

# WORKING PAPER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

---

Nummer 231, November 2021

## Auswirkungen der ökologischen Transformation: Beschäftigungseffekte des Klimaschutzes in Deutschland

Literaturstudie

Bruno Kaltenborn

---

### Das Working Paper auf einen Blick

Der bisherige und der künftige Klimaschutz wirken per Saldo leicht stimulierend auf die Wirtschaftsleistung und meist auch auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland. Darüber hinaus kommt es zu Strukturverschiebungen zwischen Branchen und Berufen, die jedoch im Vergleich zum ohnehin erfolgenden Strukturwandel gering sind. Dies zeigen die in dieser umfassenden Literaturstudie ausgewerteten Untersuchungen.

© 2021 by Hans-Böckler-Stiftung  
Georg-Glock-Straße 18, 40474 Düsseldorf  
[www.boeckler.de](http://www.boeckler.de)



„Auswirkungen der ökologischen Transformation: Beschäftigungseffekte des Klimaschutzes in Deutschland“ von Bruno Kaltenborn ist lizenziert unter

**Creative Commons Attribution 4.0 (BY).**

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell.  
(Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. von Schaubildern, Abbildungen, Fotos und Textauszügen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

**ISSN 2509-2359**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Rahmenbedingungen.....</b>	<b>19</b>
2.1	Eckdaten zur Entwicklung von Ökonomie, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit .....	19
2.2	Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter .....	22
2.3	Projektion der Erwerbstätigkeit nach Berufen und Branchen .....	25
2.4	Klimaschutz und nationale Energiewende.....	29
2.4.1	Globale Verpflichtungen zum Klimaschutz .....	30
2.4.2	Europäische Verpflichtungen zum Klimaschutz .....	34
2.4.3	Nationale Verpflichtungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und ihre Bepreisung.....	40
2.4.4	Technologiespezifische Aspekte der nationalen Energiewende.....	45
<b>3</b>	<b>Methodische Hinweise .....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>Bruttoeffekte .....</b>	<b>62</b>
4.1	Besonders betroffene Branchen und Berufe .....	63
4.2	Braunkohlenindustrie.....	63
4.3	Ausstieg aus der Steinkohleförderung .....	74
4.4	Atomausstieg .....	76
4.5	Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 .....	76
4.6	Erneuerbare Energien .....	79
4.7	Elektrifizierung und Wasserstoff .....	87
4.8	Energieeffizienz .....	92
4.9	Nationale und globale Investitionen in Klimaschutz.....	96
4.10	Energiewirtschaft insgesamt .....	100

<b>5 Nettoeffekte .....</b>	<b>104</b>
5.1 Stahlindustrie .....	105
5.2 Künftige Effekte der Verkehrswende .....	108
5.3 Künftige Effekte des Atomausstiegs .....	115
5.4 Künftige Effekte der Energieeffizienzstrategie Gebäude .....	117
5.5 Bisherige und künftige Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien .....	119
5.6 Künftige Effekte der Energiewende .....	127
5.7 Künftige und bisherige Effekte eines verstärkten nationalen Klimaschutzes.....	129
5.8 Künftige Effekte eines verstärkten nationalen Klimaschutzes .....	134
5.9 Künftige Exportchancen durch einen verstärkten globalen Klimaschutz.....	153
5.10 Künftige Effekte einer verbesserten Klimaresilienz.....	154
5.11 Ökologische Ziele jenseits des Klimaschutzes .....	161
5.12 Sensitivitätsanalysen für Deutschland und die EU .....	163
5.13 Zusammenfassung .....	173
<b>6 Fazit.....</b>	<b>185</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>195</b>
<b>Anhang zu Abschnitt 2.3.....</b>	<b>219</b>
<b>Anhang zu Kapitel 3.....</b>	<b>241</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wirtschaftliche Eckdaten Deutschlands 2020 .....	20
Tabelle 2:	Basisannahmen der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung .....	22
Tabelle 3:	Varianten der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.....	23
Tabelle 4:	Strukturelle Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt bis 2040 nach der Basisprojektion der sechsten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion .....	28
Tabelle 5:	Handelsperioden des Europäischen Emissionshandelssystems .....	35
Tabelle 6:	Ziele Deutschlands zur Reduktion seiner Treibhausgasemissionen .....	44
Tabelle 7:	Ziele Deutschlands zur Reduktion seiner Treibhausgasemissionen bis 2030 nach Sektoren.....	45
Tabelle 8:	Zentrale Ergebnisse zur künftigen Beschäftigungsentwicklung in der Braunkohlenindustrie nach Berechnungen des Öko-Instituts (2018) .....	73
Tabelle 9:	Zentrale Ergebnisse zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 in Deutschland nach Berechnungen von PwC (2016) .....	78
Tabelle 10:	Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbare Energien und ihren laufenden Betrieb in den Bundesländern 2012 bis 2016 nach Angaben der GWS (2018) .....	83
Tabelle 11:	Beschäftigung durch Energieeffizienzdienstleistungen außerhalb kommerzieller Bereiche nach Berechnungen des DIW u.a. (2021).....	95
Tabelle 12:	Zentrale Ergebnisse zum Arbeitskräftebedarf durch Investitionen in den Klimaschutz in Deutschland nach Berechnungen von BLAZEJCZAK und EDLER [2021] .....	98
Tabelle 13:	Zentrale Ergebnisse einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors in Deutschland nach Berechnungen des Öko-Instituts u.a. (2016) .....	110
Tabelle 14:	Zentrale Ergebnisse der Szenarien einer nachhaltigen Mobilität in Deutschland nach Berechnungen von M-Five u.a. (2020) .....	113
Tabelle 15:	Zentrale Annahmen und Ergebnisse zum Atomausstieg in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2011) .....	116
Tabelle 16:	Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle von Prognos u.a. (2017).....	118

