbergbau einen Anteil von 15–20% an der Gesamtkobaltförderung in der DR Kongo an.

Umweltherausforderungen (Energiebedarf und damit verbundene Treibhausgasemissionen) zukünftig stärker in den Blick zu nehmen. Ebenso wie bei Kobalt muss das hochwertige Recycling von Lithiumverbindungen aus Lithium-Ionen-Batterien als strategisches Ziel der Rohstoffgewinnung und zum Beitrag einer besseren Umweltbilanz forciert werden (Buchert et al. 2017).

Seltene Erden

Die mit der Gewinnung und Verarbeitung von Seltenen Erden verbundenen Umweltauswirkungen vor allem in China sind seit Jahren Gegenstand von Diskussionen auf unterschiedlichsten Ebenen. Die Belastung der Anwohner von Förderregionen durch Austrag radioaktiver Begleitelemente bei der Erschließung der natürlichen Vorkommen und die sogenannte In-situ Laugung der Schweren Seltenen Erden mit Chemikalien im Süden Chinas – häufig im Rahmen von illegaler Gewinnung, die bislang allen Gegenmaßnahmen der Regierung trotzt (USGS 2019) – sind nur zwei Beispiele einer ganzen Reihe potentieller oder bereits eingetretener Umweltprobleme (ausführlich zu den Umweltproblemen bei der Gewinnung von Seltenen Erden vgl. OEKO 2011).

In jüngster Zeit konnten durch Projekte in Australien und den USA die Dominanz des Hauptförderlandes China zumindest etwas eingehegt werden (siehe Abbildung 8). Generell wichtig sind strenge Standards beim Bezug von Seltenen Erden, um niedrigen Umwelt- und Sozialstandards bei der Gewinnung und Verarbeitung entgegenzuwirken (vgl. hierzu ausführlich OEKO 2017).

2 Sozio-ökonomische Bedeutung der erneuerbaren Energien

2.1 Darstellung der ökonomischen Bedeutung des Sektors der erneuerbaren Energien und der Bedeutung für den Arbeitsmarkt

Im folgenden Abschnitt werden die Fördermechanismen sowie die ökonomischen Effekte der erneuerbaren Energien näher beleuchtet.

2.1.1 Förderung erneuerbarer Energieumwandlung

Der wesentliche Mechanismus zur Förderung von Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen in Deutschland ist ein Einspeisevergütungssystem, dessen Kosten von den Letztverbrauchern des Stroms getragen werden. Das Einspeisevergütungssystem wurde 1990 durch das Stromeinspeisungsgesetz eingeführt und ab dem Jahr 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz grundlegend reformiert.

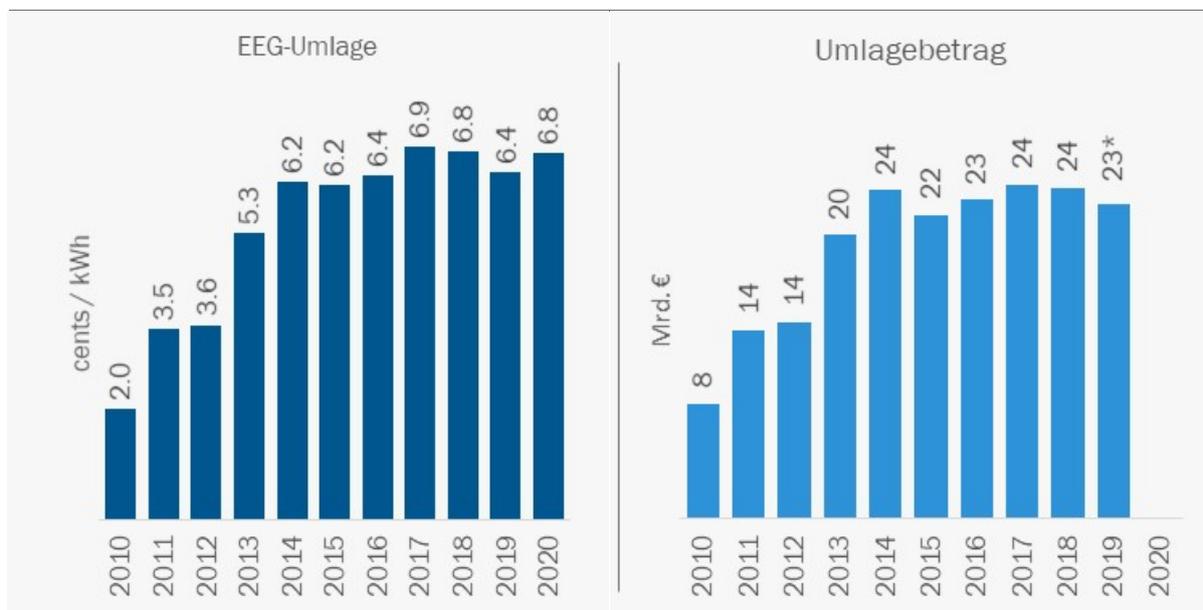
Das Stromeinspeisungsgesetz vom 7.12.1990 verpflichtete erstmalig Energieversorgungsunternehmen in Deutschland elektrische Energie aus regenerativen Prozessen, wie Wasser- und Windkraft, Solarenergie und Biomasse abzunehmen und zu vergüten.

Das Stromeinspeisungsgesetz wurde im Jahr 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst. Das EEG 2000 umfasste Ausbauziele für erneuerbare Stromeinspeisung, eine vorrangige Abnahmepflicht für erneuerbar erzeugten Strom sowie eine Mindestvergütung zu welcher Strom abgenommen werden musste. Diese war erstmals von der Entwicklung der Strompreise entkoppelt und wurde gesetzlich festgelegt. Die Vergütung betrug anfänglich 7,67 ct/kWh für Wasserkraft sowie Deponie-, Gruben- und Klärgas, 9,1 ct/kWh für Windkraft sowie mindestens 45,7 ct/kWh für PV über eine Dauer von 20 Jahren. Die Finanzierung der Differenzkosten zwischen den durch den Stromverkauf erwirtschafteten Erlösen und der Vergütung des jeweiligen Stroms erfolgt über ein Umlagesystem. Dabei werden die Differenzkosten durch die Menge des in einem Jahr verbrauchten Stroms geteilt und auf die Letztverbraucher in Form einer Umlage, welche für jede Kilowattstunde zusätzlich zum Strompreis anfällt, verteilt.

Zwischen dem Jahr 2000 und 2019 wurde das EEG fünfmal novelliert, um die Vergütungssätze den Kostendegressionen anzupassen sowie das Fördersystem zu verändern. Wesentliche Veränderungen waren die Einführung von Marktprämien und Direktvermarktung, Ausnahmeregelungen für stromintensive Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie Schienenbahnen von der Umlagepflicht sowie die Ermittlung der Vergütungshöhe durch Ausschreibungsrunden. Aktuelle, in Ausschreibungen ermittelte, mittlere Fördersätze betragen unter anderem 6,2 ct/kWh für Windkraft an Land, 4,7 ct/kWh für Windkraft auf See sowie 4,8 ct/kWh für Strom aus Photovoltaikanlagen. In Abbildung 14 ist die Entwicklung der EEG-Umlage sowie des Gesamtumlagebetrags seit 2010 dargestellt. Der Umlagebetrag ergibt sich hierbei aus der Höhe der jährlichen Differenzkosten zuzüglich des Kontoausgleichs des Vorjahres²⁶ sowie einer Liquiditätsreserve. Die EEG-

Umlage ergibt sich aus der ex-ante prognostizierten Differenzkosten geteilt durch den prognostizierten, nicht-umlagebefreiten Letztverbrauch.

Abbildung 14: EEG-Umlage je kWh und Gesamtumlagebetrag, 2010 bis 2020



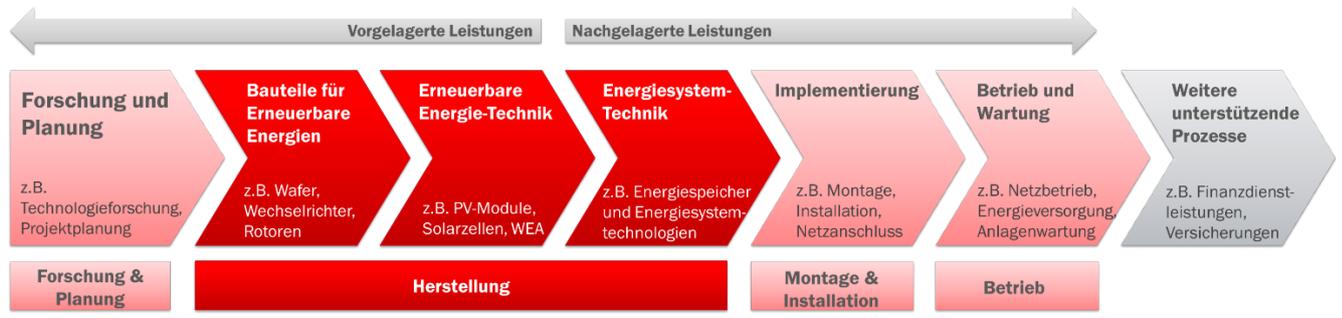
* Prognose

Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis: Netztransparenz.de (2019), BMWi (2018)

2.1.2 Systematisierung der Wertschöpfung

Mit wachsendem Anteil an der Energieversorgung prägen erneuerbare Energien die Energiewirtschaft in Deutschland. Wertschöpfung und Beschäftigung generiert der Sektor dabei nicht nur im Rahmen der Energieerzeugung, sondern auch in vor- und nachgelagerten Bereichen der Wertschöpfungskette (Abbildung 15).

Abbildung 15: Wertschöpfungskette Erneuerbare Energien



Prognos 2019

Am Anfang stehen Forschungs- und Planungsaktivitäten, welche die Basis für die weitere Wertschöpfung durch erneuerbare Energien bilden. Der Bereich Forschung bezieht sich hier auf Grundlagenforschung durch Universitäten und insbesondere außeruniversitäre Institute. Ein großer Teil der technologiebezogenen Forschung und Entwicklung findet darüber hinaus in den produzierenden Unternehmen statt. Planungstätigkeiten umfassen beispielsweise Potenzialabschätzungen, Machbarkeitsstudien und Projektentwürfe. Sie werden meist von spezialisierten Ingenieur- und Beratungsunternehmen durchgeführt.

Das nachfolgende Segment Herstellung umfasst die industrielle Fertigung von EE-Technologien und verwandten Produkten. Darunter fällt die Herstellung von Komponenten, wie beispielsweise Wechselrichter und Wafer für Photovoltaikanlagen oder Türme und Rotorblätter für Windenergieanlagen. Der Übergang zur letztlichen Herstellung der EE-Anlagen verläuft fließend und findet zum Teil durch dieselben Unternehmen statt. Darüber hinaus ist die Produktion von Energiesystemtechnologien zu berücksichtigen, die für die umfassende Implementation erneuerbarer Energien benötigt werden. Dazu zählen etwa Netzsystemtechnik und Energiespeicher.

Wesentliche Beschäftigungseffekte sind des Weiteren mit der Montage und Installation von EE-Anlagen verbunden. Diese Aktivitäten werden häufig von lokalen Anbietern durchgeführt und bieten Beschäftigungs- und Wertschöpfungspotenziale in Regionen mit einem starken Ausbau erneuerbarer Energien. Hierzu zählen diverse Bautätigkeiten, von Vorbereitungsarbeiten und Fundamentbau bis zur Errichtung und Montage der Anlagen. Darüber hinaus sind Elektroinstallationsstätigkeiten, wie Verkabelung und Netzanschluss, bedeutende Aktivitäten in diesem Segment.

Betrieb und Wartung stellt eine langfristige Aufgabe dar, die von Energieversorgern und Eigenvorsorge-Betreibern durchgeführt wird. Damit verbunden sind Tätigkeiten wie zum Beispiel Anlagenmonitoring, Ausrüstungsinspektionen und Reparaturen.

Darüber hinaus bestehen weitere Wertschöpfungszusammenhänge, die mit erneuerbaren Energien verbunden sind. Die Herstellung von Komponenten erfordert vorgelagerte Leistungen in der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung. Die Projektumsetzung wird begleitet durch Finanzierungs-, Versicherungs- oder politische Aktivitäten. Der Anlagenrückbau schließlich induziert Leistungen im Bau- und Recyclinggewerbe. Diese weitergehenden Leistungen sollen hier erwähnt sein, um

ein vollständiges Bild zu erzeugen. Der ökonomische Zusammenhang zu erneuerbaren Energien lässt sich hier nur schwer erfassen und wird daher im Folgenden nicht quantifiziert.