Tabelle 17:	Zentrale Ergebnisse der Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes im Gebäudesektor in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2017) .....	119
Tabelle 18:	Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel der GWS u.a. (2015) .....	121
Tabelle 19:	Zentrale Ergebnisse der Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes in Deutschland nach Berechnungen der GWS u.a. (2015) .....	126
Tabelle 20:	Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel sowie Prognose der Erwerbstätigkeit von Prognos u.a. (2014).....	127
Tabelle 21:	Zentrale Ergebnisse zur Energiewende in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2014).....	128
Tabelle 22:	Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel der GWS u.a. (2018) .....	131
Tabelle 23:	Zentrale Ergebnisse zur Energiewende nach Berechnungen der GWS u.a. (2018).....	132
Tabelle 24:	Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel des Öko-Instituts u.a. (2019) .....	136
Tabelle 25:	Zentrale Ergebnisse zum Klimaschutzplan 2050 in Deutschland nach Berechnungen des Öko-Instituts u.a. (2019) .....	137
Tabelle 26:	Zentrale Ergebnisse zur Emissionsreduktion bis 2050 um 80% bzw. 95% gegenüber 1990 in Deutschland nach Berechnungen von BCG u.a. (2018).....	141
Tabelle 27:	Annahmen zur Entwicklung der Preise für Rohöl, Erdgas, Kesselkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel von BCG u.a. (2018).....	142
Tabelle 28:	Zentrale Ergebnisse zur Emissionsreduktion bis 2050 um 80% bzw. 95% gegenüber 1990 in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2020).....	146
Tabelle 29:	Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel von Prognos u.a. (2021).....	149

Tabelle 30:	Zentrale Ergebnisse zum Klimaschutzplan 2050 und zum Klimaschutzprogramm 2030 in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2021).....	150
Tabelle 31:	Zentrale Ergebnisse verschiedener Szenarien einer grünen Ökonomie in Deutschland nach Berechnungen der GWS u.a. (2019) .....	163
Tabelle 32:	Abweichende Annahmen von Energiereferenzprognose und Trendszenario für Sensitivitätsuntersuchungen in Deutschland von Prognos u.a. (2014).....	164
Tabelle 33:	Zentrale Ergebnisse für abweichende Annahmen von Energiereferenzprognose und Trendszenario in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2014).....	165
Tabelle 34:	Analyse der Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen in der EU durch Cambridge Econometrics u.a. (2017) .....	168
Tabelle 35:	Analyse der Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen in Deutschland durch GWS u.a. (2018) .....	170
Tabelle 36:	Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen in unterschiedlichen makroökonomischen Modellen nach GWS u.a. (2018).....	171
Tabelle 37:	Zentrale Ergebnisse der Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes in der EU nach Berechnungen der Europäischen Kommission (2018) .....	173
Tabelle 38:	Methodischer Überblick über Studien zu Nettoeffekten der ökologischen Transformation in Deutschland .....	175
Tabelle 39:	Überblick zu projizierten Nettoeffekten der ökologischen Transformation in Deutschland .....	180
Tabelle 40:	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Deutschland nach Wirtschaftsabteilung und Geschlecht im Dezember 2020.....	219
Tabelle 41:	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Deutschland nach Berufshauptgruppe und Geschlecht im Dezember 2020 .....	225
Tabelle 42:	Änderung des Arbeitskräftebedarfs nach Berufshauptgruppe bis 2040 nach der Basisprojektion der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion .....	228
Tabelle 43:	Änderung des Arbeitskräftebedarfs nach Berufsgruppe bis 2040 nach der Basisprojektion der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion .....	231

Tabelle 44:	Änderung der Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Berufshauptgruppe und Geschlecht bis 2040 .....	238
Tabelle 45:	Gütergruppen der Input-Output-Tabelle .....	241

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bruttoinlandsprodukt, Bruttoanlageinvestitionen und Außenhandel Deutschlands 1991 bis 2020 nach der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung .....	20
Abbildung 2:	Bevölkerung und Erwerbsbeteiligung in Deutschland 1991 bis 2020 nach der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung .....	21
Abbildung 3:	Erwerbstätige in Deutschland nach Branchen 1991 bis 2020 nach der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung .....	21
Abbildung 4:	Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter in Deutschland bis 2060.....	24
Abbildung 5:	Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter nach Geschlecht in Deutschland bis 2060.....	25
Abbildung 6:	Global regulierte Treibhausgasemissionen Deutschlands von 1990 bis 2020 nach Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats.....	32
Abbildung 7:	Tatsächliche Treibhausgasemissionen des von Deutschland abgehenden internationalen Flug- und Seeverkehrs von 1990 bis 2019 .....	33
Abbildung 8:	Tatsächliche Treibhausgasemissionen in Deutschland des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) von 1990 bis 2020.....	33
Abbildung 9:	Preisentwicklung im Europäischen Emissionshandel für Emissionsrechte stationärer Anlagen von 2008 bis August 2021.....	36
Abbildung 10:	Tatsächliche Treibhausgasemissionen stationärer Anlagen in Deutschland von 2005 bis 2020 innerhalb des Europäischen Emissionshandelssystems .....	37
Abbildung 11:	Tatsächliche Treibhausgasemissionen in Deutschland von 2005 bis 2020 innerhalb der EU-Lastenteilung.....	38
Abbildung 12:	Zulässige Treibhausgasemissionen in Deutschland von 2021 bis 2030 innerhalb der EU-Lastenteilung.....	40
Abbildung 13:	Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2020 und nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz a.F. von 2020 bis 2030 .....	42
Abbildung 14:	Zulässige Treibhausgasemissionen in Deutschland nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz von 2020 bis 2040 .....	43

Abbildung 15: Emissionsfaktoren für energiebedingte Kohlendioxidemissionen fossiler Brennstoffe.....	46
Abbildung 16: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern von 1990 bis 2020 in Deutschland .....	51
Abbildung 17: Endenergieverbrauch nach Energieträgern von 1990 bis 2019 in Deutschland .....	52
Abbildung 18: Nutzung erneuerbarer Energien von 1990 bis 2020 in Deutschland .....	53
Abbildung 19: Bruttostromerzeugung und installierte elektrische Leistung erneuerbarer Energien von 1990 bis 2020 in Deutschland .....	54
Abbildung 20: Beschäftigte im Braunkohlenbergbau in Deutschland von 1990 bis 2020 nach der Kohlenstatistik.....	64
Abbildung 21: Direkt und indirekt Beschäftigte durch den laufenden Betrieb des Braunkohlenbergbaus in Deutschland von 2000 bis 2017 nach Berechnungen des DIW u.a. (2019).....	65
Abbildung 22: Braunkohleförderung nach Revier von 2015 bis 2035 in verschiedenen Szenarien des DIW u.a. (2019) .....	67
Abbildung 23: Beschäftigungseffekte verschiedener Szenarien der Braunkohleförderung nach Berechnungen des DIW u.a. (2019).....	69
Abbildung 24: Beschäftigungseffekte der Braunkohlenindustrie nach Berechnungen des IW (2018) .....	71
Abbildung 25: Altersstruktur der Beschäftigten im Braunkohlenbergbau in Deutschland 2014 nach Angaben des Öko-Instituts (2018) .....	74
Abbildung 26: Beschäftigte im Steinkohlenbergbau in Deutschland von 1990 bis 2018 differenziert nach Revieren nach der Kohlenstatistik.....	75
Abbildung 27: Direkt und indirekt Beschäftigte durch den laufenden Betrieb des Steinkohlenbergbaus in Deutschland von 2000 bis 2017 nach Berechnungen des DIW u.a. (2019).....	76
Abbildung 28: Änderung des Arbeitsvolumens durch das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 in Deutschland nach Berechnungen von PwC (2016).....	78
Abbildung 29: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und ihren laufenden Betrieb 2000 bis 2018 nach Berechnungen des DLR u.a. (2019) .....	80

Abbildung 30: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbare Energien und ihren laufenden Betrieb 2000 bis 2019 nach Angaben des BMWi .....	82
Abbildung 31: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbare Energien und ihren laufenden Betrieb 2003, 2010 und 2018 nach Berechnungen von Prognos (2019) .....	85
Abbildung 32: Frauenanteil an den Beschäftigten im Bereich erneuerbare Energien 2012 nach Befragungsergebnissen der GWS u.a. (2015) .....	86
Abbildung 33: Endenergiebedarf 2030 und 2050 bei einer verstärkten Elektrifizierung bzw. Wasserstoffnutzung nach Szenarien der ludwig bölkow systemtechnik (2019).....	88
Abbildung 34: Stromeinspeisung 2030 und 2050 bei einer verstärkten Wasserstoffnutzung nach Szenarien der ludwig bölkow systemtechnik (2019).....	89
Abbildung 35: Reale Wertschöpfung und Arbeitsplätze 2030 und 2050 durch eine verstärkte Wasserstoffnutzung nach Szenarien der ludwig bölkow systemtechnik (2019).....	91
Abbildung 36: Direkte und indirekte Beschäftigung durch energetische Sanierung des Gebäudebestandes nach Berechnungen des DIW u.a. (2021).....	93
Abbildung 37: Beschäftigung in Vollzeitäquivalenten durch kommerzielle Energieeffizienzdienstleistungen nach Berechnungen des DIW u.a. (2021).....	94
Abbildung 38: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie von Produktionsprozessen und Technologien 2003, 2010 und 2018 nach Berechnungen von Prognos (2019).....	96
Abbildung 39: Wertschöpfung und Beschäftigung durch Exporte von Wasserstofftechnik bis 2050 nach Berechnungen von Frontier Economics u.a. (2018) .....	100
Abbildung 40: Beschäftigte durch Aktivitäten der Energiewirtschaft 2000 bis 2017 nach Berechnungen des DIW u.a. (2019) .....	103
Abbildung 41: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch 2005 bis 2050 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015) .....	121

Abbildung 42: Reduktion der energiebedingten Kohlendioxidemissionen 2005 bis 2050 gegenüber 1990 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015).....	122
Abbildung 43: Investitionen in erneuerbare und fossile Strom- und Wärmeerzeugung 2015 bis 2050 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015) .....	122
Abbildung 44: Globale Investitionen außerhalb Deutschlands in erneuerbare Energien von 2012 bis 2050 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015).....	124
Abbildung 45: Deutsche Exporte von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien von 2012 bis 2050 in verschiedenen Exportpfaden der GWS u.a. (2015) .....	124
Abbildung 46: Deutsche Exporte von Produktionsanlagen für Technik für erneuerbare Energien von 2020 bis 2050 in verschiedenen Exportvarianten der GWS u.a. (2015) .....	125
Abbildung 47: Zusätzlicher Investitionsbedarf für die Energiewende von 2000 bis 2050 nach Berechnungen der GWS u.a. (2018) .....	133
Abbildung 48: Bandbreite der Änderung der Investitionen und des Bruttoinlandsprodukts durch Maßnahmen einer verstärkten Klimaresilienz bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis nach Berechnungen der GWS (2020).....	160
Abbildung 49: Bandbreite der Änderung der Zahl der Beschäftigten durch Maßnahmen einer verstärkten Klimaresilienz bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis nach Berechnungen der GWS (2020).....	161