2.1.3 Ökonomische Quantifizierung

Die im vorherigen Kapitel aufbereiteten Wertschöpfungsbereiche sowie damit zusammenhängende Aktivitäten werden im Rahmen gängiger Wirtschaftsstatistiken nicht explizit ausgewiesen, sondern sind über die bestehenden Wirtschafts- und Güterzweige verteilt. Die Analyse der Beschäftigungs- und Wertschöpfungswirkungen erneuerbarer Energien erfordert daher einen weitergehenden methodischen Ansatz. Die daraus resultierende engere und detaillierte Betrachtung hat im Ergebnis eine geringere Bruttobeschäftigung gegenüber anderen methodischen Ansätzen, die die gesamtökonomischen Effekte mit einer weitreichenderen Bedeutung der indirekten Wirkungen abschätzen ²⁷.

Grundlage für den hier gewählten Ansatz ist das Prognos Umweltwirtschaftsmodell envigos (siehe nachfolgende Infobox). Es bildet – neben anderen Technologien und Dienstleistungen der Umweltwirtschaft – direkte und indirekte Wertschöpfungsaktivitäten erneuerbarer Energien im Rahmen der statistischen Klassifikationssysteme nach Wirtschaftszweigen und Gütern ab. Neben der Fertigung von Technologien und Komponenten sowie dem Betrieb von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung sind dabei u. a. auch die Errichtung von Anlagen, Projektplanung, Netzmanagement und FuE-Aktivitäten erfasst. Die modellgestützte anbieterseitige Erfassung der wirtschaftlichen Aktivitäten hat verschiedene Vorteile: Die Analyse basiert auf amtlichen statistischen Daten (u. a. Beschäftigungsstatistik, Umsatzsteuerstatistik) und zeichnet daher ein umfassenderes und valideres Bild als beispielsweise umfragebasierte Ansätze. Die Daten liegen regional vor und lassen sich somit auch für einzelne Bundesländer ausweisen. Darüber hinaus besteht gegenüber nachfragebasierten Ansätzen, welche Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte indirekt auf Basis getätigter Investitionen abschätzen, der Vorteil, dass einerseits aktuellere Datensätze verwendet (Beschäftigung für das Jahr 2018) und andererseits die Kennwerte detailliert für verschiedene Wertschöpfungsstufen aufgezeigt werden können.

²⁷ Beispielsweise GWS, DLR und DIW Berlin (2018), Ökonomische Indikatoren des Energiesystems: Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000 -2016, GWS Research Report 2018/01, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-und-energiewirtschaftliche-gesamtrechnung.pdf?__blob=publicationFile&v=18

Das Umweltwirtschaftsmodell envigos

Das Umweltwirtschaftsmodell envigos („model for environmental industry, goods and services“) ist ein bewährtes Analysetool, um sämtliche relevanten Technologien und Produkte aus den verschiedenen Bereichen der Umweltwirtschaft auf Basis amtlicher Wirtschaftsstatistiken auf detaillierter Ebene zu untersuchen. Die verschiedenen Technologiebereiche der regenerativen Energieerzeugung sind dabei zentraler Bestandteil der Erfassung. Das Tool kombiniert dabei einen funktionalen und einen sektoralen Ansatz und berücksichtigt so direkte und indirekte Wertschöpfungsaktivitäten.

Funktionaler Ansatz: Die funktionale Abbildung der Technologien zur regenerativen Energieerzeugung und -speicherung bzw. der Energieeffizienztechnologien bildet die Grundlage für die Analyse von Warenströmen und internationalen Handelsverflechtungen. Basierend auf einem von der OECD und Eurostat entwickelten Verfahren wird dazu jede in der Güterklassifikation enthaltene Produktgruppe (7.000+) auf ihren Einsatzzweck („Funktion“) hin hinterfragt. Damit lassen sich alle relevanten Produkte und Dienstleistungen äußerst präzise erfassen. Mittels Gewichtungsfaktoren berücksichtigt das Abgrenzungsverfahren auch so genannte Dual-Use-Güter. Dabei handelt es sich um multifunktionelle Güter. So können etwa Vliesstoffe sowohl zur Wärmedämmung als auch zu anderen Zwecken verwendet werden.

Sektoraler Ansatz: Grundlage für die weitere ökonomische Potenzialabschätzung der verschiedenen Bereiche der Umweltwirtschaft, wie etwa den Technologien zur regenerativen Energieerzeugung und -speicherung oder Energieeffizienztechnologien, ist ein wirtschaftszweigbasiertes Abgrenzungsmodell. Dieses ist über Zuordnungsschlüssel mit dem funktionalen Abgrenzungsmodell verbunden. Mit Hilfe dieses Ansatzes kann die wirtschaftliche Bedeutung der Energiewendegüter im Hinblick auf verschiedene Kenngrößen, wie z. B. Erwerbstätigenzahl und Bruttowertschöpfung, vorgenommen werden.

Der für diese Untersuchung relevante Teilmarkt des Umweltwirtschaftsmodells bezieht sich auf Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung (ETS). Er untergliedert sich in die folgenden Marktsegmente und Technologiebereiche, die das Raster für die nachfolgende Analyse bilden (Abbildung 16).

Abbildung 16: Marktsegmente und Technologiebereiche des Leitmarkts Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung

Teilmarkt	Marktsegmente	Technologiebereiche
	Erneuerbare Energien	Beratung und Forschung
		Bioenergie
		Geothermie
		Solar
		Wasserkraft
		Windenergie
		Intelligente Energiesysteme und Netze
	Speichertechnologie	IKT für Energiesysteme
		Netzausbau und -betrieb
		Netztechnik
		Elektrochemische Speicherung von Energie
		Mechanische Speicherung von Energie
		Thermische Speicherung von Energie

Prognos, Umweltwirtschaftsbericht NRW 2019

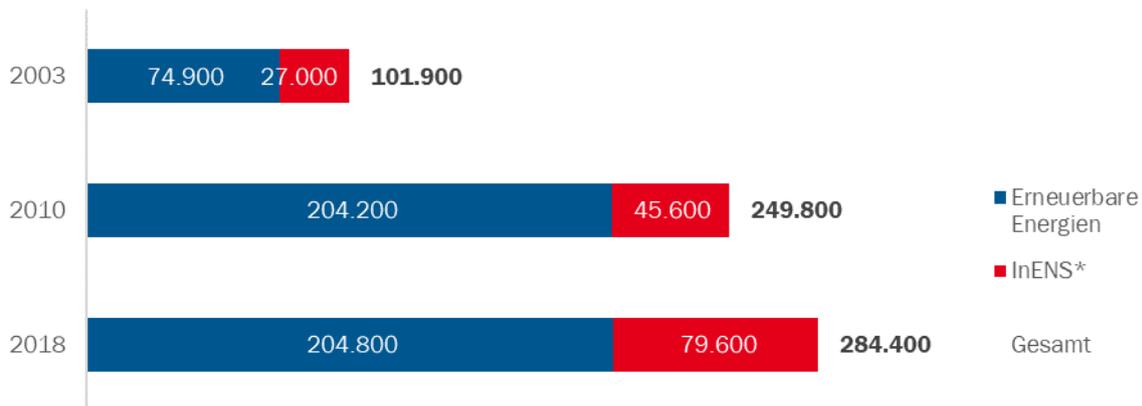
Neben den verschiedenen EE-Technologien (Marktsegment „Erneuerbare Energien“) sind dabei auch Technologien und Leistungen berücksichtigt, die für die erfolgreiche Durchführung der Energiewende erforderlich sind (Marktsegment „Intelligente Energiesysteme und Netze“). Der dezentrale Charakter vieler EE-Anlagen, regionale Disparitäten zwischen EE-Erzeugungsmöglichkeiten und dicht besiedelten Verbrauchszentren sowie dargebotsbedingte fluktuative Schwankungen erfordern einen umfassenden Netzausbau in der Elektrizitätsübertragung (Hochspannungsleitungen zum Transport von Elektrizität über lange Strecken) und -verteilung (regionale Energieversorgung von Industrie und Haushalten). Zudem muss das Energiesystem auf künftige Anforderungen wie Smart-Grids oder Elektromobilität überarbeitet werden. Um Schwankungen auszugleichen, sind zudem verschiedene Speichertechnologien erforderlich, die sich in elektrochemische, mechanische oder thermische Lösungen untergliedern lassen. Da von ihnen aktuell noch eine geringe Beschäftigungswirkung ausgeht, werden Speichertechnologien in diesem Bericht gemeinsam mit dem vorherigen Marktsegment betrachtet („Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien“, kurz InENS).

2.1.4 Beschäftigung und Bruttowertschöpfung durch erneuerbare Energien

Die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 markierte den Beginn der Energiewende und trieb den Ausbau erneuerbarer Energien stetig voran (vgl. Kap. 1.1). Mit der installierten Leistung stieg auch die wirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien stark an. Während im Jahr 2003 noch etwa 100.000 Personen im Bereich der Umweltfreundlichen Energieerzeugung, -transport und -speicherung beschäftigt waren, stieg die Zahl der Erwerbstätigen auf über 280.000 im Jahr 2018.

Wie Abbildung 17 verdeutlicht, fand der enorme Beschäftigungszuwachs insbesondere von 2003 bis 2010 im Marktsegment erneuerbare Energien statt. Von 2010 bis 2018 stagnierte die Entwicklung (vgl. folgender Abschnitt). Die Beschäftigung im Marktsegment Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien (InENS) stieg hingegen kontinuierlich an, auf knapp 80.000 Erwerbstätige im Jahr 2018.

Abbildung 17: Erwerbstätige im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung, 2003 – 2018



*InES = Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien

Eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Bundesamts

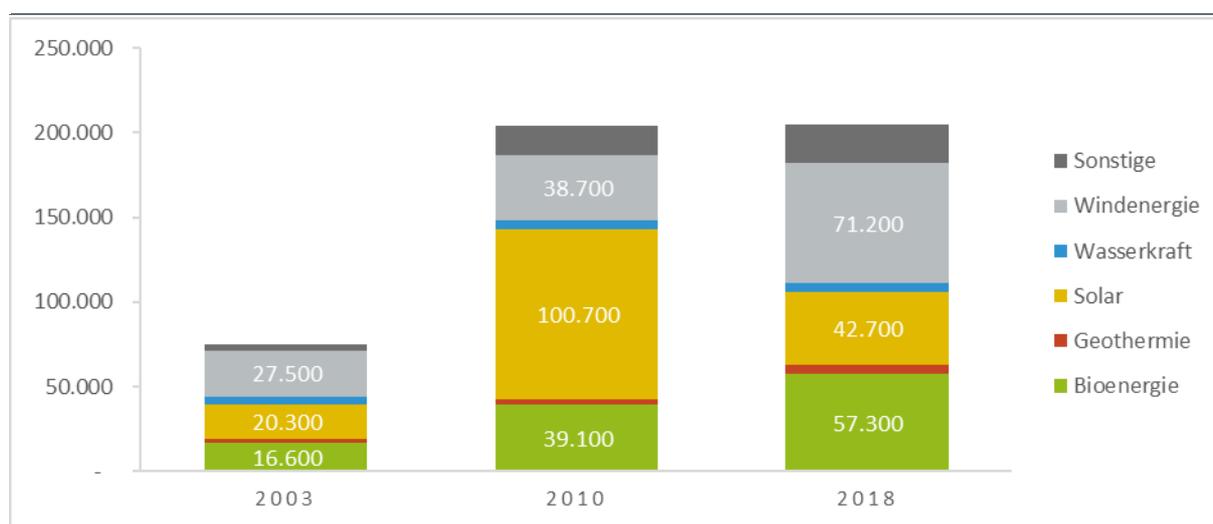
Die starke Dynamik im Marktsegment erneuerbare Energien verdeutlicht sich mit Blick auf die verschiedenen Technologiebereiche (Abbildung 18). Prägend ist insbesondere die Entwicklung der Solarenergie, die zwischen 2003 und 2010 einen Boom erlebte und zeitweise allein über 100.000 Erwerbstätige beschäftigte. Anschließend erfolgte ein deutlicher Einbruch. Die heimische Technologieproduktion geriet im internationalen Wettbewerb unter Druck und auch der Ausbau neuer PV-Anlagen ging zurück. In der Folge sank die Zahl der Erwerbstätigen auf knapp 43.000 im Jahr 2018. Die Bedeutung der Windenergiebranche nahm dagegen kontinuierlich zu. Mittlerweile stellt sie den wichtigsten EE-Träger in Deutschland und entfaltet als solche auch die höchste Beschäftigungswirkung (über 71.000 Erwerbstätige 2018). Des Weiteren entwickelte sich auch die Bioenergie sehr dynamisch. Sie umfasst inzwischen über 57.000 Erwerbstätige (inklusive der Herstellung von Biogas und Biomasse zur Wärmegewinnung sowie von Biokraftstoffen für den Verkehr). Die übrigen Technologiebereiche Wasserkraft und Geothermie sind von ökonomisch von nachrangiger Bedeutung. Sie kumulieren insgesamt etwa 11.000 Erwerbstätige. Darüber hinaus sind etwa 22.000 Personen im Bereich Sonstige, der u.a. Beratungsleistungen umfasst, tätig.