## Abkürzungsverzeichnis

a.F.	alte Fassung
Abl.	Amtsblatt
Anl.	Anlage(n)
BCG	Boston Consulting Group
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
bspw.	beispielsweise
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
CO <sub>2</sub>	Kohlen(stoff)dioxid
CPA	Classification of Products by Activity (europäische Güterklassifikation)
dena	Deutsche Energie-Agentur
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
E3ME	Energy-Environment-Economy Macro-Econometric Model (von Cambridge Econometrics)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
envigos	Model for environmental industry, goods and services (von Prognos)
EU	Europäische Union
EU-EHS	Europäisches Emissionshandelssystem
EUR	Euro
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

g	Gramm
GEM-E3-FIT	General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment (Variante von E3-Modelling)
GEMIO	German Economic Model for Inputs and Outputs (von PricewaterhouseCoopers)
GW	Gigawatt
GWS	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung
h	Stunde
H.	Heft
H2	Wasserstoff
Ho	oberer Heizwert
Hrsg.	Herausgeber
IAB	Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
INFORGE	INterindustry FORecasting GErmany Model
insg.	insgesamt
ÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (sog. Weltklimarat)
IREES	Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien
IW	Institut der deutschen Wirtschaft Köln
IWH	Institut für Wirtschaftsforschung Halle
IZES	Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme
Jg.	Jahrgang
jhrl.	jährlich
JRC-GEM-E3	Joint Research Centre's General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment (Variante des Joint Research Centre's)

k.A.	keine Angabe
KldB	Klassifikation der Berufe
km	Kilometer
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KV BG	Kohleverstromungsbeendigungsgesetz
kWh	Kilowattstunde(n)
LABS	Large Agent Based Simulation (agentenbasiertes Simulationsmodell von Prognos)
lfd.	laufend(e)
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
MMBtu	Million British thermal units
Mio.	Million(en)
Mrd.	Milliarde(n)
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde(n)
NDC	Nationally Determined Contributions
Nr.	Nummer(n)
NRW	Nordrhein-Westfalen
o.O.	ohne Ortsangabe
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PKW	Personenkraftwagen
PtX	Power-to-X (strombasierte Energieträger, d.h. Wasserstoff und seine Folgeprodukte wie synthetisches Gas und synthetische flüssige Kraft- und Brennstoffe)
PwC	PricewaterhouseCoopers

QINFORGE	QuBe INterindustry FORecasting GErmany
QUEST	QUarterly Economic Simulation Tool (der Generaldirektion Wirtschaft und Finanzen der Europäischen Kommission)
RWI	RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung
S.	Satz; Seite
sog.	sogenannt(e/r)
tSKE	Tonne Steinkohleeinheit
Tsd.	Tausend
TWh	Terrawattstunde(n)
u.a.	und andere
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
vgl.	vergleiche
WindSeeG	Windenergie-auf-See-Gesetz
z.B.	zum Beispiel
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

## 1 Einleitung

Der Klimawandel dürfte die größte (ökologische) Herausforderung der nächsten Dekaden für die gesamte Menschheit sein. Die globale Erderwärmung hat im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter in den ersten beiden Dekaden dieses Jahrhunderts bereits 1°C erreicht. Im Pariser Klimaabkommen von 2015 hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, die Erderwärmung auf 2°C, möglichst auf 1,5°C zu begrenzen. Dafür bedarf es einer drastischen Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen. Nach dem jüngst publizierten sechsten Sachstandsbericht des sog. Weltklimarats lässt sich das 2°C-Ziel nur noch erreichen, wenn ein Pfad beschritten wird, der am Ende dieses Jahrhunderts jegliche Treibhausgasemissionen vermeidet (Intergovernmental Panel on Climate Change [2021, S. SPM-16, SPM-18]). Um das 1,5°C-Ziel zu erreichen, sind in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts Negativ-Emissionen erforderlich.

Vor diesem Hintergrund gilt es einerseits, Maßnahmen zu ergreifen, um die anthropogene Erderwärmung zu begrenzen, und andererseits mit den Folgen der dennoch eintretenden Erderwärmung umzugehen (Klimaresillienz). Daneben gibt es noch andere ökologische Herausforderungen, die allerdings oftmals wiederum mit dem Klimaschutz zusammenhängen. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat 2012 folgende Handlungsfelder benannt (zitiert nach LEHR u.a. [2019, S. 15]):

- › Erhaltung und Wiederherstellung der biologischen Vielfalt sowie Ökosysteme,<sup>1</sup>
- › Erreichen einer auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung,
- › Vermeidung schädlicher Emissionen und Schadstoffeinträge,<sup>2</sup>
- › Substitution nicht erneuerbarer Ressourcen durch nachhaltig erzeugte erneuerbare Ressourcen,
- › Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft und Schließung von Stoffkreisläufen,
- › Effizientere Nutzung von Energie, Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen,
- › Reduktion des Einsatzes nicht erneuerbarer Ressourcen.

Klimaschutz, Klimaresillienz und andere ökologische Maßnahmen (ökologische Transformation) haben auch ökonomische Konsequenzen. Einerseits sind die erforderlichen Anpassungen mit zusätzlichen Aufgaben verbunden, die zu neuen Tätigkeitsfeldern und Arbeitsplätzen führen können. Gleichzeitig werden insbesondere Aufgaben entfallen, die mit einer Umweltschädigung verbunden sind; dadurch werden Arbeitsplätze wegfallen. Insgesamt wird durch die anstehende ökologische Transformation die Zahl und Struktur der Arbeitsplätze und Arbeitskräfte verändert.

Speziell zum Klimaschutz ist in den letzten Jahren eine Vielzahl an Studien erschienen. Oftmals geht es dabei um die Projektion künftiger Treibhausgasemissionen, den Beitrag mögli-

---

<sup>1</sup> Internationale Verpflichtungen ergeben sich insbesondere aus dem 1973 geschlossenen Washingtoner Arten- schutzbereinkommen (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora - CITES) und der Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity - CBD) aus dem Jahr 1992.

<sup>2</sup> Die Generalversammlung der Vereinten Nationen hat eine Wasserdeklade vom 22. März 2018 bis zum 22. März 2028 beschlossen.

cher oder bereits beschlossener Maßnahmen zu ihrer Reduktion oder um die Konstruktion von Maßnahmen, um ein bestimmtes klimapolitisches Ziel zu erreichen. Dabei reichen die Projektionen maximal bis 2050. Teilweise befassen sich die Studien auch mit den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen. Zu den ökonomischen Effekten der ökologischen Transformation in Deutschland liegen insbesondere folgende Literaturübersichten vor:

- › DEHNEN, MATTES und TRABER [2015] stellen Methoden und Ergebnisse von Studien vor, die sich mit den Beschäftigungseffekten eines Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz befassen.
- › BÖHMER u.a. [2015, S. 3-22] geben einen Überblick zu vorliegenden Studien, die sich mit Beschäftigung und Wertschöpfung der Energiewirtschaft befassen. Die berücksichtigten Studien werden einzeln mit Angabe von Methodik und zentralen Ergebnissen vorgestellt. Außerdem gibt es eine tabellarische Übersicht.
- › Die bereits im Oktober 2015 abgeschlossene Studie von LEHR u.a. [2019, S. 36-45, 82-84, 100-103, 121-122] gibt einen Literaturüberblick zu den Effekten verschiedener Aspekte der ökologischen Transformation auf Wirtschaft und Beschäftigung.
- › LUTZ und BREITSCHOPF [2016] benennen vorliegende Studien zu unterschiedlichen Teilaspekten der gesamtwirtschaftlichen Effekte einschließlich Beschäftigung und Verteilungswirkungen der Energiewende.
- › LUTZ u.a. [2018a] geben einen Literaturüberblick über die Effekte der Energiewende jenseits von Wirtschaftswachstum und Beschäftigung, und zwar hinsichtlich des Einflusses auf Preise und Kosten, Strukturwandel, Energiesicherheit und Umweltkosten.
- › ULRICH, LEHR und LUTZ [2018, S. 2-5] benennen Studien, die sich mit makroökonomischen Wirkungen der Energiewende auf Ebene der Bundesländer befassen.
- › RÖHR, ALBER und GÖLDNER [2018] geben einen Überblick über Literatur zum Zusammenhang von Gendergerechtigkeit und Klimapolitik. Dabei gehen sie auch auf Literatur ein, die sich mit den geschlechtsspezifischen Auswirkungen der Klimapolitik auf die Arbeitswelt befasst (RÖHR, ALBER und GÖLDNER [2018, S. 73f]).
- › WIETSCHEL u.a. [2017] geben einen Überblick über Literatur zur aktuellen und künftigen Beschäftigung bis 2030 im Zusammenhang mit einer zunehmenden Elektromobilität.

Insgesamt ist die Literatur zu den Auswirkungen bisheriger und künftiger ökologischer Transformation auf die Erwerbstätigkeit vielfältig und unübersichtlich.

Vorliegend wird ein Überblick über Methoden und Ergebnisse von Studien gegeben, die sich mit den Auswirkungen der bisherigen und künftigen ökologischen Transformation in Deutschland, insbesondere des Klimaschutzes auf die Erwerbstätigkeit befassen. Dabei werden ausschließlich empirisch basierte Studien berücksichtigt, also insbesondere keine theoretischen Abhandlungen, Meinungen oder Spekulationen. Angesichts der Vielzahl der veröffentlichten wissenschaftlichen Beiträge liegt der Fokus auf Studien, die in den letzten Jahren erschienen sind. Ältere Studien dürften vielfach nur noch von untergeordnetem Interesse sein:

- › Klimaschutz und Energiewende haben in den letzten anderthalb Dekaden deutlich an Bedeutung gewonnen. Dementsprechend dürften sie auch erst in dieser Zeit relevante Beschäftigungseffekte gehabt haben. Erst Studien aus den letzten Jahren können diese Effekte retrospektiv berücksichtigen.
- › Ältere Projektionen können naturgemäß weder die zuletzt eingetretenen tatsächlichen Entwicklungen noch aktuelle politische Entscheidungen über (Klima-) Ziele und Maßnahmen berücksichtigen.

Allerdings wurden im Einzelfall auch ältere Studien berücksichtigt, wenn sie aus besonderen Gründen im Einzelfall von Interesse sind.

Gleichzeitig gibt es andere Entwicklungen, die ebenfalls Einfluss auf die Erwerbstätigkeit haben. Hierzu gehören insbesondere der demographische Wandel, die fortschreitende Digitalisierung und die Globalisierung. Für die ökologische Transformation bedarf es geeigneter Arbeitskräfte. Der demographische Wandel vermindert jedoch das Arbeitskräftepotenzial und stellt insoweit eine zusätzliche Herausforderung dar.

In Kapitel 2 werden zunächst einige Rahmenbedingungen dargestellt. Hierzu gehören die Entwicklung von Ökonomie, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit in den letzten Dekaden, die künftige Entwicklung der Bevölkerung im Erwerbsalter und der Erwerbstätigkeit. Zudem wird auf den Klimaschutz im internationalen, europäischen und nationalen Kontext sowie auf die nationale Energiewende eingegangen.

In Kapitel 3 werden einige übergreifende methodische Hinweise gegeben, die zum Verständnis der vorgestellten Studien zu den Auswirkungen der ökologischen Transformation auf die Erwerbstätigkeit relevant erscheinen. Kapitel 4 stellt zunächst Studien vor, die sich ausschließlich mit den Bruttoeffekten befassen, also keine gesamtwirtschaftlichen Rückkopplungen insbesondere über Preis- und Lohnanpassungen berücksichtigen. Studien zu Nettoeffekten, die diese Rückkopplungen berücksichtigen, werden in Kapitel 5 vorgestellt. In Kapitel 6 schließlich wird ein kurzes Fazit gezogen.