Neben der dargestellten technologiebezogenen Systematisierung lässt sich die Verteilung der Beschäftigungseffekte auch mit Blick auf die eingangs aufgezeigten Wertschöpfungssegmente aufzeigen:

- Rund die Hälfte der Erwerbstätigen des Leitmarkts Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung entfallen auf den Betrieb und die Wartung der Anlagen sowie auf das EE-bezogene Netzmanagement. Mit steigender Anzahl und Leistung der installierten EE-Anlagen hat dieser Bereich gegenüber 2010 an Bedeutung gewonnen. Damals lag der Anteil noch bei rund 30 %.
- Auf die Herstellung von EE- und Energiesystem-Technologien entfallen etwa 22 % der Erwerbstätigen. Zwischen 2010 und 2018 wuchs die Zahl der Erwerbstätigen in diesem Segment um 1,1 % p.a. Der Anteil an den Erwerbstätigen im Leitmarkt insgesamt blieb gegenüber 2010 nahezu konstant.

- Montage- und Installationsleistungen beschäftigen ca. 13 % der Erwerbstätigen. Gegenüber 2010 (33 %) ist dieses Segment deutlich zurückgegangen. Insbesondere die hohe Ausbauleistung von PV-Anlagen sorgte damals für einen starken Beschäftigungseffekt in Bezug auf Bau- und Installationsarbeiten.
- Das Segment Forschung und Planung umfasst die übrigen 16 % der Erwerbstätigen des Leitmarkts. Insbesondere Planungsleistungen durch Ingenieurbüros sorgen hier für Beschäftigung.

Abbildung 18: Erwerbstätige im Marktsegment Erneuerbare Energien, 2003 – 2018



Eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Bundesamts

Diese dynamischen Bruttobeschäftigungseffekte schließen jedoch den Beschäftigungsrückbau in den vom Strukturwandel betroffenen Branchen nicht ein, der sich in den Regionen unterschiedlich auswirkt (siehe Vergleich der Regionen in Abschnitt 2.2). Darüber hinaus lassen sich weitere Indikatoren für die Bemessung der ökonomischen Bedeutung von erneuerbaren Energien für die Bundesrepublik heranziehen. Maßgeblich ist etwa die Bruttowertschöpfung, die sich aus dem beschriebenen Model ableiten lässt. 2018 erwirtschafteten die ca. 40.000 Unternehmen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung, -transport und -speicherung eine Bruttowertschöpfung von über 34,1 Mrd. Euro. Davon entfielen ca. 7,7 Mrd. Euro auf Windkraft, 7,4 Mrd. Euro auf Bioenergie und 4,7 Mrd. Euro auf Solar. Die Höhe der Umsätze lag insgesamt bei 123 Mrd. Euro.

2.2 Bestandsaufnahme der Erneuerbaren Energien in den Regionen

2.2.1 Auswahl und Zuschnitt der Regionen für die Fallbeispiele

Zur Veranschaulichung der regionalen Bedeutung erneuerbarer Energien werden drei Fallbeispiele erarbeitet. Diese illustrieren exemplarisch die Auswirkungen und den wirtschaftlichen Stellen-

wert erneuerbarer Energien im regionalen Kontext. Die Auswahl der Region orientiert sich an den dominanten erneuerbaren Energieträgern und der Bruttostromerzeugung der jeweiligen Region. Dadurch werden die Regionen so ausgewählt, dass der Energieträger eine hohe wirtschaftliche Bedeutung im Umwandlungssektor der Region hält. Es wird eine süddeutsche Region mit einem hohen Photovoltaikanteil, eine norddeutsche Küstenregion mit einem hohen Onshore Windenergieanteil und eine mitteldeutsche Region mit einem signifikanten Bioenergieanteil berücksichtigt.

Die Selektion wird auf Ebene der Bundesländer stattfinden. Hier besteht eine gute Datenverfügbarkeit, zudem zeichnen sich die Länder durch eigene energiepolitische Ansätze aus. Zudem nimmt die Datenverfügbarkeit in kleinteiligen Räumen stark ab, womit eine statistische Auswertung schwierig ist. Neben den Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekten auf regionaler Ebene wird in einem Lokalbeispiel eine beispielhafte Darstellung lokaler Wertschöpfung beschrieben. Bei der Auswahl der Bundesländer empfiehlt sich u.a. die Berücksichtigung der jeweiligen Anteile der erneuerbaren Stromerzeugung der jeweiligen Technologie an der Bruttostromerzeugung (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Anteil erneuerbarer Stromerzeugung an der Bruttostromerzeugung je Bundesland, in Prozent, 2016

Bundesland	Kürzel	Windkraft	Photovoltaik	Bioenergie
Baden-Württemberg	BW	2,0	6,4	7,7
Bayern	BY	4,0	12,9	10,7
Berlin	BE	0,2	0,5	3,4
Brandenburg	BB	16,2	13,4	6,7
Bremen	HB	4,2	0,6	6
Hamburg	HH	0,9	0,2	2,8
Hessen	HE	13,1	4,3	12,1
Mecklenburg-Vorpommern	MV	41,1	–	17
Niedersachsen	NI	24,2	5,2	11,8
Nordrhein-Westfalen	NW	3,7	–	3,4
Rheinland-Pfalz	RP	24,5	6	6,3
Saarland	SL	5,2	–	2,2
Sachsen	SN	4,1	5,6	4,4
Sachsen-Anhalt	ST	28,9	9,5	13,4
Schleswig-Holstein	SH	42,5	8,6	8,4
Thüringen	TH	22,4	7	20,4
Deutschland		12,3	6,4	7,6

Quelle: AGEE Stat (2018)

2.2.2 Norddeutsche Windregion

EE-Profil Norddeutsche Windregion

Bedeutung Erneuerbarer Energien

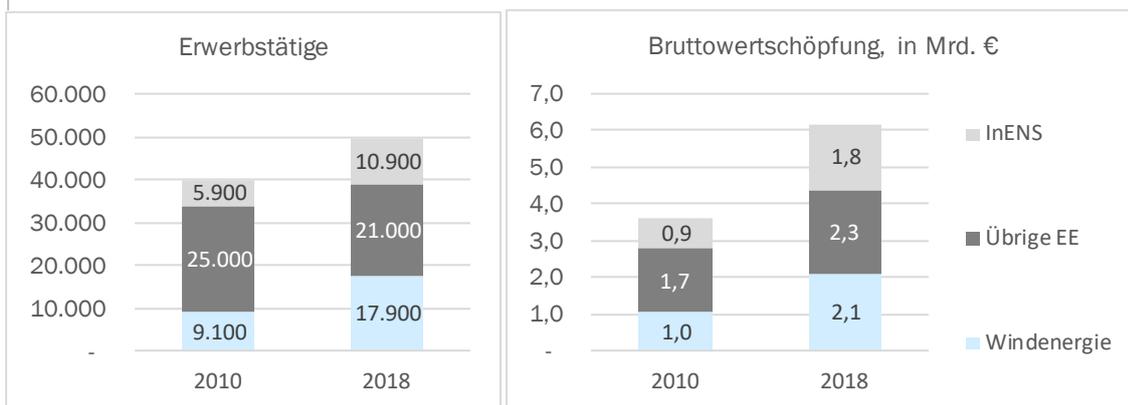
- Anteil am Primärenergieverbrauch 2016
MV: 40,4 %*; NI: 17,4 %; SH: 24,4 %
- Anzahl der Unternehmen 2017: 8.100

Profil Windenergie:

- Installierte Leistung 2018: 21,1 GW
- Zubau 2018: 0,9 GW; 2017: 1,8 GW
- Anzahl der Unternehmen 2017: 4.000



Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte



* Wert für 2015

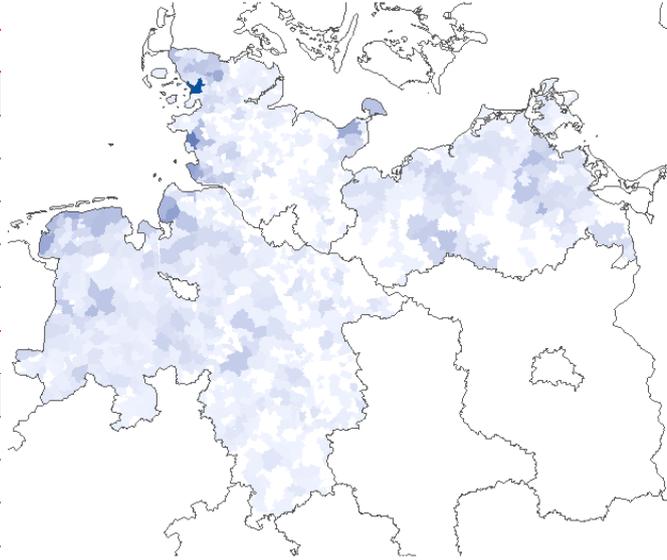
Quellen: AEE-Stat. 2018 sowie eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Bundesamts

Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein bilden die norddeutsche Windregion. Die erneuerbaren Energien spielen in dieser Region eine wichtige Rolle. Alle drei Bundesländer zeichnen sich durch einen hohen Anteil Erneuerbarer am Primärenergieverbrauch aus. In Mecklenburg-Vorpommern liegt er sogar bei über 40 %. Insgesamt sind in der Region über 8.000 Unternehmen im Bereich Erneuerbare Energien tätig.

Vor allem Windkraft ist in der Küstenregion besonders ausgeprägt. Die bereits installierten Windenergieanlagen haben eine Leistung von über 21 GW (siehe Tabelle 8), das entspricht 40 % der bundesweiten Leistung. In den letzten Jahren ging der Ausbau neuer Anlagen stark voran. Insbesondere 2017, das noch unter die frühere Ausbauförderung des EEG fiel, verzeichnete die Region einen hohen Nettozubau von 1,8 GW. Zuletzt fiel der weitere Ausbau der Windenergie unter dem Ausschreibungsregime des novellierten EEG gedämpft aus.

Tabelle 8: Anzahl Anlagen und installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in der Norddeutschen Windregion

	MV	NI	SH
Anlagen			
Wind Onshore	1.818	6.197	3.272
Photovoltaik	17.597	162.118	47.092
Biomasse	563	2.880	929
Biogas	527	2.917	837
Wasserkraft	26	244	24
Tiefen-Geothermie	3	0	0
Installierte Leistung in MW			
Wind Onshore	3.245	11.080	6.727
Photovoltaik	1.878	3.930	1.667
Biomasse	360	1.629	542
Biogas	291	1.364	497
Wasserkraft	3	77	2
Tiefen-Geothermie	0	0	0



Quelle: Eigene Darstellung nach AGEE-Stat (2018), Datenbasis Grafik: Marktstammdatenregister (2019).

Niedersachsen versteht sich als Motor und Treiber der Energiewende. Das Bundesland kann nahezu 60 Prozent des Strombedarfs durch erneuerbare Energien decken. Niedersachsen hat mit Abstand die meisten Onshore-Windkraftanlagen deutschlandweit und will diese Vorreiterrolle auch weiter ausbauen. 2016 verabschiedete die niedersächsische Landesregierung das an einem Runden Tisch entworfene Leitbild einer nachhaltigen Energie- und Klimaschutzpolitik. Ziel ist es, die derzeitige Stromerzeugung nahezu vollständig auf regenerative Energieträger umzustellen. Weitergehend strebt das Bundesland an, bis 2050 rund 100 Prozent des Strombedarfs mit erneuerbaren Energien zu decken und darüber hinaus mehr Leistung zu generieren als es benötigt. Dies entspricht einem Ausbauziel von ca. 20 GW an Windkraftleistung.

Schleswig-Holstein verabschiedete 2017 das Energiewende- und Klimaschutzgesetz, welches richtungweisend für den Ausbau der erneuerbaren Energien ist. Die landesweiten Ziele beinhalten u.a. die Verminderung der Treibhausgasemissionen um 40 Prozent bis 2020 sowie um 80 – 95 Prozent bis 2050 und weitergehend einen Ausbau auf 37 TWh Strom aus erneuerbaren Energien bis 2025. Die derzeit ca. 8,5 GW installierte Wind-Onshore-Leistung soll auf 10 GW gesteigert werden. Darüber hinaus soll auch Wind-Offshore weiter ausgebaut werden. Hierzu hat sich das Bundesland mit den benachbarten Bundesländern mit Küstenregionen zusammengeschlossen.

Wie auch Niedersachsen und Schleswig-Holstein kommt dem Bundesland Mecklenburg-Vorpommern eine wichtige Rolle bei der Windenergieerzeugung zu. Das Bundesland ist sehr ertragreich und kann bereits seit vielen Jahren den eigenen Energiebedarf des Landes bilanziell durch erneuerbare Energien decken. 2015 entwickelte das Land eine Energiepolitische Konzeption, welche zum Ziel hat, die Windenergie auf rund 20 TWh zu steigern, wobei sich diese auf 60% Wind-Onshore und 40% Wind-Offshore verteilt.

Die besondere Bedeutung der Windkraft in der Region zeigt sich auch in der Beschäftigung. 2018 waren knapp 18.000 Personen in diesem Bereich beruflich tätig. Gegenüber 2010 hat sich dieser Wert annähernd verdoppelt. Trotz des bisher starken Wachstums ist im Hinblick auf die weitere Entwicklung mit Schwankungen zu rechnen. Der Ausbau der Windkraft an Land liegt in den Jahren 2018 und 2019, u.a. auf Grund von Problemen in der Genehmigungspraxis, deutlich unter den Erwartungen. Aktuelle Untersuchungen (u.a. Prognos 2019) gehen von Beschäftigungseinbrüchen aus, wenn der Ausbau auf diesem Niveau stagniert. Die übrigen erneuerbaren Energien verzeichnen insgesamt 21.000 Erwerbstätige und waren in der Region im Vergleich zu 2010 rückläufig. Darüber hinaus entfallen auf das Segment Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien knapp 11.000 Erwerbstätige 2018. Insgesamt verzeichnet die Region somit im Jahr 2018 knapp 50.000 Erwerbstätige durch erneuerbare Energien entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die Bruttowertschöpfung zeichnet ein ähnliches Bild. Hier entfallen 2,1 Mrd. Euro auf die Windenergie und weitere 2,3 Mrd. Euro auf die übrigen erneuerbaren Energien. Die Unternehmensstruktur ist bezeichnend von der Windenergie geprägt und konnte gegenüber 2010 deutlich wachsen. Während im Jahr 2010 etwa 1500 Unternehmen der Windenergie zugeordnet werden konnten waren es im Jahr 2017 nahezu dreimal so viele. Der Nettozubaue vollzog sich besonders ausgeprägt in Niedersachsen und Schleswig-Holstein zwischen 2013 und 2017. Die Windenergie ist hierdurch zunehmend von Unternehmen im Bereich Wartung und Betrieb, aber auch Betreibergesellschaften geprägt.

Der Ausbau der Windenergie in Mecklenburg-Vorpommern, wie auch in vielen anderen Bundesländern, stößt auf Akzeptanzprobleme. Das 2014 gegründete Aktionsbündnis „Freier Horizont“ vereint nach eigenen Angaben 50 Bürgerinitiativen und setzt sich aktiv gegen Windkraftanlagen in Mecklenburg-Vorpommern ein. 2016 gründete das Bündnis zudem eine eigene Partei und trat bei den Landtagswahlen an. Die Partei fordert u.a. das Aussetzen des Ausbaus der Windenergie, eine Überarbeitung des EEGs hin zu der Abschaffung von Ökostromsubventionierung, den gleichberechtigten Einbezug von Bürgern und Kommunen bei der Ausweisung von Eignungsräumen und größere Abstände zu Wohnbebauung.

Das Bundesland reagiert auf den Widerstand mit zahlreichen Maßnahmen zur Akzeptanzsicherung. 2016 wurde ein Bürger- und Gemeindebeteiligungsgesetz erlassen, welches Bürger aktiv einbindet und die Möglichkeit bietet zur finanziellen Beteiligung an der Wertschöpfung der Anlagen. Die Projektierer der Windkraftanlagen müssen den Bürgern, die in einem Radius von 5km um die Anlage ansässig sind, eine Beteiligung von mindestens 20% an der Anlage ermöglichen. Dies ist deutschlandweit das einzige Beteiligungsgesetz.

i

Lokalbeispiel Windenergie: Region Ostfriesland

Der Region Ostfriesland besteht aus den Landkreisen Aurich, Leer und Wittmund sowie der kreisfreien Stadt Emden. Die Region erstreckt sich über 3142 km², mit einem Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Gesamtfläche von etwa 74%. Von den insgesamt 159.000 Beschäftigten arbeiten zu 28% im produzierenden Gewerbe sowie 26% in Handel, Gewerbe und Verkehr (Destatis, 2019).

Ein bedeutender Wirtschaftsfaktor in der Region ist die Windkraft, und dies über sämtliche Wertschöpfungsstufen von der Herstellung, dem Banken und Versicherungswesen,

der Errichtung, dem Betrieb und der Wartung.

Der bedeutendste Akteur in Ostfriesland ist der Windenergieanlagenhersteller Enercon. Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in Aurich und entwickelt, produziert und vertreibt neben getriebelosen Windenergieanlagen weitere regenerative Energie- und Umwelteinrichtungen. Darüber hinaus werden umfassende Serviceleistungen für Windenergieanlagen angeboten sowie eigene Windparks entwickelt und betrieben (Enercon, 2019). Laut GWEC (2018) betrug der Anteil von Enercon-Anlagen knapp 7% der weltweiten Neuinstallationen. Der Umsatz der internationalen Unternehmensgruppe belief sich 2017 auf über 5 Mrd. Euro. Enercon beschäftigt an seinem größten Produktionswerk in Aurich 5400 Mitarbeiter. Gleichwohl hat Enercon angekündigt, aufgrund einer schwächeren Nachfrage auf dem deutschen Markt und einer Expansion im Ausland, Zulieferverträge zu kündigen, die mit Stellenabbau in der Region verbunden sind (energate, 2019)

Neben der Herstellung ist der Betrieb der Windkraftanlagen ein wesentlicher Faktor der lokalen Wertschöpfung. In den drei ostfriesischen Landkreisen waren Ende 2017 rund 1.075 Windkraftanlagen installiert (Taz, 2019). Unter Annahme durchschnittlicher Anlagengrößen und Vollbenutzungsstunden für Niedersachsen ergibt dies eine Stromerzeugung von 2.5 TWh. Bei einer durchschnittlichen Vergütung von 7 cent/kWh läge der Stromerlös bei 172 Mio. Euro. Die erwirtschafteten Umsätze bleiben jedoch nur bei ortsansässigen Betreibergesellschaften in der Region. Beispiele kommunaler Wertschöpfung sind daher insbesondere Windparks wie Timmeler Kap und Bagband, an denen als Bürgerwindgesellschaften jeweils 293 bzw. 140 Gesellschafter beteiligt sind und deren Stromerlöse zu großen Teilen in der Region ausgeschüttet werden (Kommunal-erneuerbar.de, 2018). Weitere regionale Wertschöpfung kann, je nach Beteiligung regionaler Firmen über die Planung, Errichtung sowie die Wartung der Anlagen erfolgen.

Die Akzeptanz der Windkraft in der Region ist gespalten: Während Handelskammer, Politiker und Unternehmer sich für den Ausbau von erneuerbaren Energien aussprechen (Kommunal-erneuerbar, 2018) hat der Umweltverband NABU Ostfriesland 2017 ein Ausbaumoratorium für die Region Ostfriesland aufgrund der hohen Anzahl an Anlagen und dessen Auswirkung auf die Vogelwelt gefordert (Taz, 2017).

2.2.3 Südostdeutsche Solarenergieregion

EE-Profil Südostdeutsche Solarenergieregion

Bedeutung Erneuerbarer Energien

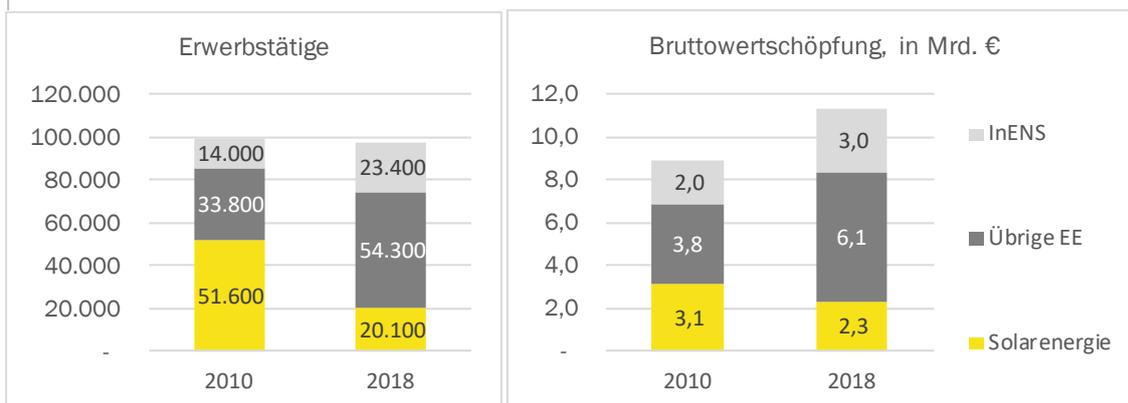
- Anteil am Primärenergieverbrauch 2016
BW: 12,7 %; BY: 17,9 %; BB: 18,4 %
- Anzahl der Unternehmen 2017: 16.700

Profil Solarenergie:

- Installierte Leistung 2018: 22,1 GW
- Zubau 2018: 1,3 GW; 2017: 0,8 GW
- Anzahl der Unternehmen 2017: 5.500



Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte

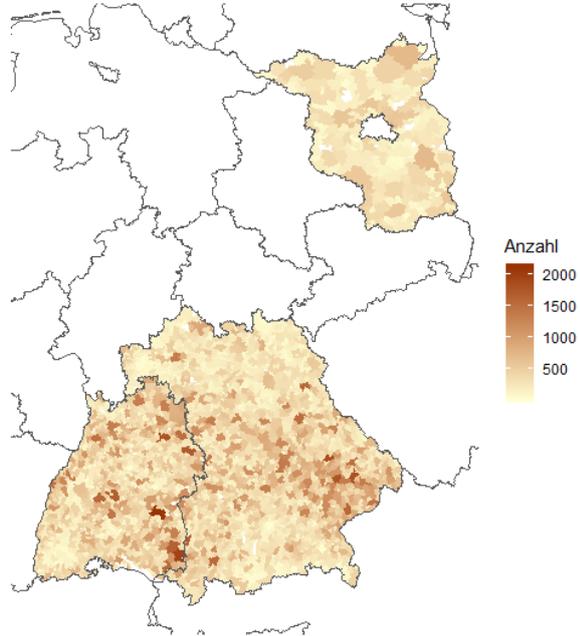


Quellen: AEE-Stat. 2018 sowie eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Bundesamts

Photovoltaik war lange Zeit die prägende Technologie der Energiewende und wurde insbesondere in den sonnenreichen Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern und Brandenburg stark ausgebaut. Auch wenn der aktuelle Ausbau deutlich unterhalb des Zubaus der Boom-Jahrgänge 2010 bis 2012 liegt, spielt die Solarenergie nach wie vor eine sehr wichtige Rolle im Energie-Mix dieser Länder. Die installierte Leistung in der betrachteten Region beträgt über 22 GW (siehe Tabelle 9) und damit knapp die Hälfte der deutschlandweiten Kapazitäten. Zuletzt fand zudem ein nennenswerter weiterer Nettozubau statt. Auch in Deutschland insgesamt gewinnt die Solarenergie wieder stärker an Bedeutung. Im Jahr 2018 hat sich der gesamtdeutsche Zubau im Vergleich zu den Vorjahren annähernd verdoppelt.