Zu einer Vielzahl an Studien wurden Rückfragen an das jeweilige Autorenteam gestellt, um Widersprüche und Unklarheiten aufzuklären. Die meisten haben geantwortet. Ihnen gebührt Dank für die Klärung.

## 2 Rahmenbedingungen

Die Auswirkungen der ökologischen Transformation im Allgemeinen sowie von Klimaschutz und Energiewende im Besonderen auf die Erwerbstätigkeit erstrecken sich über mehrere Dekaden. Dabei wird die Erwerbstätigkeit gleichzeitig auch von anderen mittel- und langfristigen Entwicklungen beeinflusst. Hierzu gehören insbesondere der demographische Wandel (vgl. KALTENBORN [2019a]), aber auch die fortschreitende Digitalisierung (vgl. KALTENBORN [2019b]) und die Globalisierung.

In diesem Kapitel werden zunächst Eckdaten zur Entwicklung von Ökonomie, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit in den letzten Dekaden präsentiert (Abschnitt 2.1). Zudem werden die künftige Entwicklung der Bevölkerung im Erwerbsalter (Abschnitt 2.2) und der Erwerbstätigkeit differenziert nach Branchen und Berufen (Abschnitt 2.3) thematisiert. Auf Klimaschutz im internationalen, europäischen und nationalen Kontext sowie auf die nationale Energiewende wird in Abschnitt 2.4 eingegangen.

### 2.1 Eckdaten zur Entwicklung von Ökonomie, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit

Tabelle 1 vermittelt einen Eindruck von der aktuellen wirtschaftlichen Leistung in Deutschland und seiner Zusammensetzung. Vom Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2020 in Höhe von 3.336 Mrd. EUR entfielen 738 Mrd. EUR auf die Bruttoanlageinvestitionen. Die Exporte beliefen sich auf 1.460 Mrd. EUR, die Importe auf 1.266 Mrd. EUR, wodurch ein Außenbeitrag von 193 Mrd. EUR resultiert.

Zwischen 1991 und 2020 schwankten die Bruttoanlageinvestitionen zwischen 19,1% (2004/2005) und 25,2% (1992) des Bruttoinlandprodukts, zuletzt (2020) waren es 22,1% (vgl. Abbildung 1). Sowohl Ex- als auch Importe in Relation zum Bruttoinlandsprodukt haben seit der ersten Hälfte der 1990er Jahre deutlich zugenommen, zuletzt wurden 43,8% des Bruttoinlandsprodukts exportiert, die Importe in Relation zum Bruttoinlandsprodukt beliefen sich auf 38,0%. Der resultierende Außenbeitrag hat sich vor allem in der ersten Hälfte der 2000er Jahre deutlich erhöht und belief sich zuletzt auf 5,8% des Bruttoinlandsprodukts.

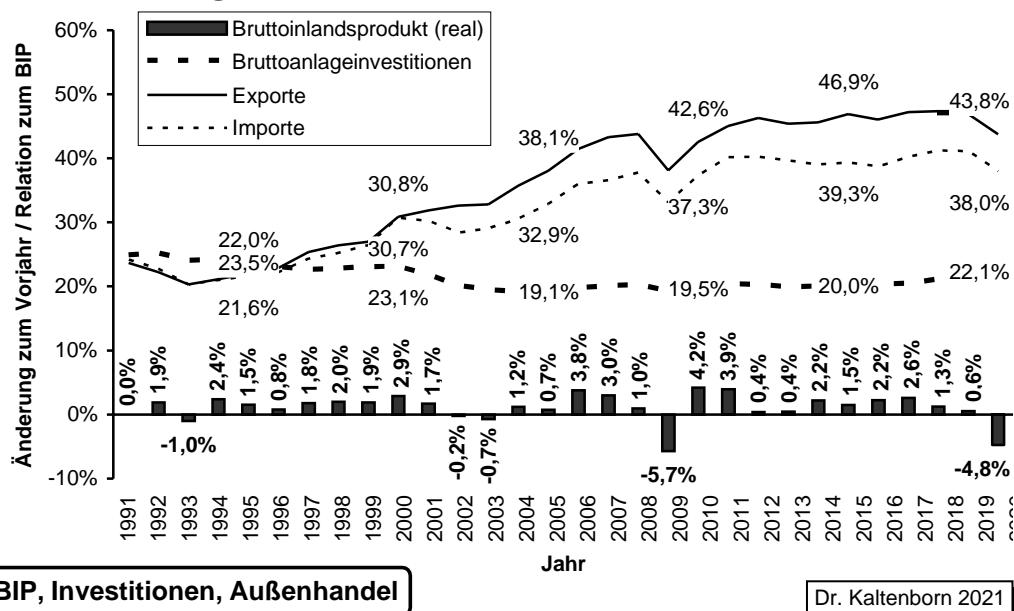
Außerdem zeigt Abbildung 1 die reale Veränderung des Bruttoinlandsprodukts (Wirtschaftswachstum) von 1991 bis 2020. Von 1991 bis 2000 belief es sich im Durchschnitt auf 1,6% jährlich, in den folgenden beiden Dekaden fiel es mit 0,9% und 1,0% jährlich schwächer aus. In diesen beiden Dekaden gab es allerdings aufgrund der weltweiten Finanzkrise 2009 und aufgrund der weltweiten Corona-Pandemie 2020 deutliche Wirtschaftseinbrüche. Im gesamten Zeitraum betrug das Wirtschaftswachstum durchschnittlich 1,2% jährlich.