Tabelle 9: Anzahl Anlagen und installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in der Südostdeutschen Solarregion

	BW	BY	BB
<i>Anlagenzahl</i>			
Wind Onshore	760	1.212	3.810
Photovoltaik	327.911	550.792	38.752
Biomasse	1794	3.805	536
Biogas	1.215	2.964	464
Wasserkraft	1.585	3.442	39
Tiefen-Geothermie	1	23	2
<i>installierte Leistung in MW</i>			
Wind Onshore	1.602	2.505	7.104
Photovoltaik	5.819	12.545	3.703
Biomasse	852	1.755	444
Biogas	501	1.369	284
Wasserkraft	884	2.674	4
Tiefen-Geothermie	1	33	0



Quelle: Eigene Darstellung nach AGEE-Stat (2018), Datenbasis Grafik: Marktstammdatenregister (2019).

In Bayern findet in absoluten Zahlen der meiste Ausbau an Photovoltaikanlagen statt. Bayern hat sich zum Ziel gesetzt, 20 Prozent des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien bis 2025 zu leisten. Weitergehend sollen bis 2025 70 Prozent der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien kommen. Der Energieträger Photovoltaik prägt das Bundesland, da hier wenige Akzeptanzprobleme vorherrschen. Das Bundesland strebt derzeit an, Photovoltaik-Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen stark auszuweiten. Hemmnisse für die Energiewende gibt es hauptsächlich beim Ausbau von Windkraftanlagen, u.a. durch die 10-H-Regel oder auch beim Aufbau von Stromtrassen (siehe Kapitel 2.3.2).

Baden-Württemberg belegt Platz zwei bei der Anzahl an installierten Leistungen von Photovoltaik-Anlagen. 2013 verabschiedete Baden-Württemberg als erstes Bundesland ein Klimaschutzgesetz, welches das Land verpflichtet, die Treibhausgase bis 2050 um 90 Prozent zu senken. Der derzeitige Anteil der Solarenergie an der Bruttostromerzeugung von 8,7 Prozent soll auf 12 Prozent erweitert werden. Weitergehend arbeitet das Bundesland daran, die Rahmenbedingungen für Photovoltaik auf Freiflächen zu verbessern.

Brandenburg hatte 2018 im Ländervergleich die meisten Sonnenstunden. Das Bundesland ist sehr motiviert, den Anteil der erneuerbaren Energien zu steigern und den Anteil der Energie aus Stein- oder Braunkohle, welcher bislang noch zwei Drittel an der Stromerzeugung ausmacht, zu senken. Bereits seit 2006 verfügt das Land über eine eigene Energiestrategie. Diese hat als Hauptziel, den Primärenergieverbrauch bis 2030 im Vergleich zu 2007 um 20 Prozent zu senken. Der Anteil von 28,5 Prozent (2016) der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung soll darüber hinaus auf 32 Prozent gehoben werden. Neben der Solarindustrie verfügt das Land auch über eine bedeutende Windbranche.

Die oftmals kleinen, dezentralen Anlagen entfalteten insbesondere in der höchsten Ausbauphase rund um das Jahr 2010 eine hohe Beschäftigungswirkung. Damals waren allein in der südost-deutschen Region über 50.000 Erwerbstätige direkt oder indirekt im Bereich der Solarenergie tätig. Ab 2012 gingen die Erwerbstätigenzahlen u. a. durch den zunehmenden internationalen Wettbewerb in der Herstellung von PV-Modulen deutlich zurück. Der Ausbau neuer PV-Anlagen sank zudem deutlich. 2018 sind in der Region noch gut 20.000 Personen in der Solarenergie tätig. Andere EE-Technologien haben mittlerweile in der Region ebenfalls eine hohe Bedeutung erlangt, allen voran die Bioenergie. Insgesamt sind dort weitere 54.000 Erwerbstätige beschäftigt. Zusammen mit dem Segment Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien sind somit knapp 100.000 Erwerbstätige in der regenerativen Energiewirtschaft der drei Länder tätig.

Die rund 17.000 Unternehmen im Bereich der regenerativen Energiewirtschaft erwirtschaften eine Bruttowertschöpfung von über 11 Mrd. Euro (2018). Davon entfallen über 2 Mrd. Euro auf die Solarenergie. Die Unternehmensstruktur in der Solarregion ist jedoch von den veränderten Rahmenbedingungen geprägt. Während in 2010 die meisten Unternehmen mit Abstand dem Bereich Montage und Installation zuzuordnen waren, waren 2017 die größte Anzahl an Solar Unternehmen im Bereich Betrieb und Wartung tätig. Dies spiegelt die Entwicklung des Nettozubaues wider, der zwischen 2010 und 2012 seinen Höchststand erreichte. Der Schwerpunkt der Unternehmen hat sich daher von Solarinstallationen eher hin zu Reparaturarbeiten verlagert. In diesem handwerklichen Dienstleistungsbereich ist jedoch eine klare Abgrenzung schwierig.

Diskussionen zur Akzeptanz entstehen im Bereich der Solarenergie größtenteils im Bereich der Freiflächenanlagen, sind aber weniger stark ausgeprägt als Diskussionen zu Windenergie und Stromtrassenausbau. Die Akzeptanz von Freiflächenanlagen wird insbesondere im Kontext der landwirtschaftlichen Flächenkonkurrenz diskutiert. In Bayern, wo vor 2010 ein großer Anteil Freiflächenanlagen auf Ackerflächen errichtet wurde, sank die Akzeptanz der Anlagen merklich. Mit dem EEG 2010 wurde schließlich die Förderung von Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen begrenzt, Zwar wurde mit dem EEG 2017 den Bundesländern eingeräumt die Nutzung von Ackerflächen innerhalb benachteiligter Gebiete per Rechtsverordnung zuzulassen, allerdings haben sich bisher wenige Bundesländer für eine solche Maßnahme entschieden (ZSW 2019).

Lokalbeispiel Solarenergie: Landkreis Oberspreewald-Lausitz

Der Landkreis Oberspreewald-Lausitz liegt im Süden Brandenburgs und ist mit einer Fläche von 1.233 km² einer der kleinsten Landkreise des Bundeslandes. Der Landkreis hat eine Bevölkerung von ca. 111.000, wovon etwa 41.000 sozialversicherungspflichtig beschäftigt sind (OSL, 2018).

Laut Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur sind in dem Landkreis 2315 Solare Erzeugungseinheiten mit einer kumulativen Nettonennleistung von ca. 450 MW installiert. Hiervon stellen 77 Anlagen Freiflächenanlagen mit einer Gesamtleistung von 376 MW dar. Die restlichen über 2000 Anlagen mit einer Leistung von 64 MW sind meist kleinere Aufdach- oder gebäudeintegrierte Anlagen mit einer Nennleistung kleiner 10 kW. Die Stadtwerke Senftenberg betreiben darüber hinaus Deutschlands größte Solarthermieanlage mit einer in das Fernwärmenetz eingespeisten Wärmemenge von ca. 4 GWh.

Auf den Kippenflächen des ehemaligen Tagebaus Meuro bei Senftenberg ist mit einer Leistung von 168 MW und einer rechnerischen Stromversorgung von 80.000 Haushalten 2011 die zwischenzeitlich größte Solaranlage der Welt entstanden. Lokale Wertschöpfung findet hierbei vor allem über die Pachtverträge mit der Stadt Senftenberg und der Agrargenossenschaft Großräschen AG (LMBV, 2013), aber auch Gewerbesteuererinnahmen der Stadt und lokalen Handwerksleistungen statt. Die Herstellung der über 600.000 Module von Canadian Solar erfolgte im Ausland, an der Finanzierung waren unter anderem die DKB, die Bremer Landesbank und die Umweltbank beteiligt (Saferay, 2013). Betrieben werden die Anlagen von Saferay Europe GmbH und GP Joule GmbH mit Sitz in Berlin.

Die Stadt Senftenberg hat 2013 die rechnerischen Wertschöpfungseffekte durch die Errichtung und den Betrieb von Anlagen auf etwa 415.000 Euro pro Jahr beziffert, wovon mehr als die Hälfte aus dem Betrieb von Photovoltaikanlagen entstehen. Größte Anteile sind mit 168.000 Euro die Gewinne der beteiligten Unternehmen bzw. mit 148.000 Euro die Netto-Einkünfte der Beschäftigten. Dachflächenanlagen mit einer Leistung kleiner 30 kW werden hierbei zu 100% von ortsansässigen Firmen installiert und gewartet. Bei großen Freiflächenanlagen wird in der Analyse davon ausgegangen, dass ortsansässige Firmen bei Planung und Installation nicht und bei der Wartung zu 10 % beteiligt sind. Auch die lokale Beteiligung am Umsatz ist mit dem Sitz der Betreibergesellschaften und der Eigenkapitalgeber nur mit 5% angegeben. Die Steuereinkommen durch die Errichtung und den Betrieb von Erneuerbaren Energieanlagen in der Region belaufen sich laut der Analyse auf knapp 98.000 Euro (ThINK 2013).

Neben der regionalen Wertschöpfung durch die Photovoltaik bewirken erneuerbare Energien auch weitere Wertschöpfungseffekte, beispielsweise durch die Herstellung von Rotorblättern durch die Vestas Blades Deutschland GmbH auf dem Areal einer ehemaligen Brikettfabrik mit etwa 540 Mitarbeitern (Wirtschaftsregion Lausitz, 2019).

2.2.4 Mitteldeutsche Bioenergieregion

EE-Profil Mitteldeutsche Bioenergieregion

Bedeutung Erneuerbarer Energien

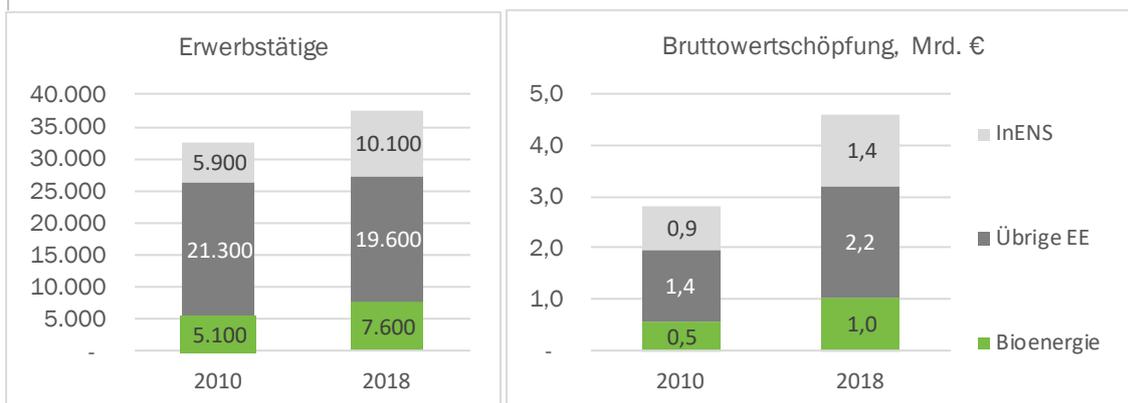
- Anteil am Primärenergieverbrauch 2016
HE: 9,4 %; ST: 18,7 %; TH: 24,5 %
- Anzahl der Unternehmen 2017: 5.900

Profil Bioenergie (Stromerzeugung):

- Installierte Leistung 2018: 1,0 GW
- Zubau: k.A.
- Anzahl der Unternehmen 2017: 2.000



Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte

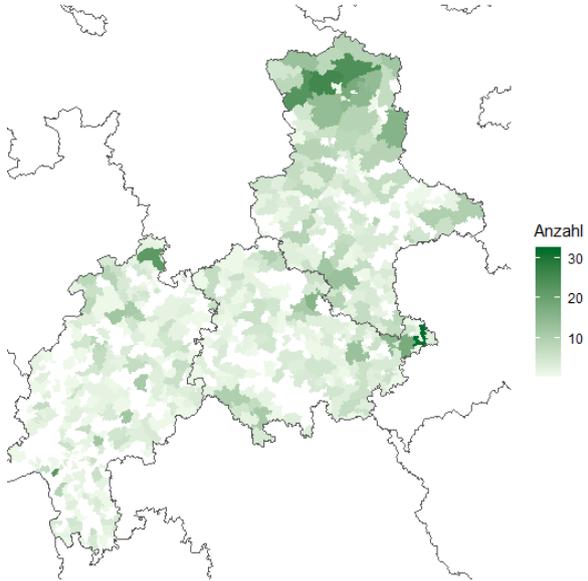


Quellen: AEE-Stat. 2018 sowie eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Bundesamts

Die Bioenergie deckte 2017 unter den erneuerbaren Energieträgern mit 7,4% den größten Anteil am Primärenergieverbrauch. Durch die vielseitige Nutzung der Biomasse kann diese zur Wärmebereitstellung (Raumwärme und Hochtemperaturwärme), Stromerzeugung und Kraftstofferzeugung eingesetzt werden. Während die installierte Leistung der Bioenergie im Vergleich zur Wind- und Solarenergie eher gering ausfällt, stellt sie bei der Stromerzeugung auf Grund hoher Vollbenutzungsstunden die zweitbedeutendste erneuerbare Energiequelle dar. 2018 waren in Hessen, Sachsen-Anhalt und Thüringen Biomasse-Anlagen mit ca. 1 GW elektrischer Leistung installiert. Die elektrische Leistung der Biogasanlagen belief sich auf etwas über 500 MW (vgl. Tabelle 10). Neue Anlagen kommen kaum hinzu. Ab 2020 ist auf Grund der auslaufenden EEG-Förderung vielmehr mit einem Rückgang von Biomasseanlagen zur Stromproduktion zu rechnen.