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung von Bevölkerung und Erwerbstätigkeit von 1991 bis 2020. Die Bevölkerung nahm von 80,0 Mio. im Jahr 1991 zunächst sukzessive auf 81,5 Mio. im Jahr 1997 zu, verharrte weitgehend auf diesem Niveau bis 2004, sank dann sukzessive bis 2011 auf 80,3 Mio. und ist seither wieder sukzessive gestiegen, zuletzt (2020) waren es 83,2 Mio. Seit 1991 hat die Zahl der Erwerbstätigen weitgehend kontinuierlich von 38,9 Mio. auf 44,8 Mio. im Jahr 2020 zugenommen. Davon waren rund 90% Arbeitnehmer/innen und rund 10% Selbstständige einschließlich mithelfende Familienangehörige.

**Tabelle 1: Wirtschaftliche Eckdaten Deutschlands 2020**

Position	Betrag
	Mrd. EUR
Bruttoinlandsprodukt	3.336
Bruttoanlageinvestitionen	738
Exporte	1.460
Importe	1.266
Außenbeitrag (Exporte - Importe)	193

Quelle: Statistisches Bundesamt [2021b, S. 14, 139, 145].

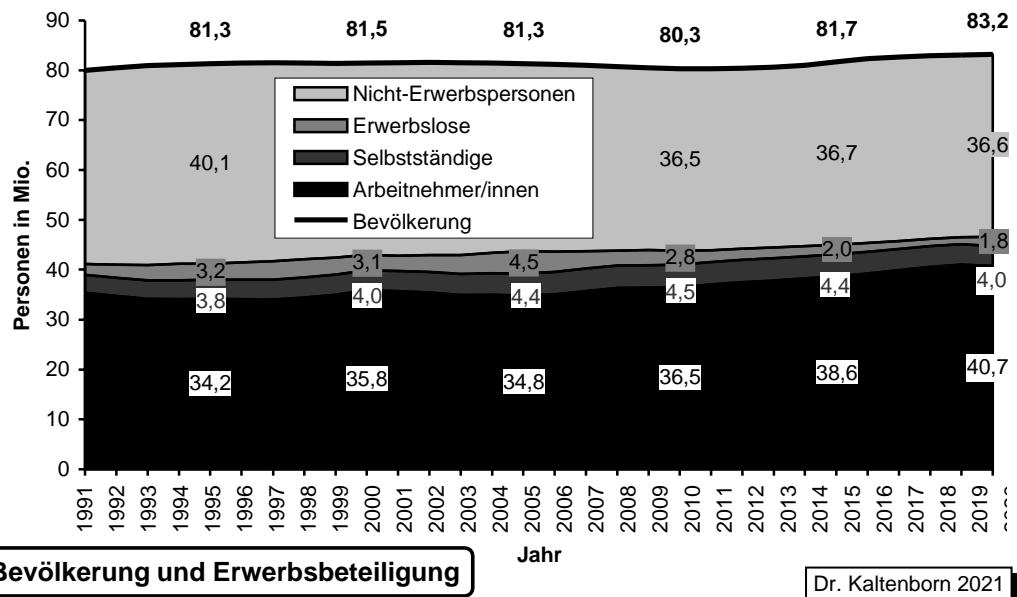
**Abbildung 1: Bruttoinlandsprodukt, Bruttoanlageinvestitionen und Außenhandel Deutschlands 1991 bis 2020 nach der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung**

Anmerkung: BIP: Bruttoinlandsprodukt; dargestellt ist die Veränderung des realen Bruttoinlandsprodukts zum Vorjahr sowie die Bruttoanlageinvestitionen und die Ex- und Importe jeweils in Relation zum Bruttoinlandsprodukt.

Quelle: Statistisches Bundesamt [2021b, S. 14, 139, 145]; eigene Berechnungen.

Trotz der erheblichen Zunahme der Zahl der Erwerbstätigen von 1991 bis 2020 hat es erhebliche Strukturverschiebungen zwischen den Branchen gegeben. Dies wird selbst bei einer relativ groben Unterteilung in lediglich sieben Branchen deutlich (Abbildung 3). Das Produzierende Gewerbe hat 3,1 Mio. weniger Erwerbstätige, in den Dienstleistungsbranchen arbeiten 9,7 Mio. mehr.

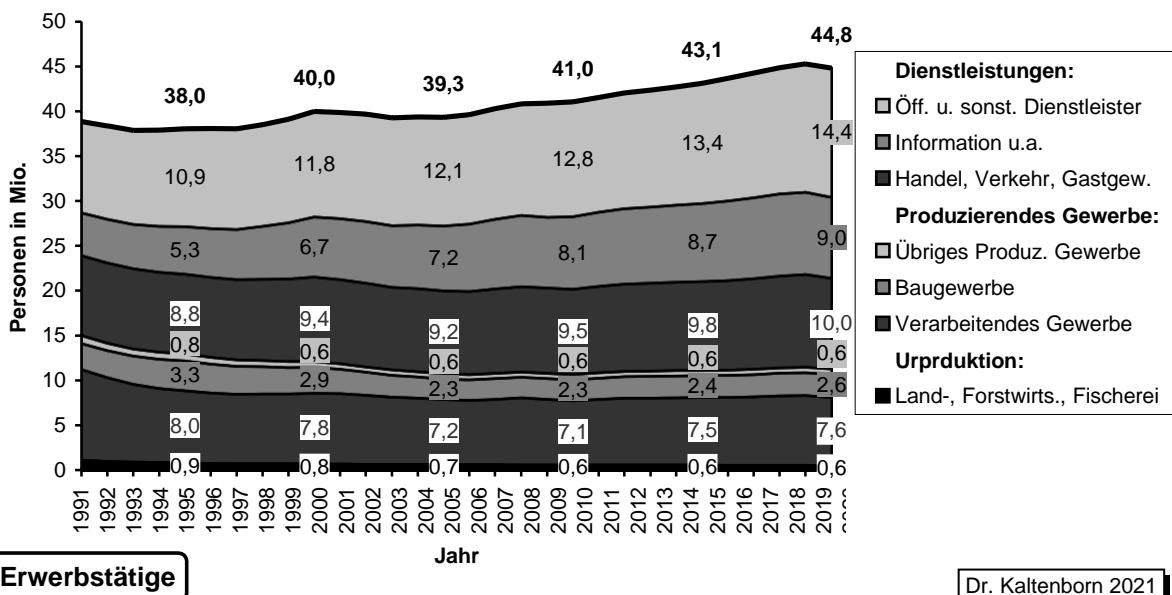
**Abbildung 2: Bevölkerung und Erwerbsbeteiligung in Deutschland 1991 bis 2020 nach der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung**