Tabelle 10: Anzahl Anlagen und installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in der Mitteldeutschen Bioenergieregion

	HE	SA	TH
<i>Anlagen</i>			
Wind Onshore	928	2.860	909
Photovoltaik	115.460	29.612	30.444
Biomasse	493	460	352
Biogas	327	415	280
Wasserkraft	495	57	209
Tiefen-Geothermie	1	0	0
<i>Installierte Leistung in MW</i>			
Wind Onshore	2.071	5.122	1.648
Photovoltaik	2.054	2.503	1.464
Biomasse	266	462	256
Biogas	148	252	134
Wasserkraft	81	28	31
Tiefen-Geothermie	0	0	0



Quelle: Eigene Darstellung nach AGEE-Stat (2018), Datenbasis Grafik: Marktstammdatenregister (2019).

Das Bundesland Hessen will laut Koalitionsvertrag 2019 der Landesregierung an den Zielen des Energiegipfels aus dem Jahr 2011 festhalten. Nach dem Gipfel war ein Biomasseaktionsplan veröffentlicht worden, aus dem hervorgeht, dass der Ausbau von Biorohstoffen ein Schwerpunkt der hessischen Energiepolitik ist. Das Bundesland Hessen möchte bis 2020 rund 20 TWh aus erneuerbaren Energien gewinnen. Die Leistungen aus Biomasseanlagen sollen dabei knapp die Hälfte, 9,5 TWh, generieren. Perspektivisch geht das Bundesland davon aus, dass mehr als 13 TWh durch Biomasse erzeugt werden können.

In Sachsen-Anhalt besteht der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch zu ca. 65 Prozent aus Bioenergie. Perspektivisch wird davon ausgegangen, dass das Bundesland seine Leistungen aus Biomasse nicht weiter erhöhen kann und diese tendenziell zurück gehen werden, da viele Anbaugelände für die Rohstoffe in Konkurrenz mit Anbauflächen für Nahrungsmittel stehen.

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in Thüringen besteht zu nahezu 80 Prozent aus Biomasse. Seit 2014 verfügt Thüringen über ein Bioenergieprogramm. Bis 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Nettostromverbrauch auf 45 Prozent steigen. Biomasse soll davon 20 Prozent ausmachen. Übergreifendes Ziel der Regierung ist es, bis 2040 den Eigenenergiebedarf bilanziell decken zu können. Das Bundesland setzt sich nicht nur innerhalb des Landes für den Ausbau der Bioenergie ein, sondern trägt das Thema auch in den Bundesrat. Im Juni 2019 stellte Thüringen gemeinsam mit Rheinland-Pfalz einen Antrag zum Erhalt und Ausbau der Bioenergie-Anlagen im Kontext des auslaufenden EEG.

Bioenergie entfaltet insbesondere in Bundesländern mit ausgeprägter Land- und Forstwirtschaft seine Potenziale. Hessen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zeichnen sich hier besonders aus. In

den drei Ländern beschäftigen ca. 2.000 Unternehmen knapp 8.000 Erwerbstätige in der Bioenergie und generieren eine Bruttowertschöpfung von 1 Mrd. Euro. Die übrigen erneuerbaren Energien spielen in der Region mit zusammen knapp 20.000 Erwerbstätigen ebenfalls eine wichtige Rolle. Insgesamt gehen auf erneuerbare Energien sowie das Segment Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichertechnologien knapp 38.000 Erwerbstätige und eine Bruttowertschöpfung von 4,5 Mrd. Euro zurück.

In der Bioenergieregion vollzog sich, wie in den Wind- und Solar-Regionen, der größte Unternehmenszuwachs im Bereich Betrieb und Wartung. Der größte Nettozubau fand in dieser Region zwischen 2010 und 2014 statt und flachte danach ab. Eine Besonderheit stellen der Betrieb von Biogasanlagen und ihre Erzeugung von Strom in Branchen der laufenden landwirtschaftlichen Aktivitäten dar.

Akzeptanzdiskussionen im Bereich der Bioenergie entstehen laut einer Umfrage der Universität Göttingen insbesondere durch die Flächenkonkurrenz von landwirtschaftlichen Anbauflächen für den Anbau von Energiepflanzen. Die Verwertung von Restprodukten aus der Landschaftspflege oder Gülle wird weniger kritisch bewertet (Wüste, 2013).



Lokalbeispiel Bioenergie: Bioenergieregion Jena-Saale-Holzland

Die Bioenergieregion Jena-Saale-Holzland besteht aus dem Saale-Holzland-Kreis, Teile des Landkreises Greiz sowie der Stadt Jena im Osten Thüringens. Die Region hat eine Fläche von 817 km² und etwa 192.000 Einwohner. Die Fläche wird zu 51% landwirtschaftlich und 35% forstwirtschaftlich genutzt. (TMLFUN, 2011)

Unter Leitung einer Dachorganisation Regionale Aktionsgruppe Saale-Holzland e.V. wurde das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2020 den Biomasseanteil am Strommix auf 25% sowie im Wärmebereich auf 35% zu steigern. Zur Umsetzung dieser Ziele wurde vorrangig auf den Bau kleiner, mit biogenen Reststoffen betriebener Erzeugungsanlagen, die Nutzung von Landschaftspflegematerial und der Anbau alternativer Energiepflanzen gesetzt (RAG Saale-Holzland, 2015). Das Entwicklungskonzept wurde von 2012 bis 2015 vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert.

Das Akteursspektrum der Regionalen Aktionsgruppe reicht von Vertretern der Kommunalpolitik, Agrarbetrieben, dem Bauernverband, Tourismusverband, Vertretern aus Wirtschafts- und Sozialbereichen bis zu der Sparkasse. Des Weiteren wird von der Regionalen Aktionsgruppe der Kontakt zu Stadtwerken, forstwirtschaftlichen Betrieben und Abfallunternehmen gesucht, um die gesetzten politischen Ziele zu verwirklichen (RAG Saale-Holzland, 2015).

Die lokalen Wertschöpfungseffekte aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen betragen laut RAG Saale-Holzland (2015) im Jahr 2013 rechnerisch ca. 10 Mio. Euro, wobei die Hälfte von Bioenergieanlagen erwirtschaftet wurde. Etwa 6,75 Mio. Euro entfallen dabei auf Unternehmensgewinne, 1,25 Mio. Euro auf kommunale Steuereinnahmen und ca. 2 Mio. Euro auf Netto-Einkommen der Beschäftigten. Der Hauptbestandteil der lokalen Wertschöpfung entfällt hierbei auf den Betrieb der Anlagen sowie die Bereitstellung der Biomasse. Die Herstellung einzelner Anlagenkomponenten erfolgt außerhalb der Region. Installation und Wartung werden zum Teil durch lokale Betriebe durchgeführt.

2.3 Perspektivische Entwicklung und Betrachtung von Hemmnissen

2.3.1 Ausbaupotenziale im Netzentwicklungsplan

Zur Deckung der Stromnachfrage sieht Szenario B eine Ausweitung der installierten Leistung zur erneuerbaren Stromerzeugung von etwa 118 GW im Jahr 2018 auf etwa 203 GW im Jahr 2030 vor. Der größte Kapazitätswachst entfällt auf die installierte Leistung an Photovoltaik, die sich von 45,2 GW auf 91,3 GW mehr als verdoppelt. Auch die installierte Anlagenkapazität zur Nutzung der Windkraft nimmt stark zu und steigt an Land über den Betrachtungszeitraum von 52,5 GW auf 81,5 GW an. Die Windkraft auf See steigt über denselben Zeitraum von 6,4 GW auf 17 GW an. Andere Erzeugungskapazitäten wie die Wasserkraft oder die Biomasse bleiben konstant oder verringern sich geringfügig.

Gleichzeitig verringert sich der konventionelle Kraftwerkspark von etwa 100 GW auf etwa 71 GW über den Betrachtungszeitraum. Neben dem Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 und der damit einhergehenden Stilllegung der Kernkraftwerke, ist dieser Rückgang insbesondere auf einen Rückgang der Kraftwerkskapazitäten der Stein- und Braunkohle zurückzuführen. Die Kapazität der Steinkohlekraftwerke verringert sich von 23,7 GW im Jahr 2018 auf 9,8 GW im Jahr 2030. Die Kapazitäten zur Stromerzeugung aus Braunkohle verringern sich über diesen Zeitraum von 21,2 GW auf 9,3 GW. Eine leichte Zunahme der installierten Leistung ist hingegen bei Gaskraftwerken von 29,4 GW auf 35,2 GW zu verzeichnen.

Tabelle 11: Kennzahlen zur zukünftigen Entwicklung des Stromsystems
laut Szenario B 2030 des Netzentwicklungsplan 2019

	installierte Leistung in GW			Stromerzeugung in TWh		
	2018	2030	Δ in %	2018	2030	Δ in %
Windkraft an Land	52.6	81.5	55%	92.2	173.8	89%
Windkraft auf See	6.4	17.0	166%	19.3	73.8	282%
Photovoltaik	45.3	91.3	102%	46.2	86.7	88%
Biomasse	7.9	6.0	-24%	43.3	33.8	-22%
Wasserkraft	5.6	5.6	0%	16.5	18.5	12%
sonst. ern. Erzeugung	0.5	1.3	160%	8.1	2.2	-73%
Summe ern. Erzeugung	118.3	202.7	71%	225.6	388.8	72%
Kernenergie	9.5	0	-100%	76.0	0	-100%
Braunkohle	21.2	9.3	-56%	145.5	58.2	-60%
Steinkohle	23.7	9.8	-59%	83.2	57.3	-31%
Erdgas	29.4	35.2	20%	83.4	67.2	-19%
Öl	2.3	1.2	-48%	5.2	0.8	-85%
Pumpspeicher	9.8	11.6	18%	5,6	10.4	85%
sonstige konv. Erzeugung	4.4	4.1	-7%	27.0	20.7	-23%
Summe konv. Erzeugung	100.3	71.2	-29%	425.9	214.6	-50%
Gesamt	52.6	81.5	55%	645.9	603.4	-7%

Quelle: AGEE Stat (2018), NEP Strom 2019

Im Szenario B liegt der Anteil erneuerbarer Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch bei 67% (von insgesamt 590 TWh). Gegenüber dem derzeitigen Anteil (2018) von 37,8 %²⁸ stellt dies eine deutliche Steigerung dar. Unter Berücksichtigung des technologischen Fortschrittes – was die Anlagenauslastung anbelangt – steigert sich die Stromerzeugung aus Windkraft an Land auf 173,8 TWh, gefolgt von Photovoltaik mit 86,7 TWh und Windkraft auf See mit 73,8 TWh. Des Weiteren erlangt Deutschland einen Netto-Erzeugungsüberschuss von 72 TWh, der vorrangig nach West- und Südeuropa exportiert wird. Dieser Ausbau reduziert die Treibhausgasemissionen und die Rohstoffabhängigkeit von konventionellen Energieträgern und leistet somit einen wichtigen energie- und klimapolitischen Beitrag.

2.3.2 Herausforderungen beim Ausbau der erneuerbaren Energien

Szenario B geht für 2030 davon aus, dass 389 TWh Strom aus erneuerbaren Energien in das Stromnetz eingespeist werden, was bei einem Stromverbrauch von 590 TWh einem Anteil von 67% entspricht²⁹. Derzeit liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bei ca. 38%. Um den angestrebten Anteil zu erreichen, muss die installierte Leistung von 2018 bis 2030 entsprechend ausgebaut werden. Diesen Ausbauzielen stehen zahlreiche Herausforderungen in der Erschließung von erneuerbaren Ressourcen gegenüber.

Volatilität und Versorgungssicherheit

Eine grundsätzliche Herausforderung beim Ausbau der erneuerbaren Energien ist die Dargebotsabhängigkeit von Wind und Sonne. Strom kann nur ins Stromnetz eingespeist werden, wenn die Sonne scheint oder der Wind weht. Die Schwankungen der natürlichen Energiequellen entfachen, mit Blick auf den Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 und den ebenfalls bevorstehenden Ausstieg aus der Stein- sowie Braunkohle vor 2050, eine Diskussion um die Versorgungssicherheit. Um zu verhindern, dass es zu Engpässen kommt, werden bereits seit vielen Jahren vielversprechende, insbesondere technologische, Lösungsansätze entwickelt.

Das Speichern von Strom kann der Volatilität entgegenwirken und die Stromversorgung in Deutschland gewährleisten. Hierzu kommen in Deutschland u.a. Pumpspeicher, Druckluftspeicher, EE-Gas, Batteriespeicher und Schwungspeicher zum Einsatz. Die bestehenden Speicherlösungen können allerdings nicht den künftigen Bedarf abdecken. Eine entscheidende Stellschraube bei der Gewährleistung der Versorgungssicherheit sind Investitionen in Forschung und Entwicklung. Insbesondere Technologien für die Wasserstoffwirtschaft und Carbon-Capture-and-Utilization-Verfahren könnten einen entscheidenden Beitrag zur Energiewende liefern.

Eine weitere Möglichkeit der Volatilität der erneuerbaren Energien entgegen zu wirken, bieten Smart Grids. Dabei geht es um eine intelligente Nutzung des Netzes, indem dann Strom verwendet wird, wenn er vorhanden ist. Die Digitalisierung kann in diesem Zusammenhang einen entscheidenden Beitrag zur Energiewende leisten.

Gesellschaftliche Akzeptanzsicherung

²⁸ Quelle: AGEE-Stat

²⁹ Damit liegt das Szenario sogar leicht über dem Ziel der Bundesregierung, den Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf 65% in 2030 anzuheben. Bei 590 TWh Stromverbrauch ist zur Erfüllung des Regierungsziels eine Stromerzeugung aus Erneuerbaren Quellen von 383,5 TWh notwendig. Allerdings ist zu vermerken, dass eine Schwankung der Stromerzeugung und des -verbrauchs durch Wettereinflüsse und Marktbedingungen gegeben ist und die installierte Leistung in bspw. einem schwachen Windjahr zu einer geringeren Stromerzeugung führen kann.

Um die geplante Energiewende der Bundesregierung umzusetzen, braucht es die Akzeptanz der Bürger, Länder und Kommunen. Die Akzeptanzsicherung ist eine der größten Hürden für die Energiewende. Insgesamt wird der Ausbau der erneuerbaren Energien vom großen Teil der Bevölkerung zwar angenommen, jedoch variiert die Akzeptanz je nach Art der Technologie und scheint bei direkter Betroffenheit zu sinken. Laut der AEE-Akzeptanzumfrage befürworteten 93% der Bevölkerung allgemein die Energiewende und den damit verbundenen Ausbau der erneuerbaren Energien. 63% der Bevölkerung finden EE-Anlagen in ihrer unmittelbaren Nähe gut. Mit 77% besteht für Solarparks in der Nähe die höchste Akzeptanz. Windenergieanlagen werden in der näheren Umgebung von 55% akzeptiert, Biogasanlagen von 40%. Mit Blick auf die Übertragung und Verteilung des Stroms sinken die Zustimmungswerte deutlich. Nur 32% fänden es gut, wenn eine Stromtrasse in der Nähe ihres Wohnortes gebaut wird. Die Zustimmungswerte schwanken zwischen den Befragten mit entsprechenden Anlagen in der direkten Nachbarschaft gegenüber solchen, die keine Erfahrungen damit haben. Sind erneuerbare Energien Anlagen in der direkten Nähe, ist die Akzeptanz für den Ausbau um ca. 15% höher.³⁰

Der Ausbau von Stromtrassen, insbesondere Freileitungen, ist in der Gesellschaft ein besonders stark diskutierter Bereich. Für eine erfolgreiche Energiewende ist der Netzausbau jedoch unvermeidbar. Dieser stößt bei Bürgern sowie auch vereinzelt bei Politikern auf Akzeptanzprobleme. Es besteht oftmals eine ablehnende Haltung, wenn Trassen in der Nachbarschaft errichtet werden sollen. Ein exemplarisches Beispiel für die Hürden beim Netzausbau ist die geplante Süd-Ost-Passage (SuedOstLink) von Sachsen-Anhalt nach Bayern.

i

SuedOstLink

Die ca. 600km lange Gleichstromtrasse SuedOstLink ist ein Projekt von 50Hertz Transmission und TenneT. Der Korridor soll den Strom aus den windreichen Ostregionen in das windarme Süddeutschland transportieren und ist somit entscheidend für die Energiewende. Im Netzentwicklungsplan 2012 wurde der Bedarf der Stromtrasse von Ostdeutschland nach Süddeutschland festgeschrieben. Die bayerische Staatsregierung zweifelte die Notwendigkeit an. Unterstützend schlossen sich 70 Bürgerinitiativen zu dem Aktionsbündnis gegen die Süd-Ost-Trasse zusammen und demonstrierten gegen die geplante „Monstertrasse“.

Zur Steigerung der Akzeptanz von Stromtrassen verabschiedete der Bundestag 2015 das Gesetz zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus, welches einen Vorrang für Erdkabel für HGÜ-Leitungen festlegt. Die Erdverkabelung wurde auf Grund des Widerstands der bayerischen Staatsregierung zentrale Voraussetzung für den Bau der Stromtrasse. Somit setzten 50Hertz und TenneT die Trassenplanung 2016 neu auf. Die grundsätzliche Debatte um die Trasse, das aufwendige Planungsverfahren und die verpflichtende Entscheidung der Erdverkabelung verzögern die Fertigstellung um einige Jahre und steigern die Kosten maßgeblich. Derzeit befindet sich das Projekt im Genehmigungsverfahren und soll 2025 den Betrieb aufnehmen.

Im Mai 2019 trat das Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG 2.0) in Kraft, welches länder- und grenzübergreifend den Ausbau regelt und vorantreiben soll.

³⁰ AEE-Akzeptanzumfrage (2018)

Darüber hinaus treffen insbesondere Onshore-Windanlagen immer wieder auf heftige Kritiker. Im Kontext vom Ausbau der erneuerbaren Energien beschäftigen sich die meisten Bürgerinitiativen mit Windkraftanlagen. In windintensiven Bundesländern wie Mecklenburg-Vorpommern gibt es eine besonders große Basis an Windkraft-Gegnern.

Für die Akzeptanzprobleme gibt es zahlreiche Beweggründe wie der Natur- und Artenschutz (s.u.), Lärm- und Geruchsemissionen, den Eingriff in das Landschaftsbild oder auch Infraschall und den Schattenschlag der Rotorblätter der Windkraftanlagen. Um diesen entgegen zu wirken, wird versucht, möglichst viel Transparenz zu schaffen und die Bevölkerung miteinzubinden, wie bspw. beim Konsultationsverfahren beim NEP. Diese Dialogverfahren sind oftmals sehr zeitaufwendig und hemmen den benötigten Ausbau von erneuerbaren Energien. Auch bei Solaranlagen kommt es auf Grund der benötigten Flächen mitunter zu Akzeptanzproblemen.

Weniger Widerstand gibt es bei Offshore-Wind- und Solaranlagen. Der NEP nimmt im Szenario B hierauf Bezug und modelliert eine 166%-Steigerung von Wind-Offshore. Die Offshore-Potenziale sind jedoch begrenzt, da dies nur in bestimmten Regionen Deutschlands möglich ist. Auch in Zukunft bleibt die Windenergie an Land die Schlüsseltechnologie für die Energiewende. Grundsätzlich muss demnach die Akzeptanz deutschlandweit sowohl für die Anlagen als auch für die Trassen gesichert werden.

Raumplanung und der Flächenbedarf

Neben den Akzeptanzproblemen besteht eine Herausforderung beim Flächenbedarf und der Ausweisung von Eignungsgebieten. Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die Anlagen dort zu errichten, wo die höchsten Stromerzeugungspotenziale bestehen. Der für den Ausbau benötigte Raum konkurriert allerdings mit Nutzungsansprüchen auf Wohn- und Gewerbeflächen, Verkehrsinfrastrukturen sowie Naturschutz- und Naherholungsgebiete. Weitergehend fehlt es an der Netzinfrastruktur für den Strom, weshalb der Strom aus dem windreichen Norden nicht in den verbrauchsintensiven Süden kommt. Für die Energiewende ist eine raumverträgliche und gesellschaftlich akzeptierte Raumplanung entscheidend.

10-H-Regel in Bayern

Regionale Restriktionen wie die 10-H-Regel in Bayern hemmen den Ausbau der erneuerbaren Energien. Nach der 10-H-Regel muss seit 2014 der Abstand eines Windrads zur nächsten Wohnbebauung 10-mal so weit sein, d.h. bei einer 200 Meter hohen Windanlage beträgt der Mindestabstand zum nächsten Wohnhaus also 2.000 Meter. Bundesweit liegt der Mindestabstand bei 600 Metern.

Somit stehen im bundesweiten Vergleich in Bayern mit unter 1% deutlich weniger Flächen für Windkraft zur Verfügung. Dies zeigt sich auch in der Antragstellung zur Errichtung eines Windrads. Diese sind im Freistaat seit 2014 deutlich zurückgegangen. 2017 gab es bspw. lediglich 4 Anträge für Windkraftanlagen. Im Jahr 2013 lag die Zahl der Bauanträge dagegen bei 400. Auch in anderen Bundesländern wie bspw. in Brandenburg werden Abstandsregelungen von bis zu 2000 Metern diskutiert. Solch eine Regelung steht jedoch im Konflikt zu den Ausbauzielen. Bereits ein Mindestabstand von 1000 Metern würde laut Umweltbundesamt viele verfügbare Flächen um 50% reduzieren.

Die politischen Gegebenheiten in den Bundesländern haben somit einen entscheidenden Einfluss auf den Ausbau der erneuerbaren Energien. Folglich ist auf Bundesebene das Thema der Abstandsregelungen im Kontext der Akzeptanzsicherung von großer Bedeutung. Im Januar 2019 tagte erstmalig eine Arbeitsgruppe der Koalitionsfraktionen im Bundestag zu dieser Thematik, die AG Akzeptanz / Energiewende. Ziel ist es, Wege zu finden und Rahmenbedingungen zu schaffen, um das angestrebte Ausbauziel von 65% bis 2030 und die Akzeptanz der Bevölkerung zu sichern.

Solar- oder auch Windparks benötigen viel Platz. Eine 2018 von Prognos durchgeführte Studie für den WWF zeigt, dass es allerdings nicht grundsätzlich an Platz für den Ausbau fehlt. Unter Berücksichtigung von Abstandsregelungen sowie Natur- und Artenschutz stehen ausreichend Flächen für erneuerbare Energien zu Verfügung. Die benötigte Ausbaufäche entspricht gerade mal 2,5% der bundesweiten Fläche. Jedoch stehen der theoretischen Verfügbarkeit langwierige Genehmigungs- und Planungsverfahren gegenüber, welche den Ausbau verzögern. Hinzu kommen regulatorische Hürden, wie der in den Ausschreibungen festgelegte Zeitrahmen von zweieinhalb Jahren für die Inbetriebnahme von Windkraftanlagen. Da allerdings zunehmend Rechtsstreitigkeiten die Inbetriebnahme von Windkraftanlagen blockieren, kann die Frist nicht immer eingehalten werden. Den Investoren drohen Strafzahlungen oder auch der Entzug der Baugenehmigung.

Ressourcen-, Natur- und Artenschutz

Eine weitere Aufgabe bei dem Ausbau der erneuerbaren Energien ist die Balance von Klima- und Umweltschutz. Bei der Herstellung von Windanlagen, PV-Anlagen oder auch weitergehend bei E-Autos kommen Rohstoffe wie z.B. Kobalt zum Einsatz, deren Förderung im außereuropäischen Ausland (vgl. Kap.1.4) z.T. mit unzureichenden sozialen Bedingungen bzw. Gesundheits- und Umweltbelastungen für die dortige Bevölkerung verbunden ist. Hieraus ergeben sich in Deutschland Herausforderungen etwa für das Recycling oder hinsichtlich unternehmerischer Sorgfaltspflichten bei dem Bezug von Rohstoffen und Vorprodukten aus dem Ausland. Somit ist es eine zentrale

Aufgabe Deutschlands mit Blick auf Klima- und Umweltschutz nicht nur treibhausgasneutral zu werden, sondern auch Ressourcen zu schonen sowie sich für gute Standards in den Rohstofflieferketten einzusetzen.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien kann sich auf Natur und Landschaft auswirken. Der Anlagenbau von PV oder Windkraftanlagen, aber auch der Anbau von Energiepflanzen zur Biomassenutzung, nimmt größere Flächen in Anspruch. Windkraftanlagen an Land müssen mit dem Artenschutz (u.a. für Insekten, Vögel oder auch Fledermäuse) in Einklang gebracht werden. Ohne Lärmschutzmaßnahmen wirkt sich der Bau von Offshore-Windkraftanlagen negativ auf das Meeresumfeld aus und kann bspw. nachweislich das Hörvermögen und folglich den Orientierungssinn der geschützten Schweinswale schädigen. Demgegenüber könnten sich Offshore-Windkraftanlagen auch positiv auf die Fischbestände und Renaturierung auswirken, da dort die Fischerei verboten ist und so Rückzugsgebiete entstehen. Dennoch ist der Natur- und Artenschutz eine weitere große Herausforderung bei dem Ausbau der erneuerbaren Energien.

Quellenverzeichnis

- ACER 2014 Annual report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2013, ACER, 2014
- Agora 2018 Wie weiter mit dem Ausbau der Windenergie? Zwei Strategievorschläge zur Sicherung der Standortakzeptanz von Onshore Windenergie
- BDSV 2019 Hiebel, M. et al.: The Future of Steel Scrap – Results of the Fraunhofer Institute’s Umsicht Study on the Future of Steel Scrap, BDSV, Düsseldorf 2019.
- Bast et al. 2015 Bast, U. et al.: Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrtriebwerken – MORE (Motor Recycling), Siemens AG und sieben Verbundpartner, gefördert durch das BMBF, München 2015.
- Beton 2017 Zusammensetzung von Normalbeton – Mischungsberechnung, Zement Merkblatt Betontechnik, B 20, 2.2017, InformationsZentrum Beton GmbH.
- BGR 2015 Huy, D. et al.: Deutschland Rohstoffsituation 2014, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BMWi 2014 Monitoring-Bericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie nach §51 EnWG zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität (as at July 2014), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014
- BMWi 2019 Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2019)
- BTB 2018 Neue Perspektiven – Jahresbericht 2018, Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V.
- Buchert et al. 2017 Buchert, M. et al: Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität – Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen, Öko-Institut e.V. im Auftrag der Agora Verkehrswende, Oktober 2017.
- BWE 2019 Bundesverband WindEnergie, Zahlen und Fakten, <https://www.windenergie.de/themen/zahlen-und-fakten/> abgerufen am 22.07.2019.
- D-EITI 2017 Bericht der deutschen Initiative für Transparenz im rohstoffgewinnenden Sektor (D-EITI) für 2016. Deutsche Gesellschaft für Internationale

- Zusammenarbeit (GIZ) GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). 2017
- DERA 2016 Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L., Angerer, G., Marwede, M. & Benecke, S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. DERA Rohstoffinformationen. Berlin, 2016
- DERA 2018 Huy, D.; Liedtke, M.: Rohstoffrisikobewertung Gallium – Marktüberblick, (DERA), DERA Industrieworkshop Gallium, Berlin 5.6.2018.
- DERA 2019 Al Barazi, S.: Rohstoffrisikobewertung Kobalt, DERA Rohstoffinformation, DERA, Berlin 2019.
- Destatis 2019 Regionaldatenbank Deutschland.
<https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon>
- Diekmann et al. 2017 Diekmann, J. et al.: Ecological recycling of lithium-ion batteries of electric vehicles with focus on mechanical processes, J Electrochem Soc, 164(1), A6184-A6191.
- Ecomento 2017 <https://ecomento.de/2017/06/19/elektroauto-boom-sorgt-fuer-steigende-kupfer-nachfrage/>, abgerufen am 26.07.2017.
- Elsner 2018 Elsner, H.: Sand – auch in Deutschland bald knapp?, Commodity TopNews 56, BGR/DERA, Feb. 2018.
- Energate 2018 Enercon lässt weniger in Deutschland produzieren.
<https://www.energate-messenger.de/news/185085/enercon-laesst-weniger-in-deutschland-produzieren>
- EC 2017 Communication from the Commission to the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU, Brussels, 13.9.2017.
- GDA 2019a <http://www.aluinfo.de/statistik.html>; abgerufen am 25.07.2019.
- GDA 2019b <http://www.aluinfo.de/mobilitaet.html>, abgerufen am 26.07.2019.
- GWS, Prognos, FHG ISI, DIW 2018 Gesamtwirtschaftliche Wirkungen der Energiewende, im Auftrag ... des BMWI, 2018.
- LMBV 2013 Solarpark Senftenberg/Schipkau.
<https://web.archive.org/web/20130119030532/http://www.lmbv.de/index.php/solarpark-senftenberg.html>
- NEP 2019 Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019, zweiter Entwurf, www.netzentwicklungsplan.de

OEKO 2011	Schüler et al. 2011: Study on Rare Earths and their Recycling, Öko-Institut e.V., Study for The Greens/EFA Group in the European Parliament, Darmstadt 2011.
OEKO 2017	Buchert et al. 2017: Rohstoffwende Deutschland 2049 – Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Eigenprojekt des Öko-Instituts e.V. 2017, http://www.resourcefever.org/detail/deutschland-2049-auf-dem-weg-zu-einer-nachhaltigen-rohstoffwirtschaft.html
OEKO 2019	Buchert, M.; Degreif, S.; Dolega, P.: Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen – Rohstoffbedarfe für die globale Elektromobilität 2050, Öko-Institut e.V. im Rahmen des Verbundvorhabens Fab4Lib, gefördert durch BMBF, Januar 2019.
OEKO/IZT 2019	Matthias Buchert, Stefanie Degreif, Doris Schüler, Siddharth Prakash, Martin Möller, Andreas Köhler, Siegfried Behrendt, Michael Scharp, Adrian Röben: Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien – Potentialermittlung für Second-Best-Lösungen. Arbeitsbericht 2: Abschätzung des Materialbedarfs der 40 prioritären Umwelttechnologien in den Szenarien Business-As-Usual und Green-Economy, Öko-Institut e.V. & IZT im Auftrag des Umweltbundesamts, 2019.
Optum 2011	Buchert, M. et al.: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität - Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen, Öko-Institut e.V. in Kooperation mit Daimler AG, Umicore & TU Clausthal, gefördert vom BMU, Darmstadt 2011.
OSL 2019	Leben und investieren im Landkreis Oberspree – Lausitz. http://daten2.verwaltungsportal.de/dateien/seitengenerator/af2c006f319034d27fd0686456125e05_broschuere_leben_und_investieren_im_landkreis_osl_klein.pdf
Prognos 2012	Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050: Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050, commissioned by the Bundesamt für Energie, 2012
Prognos 2019	Beschäftigung und Wert-schöpfung in der deutschen Onshore-Windindustrie, im Auftrag von GE Germany und VDMA, 2019.
PV Magazin online 2018	Kristalline vs. Dünnschicht-Photovoltaik – oder doch am besten als Tandem, Interview mit Rutger Schlatmann, https://www.pv-magazine.de/2018/05/15/kristalline-vs-duennschicht-photovoltaik-oder-doch-am-besten-als-tandem/ , abgerufen am 26.7.2019.
RAG 2015	Schlussbericht zum Vorhaben Umsetzung des Regionalen Entwicklungskonzeptes 2.0 „Autark macht Stark“ der Bioenergieregion Jena-Saale-Holzland.

- Rüttinger et al. 2016 Umwelt- und Sozialauswirkungen der Bauxitgewinnung und Aluminiumherstellung in Para, Brasilien, Berlin: adelphi.
- Schüler et al 2017 Schüler, D. et al.: Elektrofahrzeugrecycling 2020 – Schlüsselkomponente Leistungselektronik ElmoReL 2020, Öko-Institut e.V. (Koordination), Electroycling GmbH, VW AG, PPM Pure Metals GmbH, TU Clausthal, gefördert durch das BMU, Darmstadt 2017.
- Schüler et al. 2018 Schüler, D. et al.: Social, economic and environmental challenges in primary lithium and cobalt sourcing for the rapidly increasing electric mobility sector. European Policy Brief No. 06/ 2018, Strategic Dialogue on Sustainable Raw Materials in Europe (STRADE), funded by the Horizon 2020 Programme of the European Union.
- Shell 2018 <https://www.shell.de/medien/shell-presseinformationen/2018/weltweit-groe%C3%9Fte-wasserstoff-elektrolyse-anlage-rheinland.html>, abgerufen am 26.07.2019.
- Solaranlagen-portal.de 2019 Großer Solarpark bei Senftenberg am Netz. <https://solaranlagen-portal.de/news/groser-solarpark-bei-senftenberg-am-netz.html>
- ThINK 2013 Endbericht zum kommunalen Energiekonzept Senftenberg. https://www.senftenberg.de/PDF/Endbericht_Kommunales_Energiekonzept_Senftenberg.PDF?ObjSvrID=2055&ObjID=2388&ObjLa=1&Ext=PDF&WTR=1&_ts=1390566706
- Spiegel online 2016 <https://www.spiegel.de/panorama/justiz/brasilien-21-mordanklagen-zu-giftschlamm-unfall-in-mariana-a-1117657.html>, abgerufen am 26.07.2019.
- Spiegel online 2019 <https://www.tagesschau.de/ausland/ungarn-rotschlamm-101.html>, abgerufen am 26.07.2019.
- SZ online 2019 <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/brasilien-dammburch-vale-1.4518867>, abgerufen am 26.07.2019.
- TMLFUN 2011 Bioenergie in Thüringen – dezentral und nachhaltig in den Regionen. <https://www.thuringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1207.pdf>
- Taz 2017 NABU Ostfriesland gegen Windräder. <https://taz.de/Nabu-Ostfriesland-gegen-Windraeder/!5411153/>
- UBA 2016 Die Nutzung natürlicher Ressourcen – Bericht für Deutschland 2016, Umweltbundesamt (Hrsg.), September 2016.
- UBA 2019 Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2018. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_hgp_einzahlen_2019_bf.pdf

USGS 2019	U.S. Geological Survey, 2019, Mineral commodity summaries 2019: U.S. Geological Survey, 200 p., https://doi.org/10.3133/70202434 .
UEE Holding 2018	Konzernabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2017 bis zum 31.12.2017
Umweltbank 2012	Genußschein saferay 2012 Solarpark Senftenberg. https://www.umweltbank.de/_Resources/Persistent/2fd79b715e47709002173bce0fd92fa2bb9303a2/genussschein_saferay_2012.pdf
WD 2018	Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags, Zur Ökobilanz der Windenergietechnologie unter Berücksichtigung Seltener Erden, WD 8 – 3000 – 010/18
Wirtschaftsregion Lausitz 2019	Vestas Blades Deutschland GmbH. https://wirtschaftsregion-lausitz.de/de/impressum.html
World Steel 2019	World Steel in Figures, World Steel Association 2019.
Wüste, A. 2013	Akzeptanz von Bioenergie aus Sicht von Anwohnern und Landwirten. http://www.bioenergie.uni-goettingen.de/fileadmin/user_upload/admin/tagung_2013/Praesentationen/17_10_2013/Wueste_Granoszewski_Akzeptanz_von_Bioenergie_BiS_Tagung_Goe_17_10_2013.pdf
Zeit online 2019	https://www.zeit.de/wirtschaft/unternehmen/2019-03/brasilien-vale-katastrophe-ruecktritt-konzernchef ; abgerufen am 26,07.2019.
ZSW 2019	Untersuchung zur Wirkung veränderter Flächenrestriktionen für PV-Freiflächenanlagen. https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/2019/politischer-dialog-pv-freiflaechenanlagen-studie-333788.pdf