Anmerkung: Selbstständige: einschließlich mithelfende Familienangehörige; Erwerbslose: Ergebnisse der Arbeitskräfteerhebung (Personen in Privathaushalten im Alter von 15 bis 74 Jahren).

Quelle: Statistisches Bundesamt [2021b, S. 44]; eigene Berechnungen.

**Abbildung 3: Erwerbstätige in Deutschland nach Branchen 1991 bis 2020 nach der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung**



Anmerkung: Information u.a.: Information, Finanzierung, Vermietung und Unternehmensdienstleister.

Quelle: Statistisches Bundesamt [2021b, S. 68]; eigene Berechnungen.

Die Arbeitsproduktivität stieg im Durchschnitt der Jahre 1991 bis 2000 um 1,3% jährlich, von 2000 bis 2010 um 0,6% jährlich und von 2010 bis 2020 um 0,1% jährlich (Statistisches Bundesamt [2021b, S. 51]).

## 2.2 Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter

Die Auswirkungen der anstehenden ökologischen Transformation auf die Erwerbstätigkeit muss auch vor dem Hintergrund des demographischen Wandels betrachtet werden. In diesem Abschnitt wird daher auf Basis der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung der statistischen Ämter des Bundes und der Länder aus dem Jahr 2019 (Statistisches Bundesamt [2019a; 2019b]) ein Überblick über die projizierte Bevölkerung im Erwerbsalter bis zum Jahr 2060 gegeben.

Die Bevölkerungsentwicklung ist das Resultat von Fertilität, Mortalität und Wanderungen. Für jede dieser drei Einflussgrößen werden in der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung jeweils drei unterschiedliche Annahmen getroffen (vgl. Tabelle 2). Durch Kombination der Annahmen ergeben sich insgesamt 27 Varianten. Darüber hinaus gibt es drei weitere spezielle Varianten auf Basis teilweise anderer Annahmen.

**Tabelle 2: Basisannahmen der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung**

Komponente	Ist	Entwicklung bis 2060
Geburtenziffer	2017: 1,57	G1: 1,43 G2: 1,55 G3: 1,73
Lebenserwartung bei Geburt	Sterbetafel 2015 bis 2017: Jungen: 78,4 Jahre Mädchen: 83,2 Jahre	L1: 82,5 / 86,4 Jahre L2: 84,4 / 88,1 Jahre L3: 86,2 / 89,6 Jahre
Wanderungssaldo	2018: 386.000	W1: Rückgang auf 110.500 bis 2030, danach konstant W2: Rückgang auf 206.000 bis 2026, danach konstant W3: Rückgang auf 300.000 bis 2030, danach konstant

Quelle: Statistisches Bundesamt [2019a, S. 6].

Die Bevölkerung im Erwerbsalter wird in den nächsten Dekaden vor allem durch die Annahmen zu den Wanderungen und weitaus weniger durch die Annahmen zur Fertilität und Mortalität bestimmt:

- › Bis sich eine geänderte Fertilität auf die Bevölkerung im Erwerbsalter auswirkt vergehen rund zwei Dekaden. Zudem ändert sich Fertilität nur allmählich, so dass auch nach zwei Dekaden keine sprunghaften Veränderungen zu erwarten sind.
- › In Deutschland erreicht die Bevölkerung ganz überwiegend das Rentenalter. Die Annahmen zur Mortalität wirken sich daher ganz überwiegend auf die Bevölkerung im Rentenalter, nicht jedoch auf jene im Erwerbsalter aus.

- › Mobil sind vor allem junge Menschen, insbesondere junge Erwachsene. Dementsprechend haben Wanderungsbewegungen auch kurzfristig einen erheblichen Einfluss auf die Bevölkerung im Erwerbsalter.

Um einen Überblick über die Bandbreite der Projektionen hinsichtlich der Bevölkerung im Erwerbsalter zu gewinnen, müssen also insbesondere Varianten mit unterschiedlichen Annahmen zu den Wanderungsbewegungen berücksichtigt werden. Hierfür werden die ersten drei Varianten der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung herangezogen, bei denen hinsichtlich Fertilität und Mortalität jeweils das mittlere Szenario zugrunde liegt und die sich durch die Annahmen zur Wanderung unterscheiden. Um zudem einen Eindruck von den Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen zu Fertilität und Mortalität zu vermitteln, werden die Varianten 15 und 18 berücksichtigt. Diese gehen wie die Variante 2 vom mittleren Szenario hinsichtlich der Wanderungsbewegungen aus, unterstellen jedoch eine geringere bzw. höhere Fertilität und Lebenserwartung, so dass deren Effekt im Vergleich zur Variante 2 sichtbar wird. Die Annahmenkombination der berücksichtigten fünf Varianten zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3: Varianten der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung**

Variante	Annahmenkombination
V1	G2-L2-W1
V2	G2-L2-W2
V3	G2-L2-W3
V15	G1-L1-W2
V18	G3-L3-W2

Anmerkung: Dargestellt sind nur jene fünf der insgesamt 30 Varianten, die vorliegend berücksichtigt werden. Zu den Annahmen vgl. Tabelle 2.

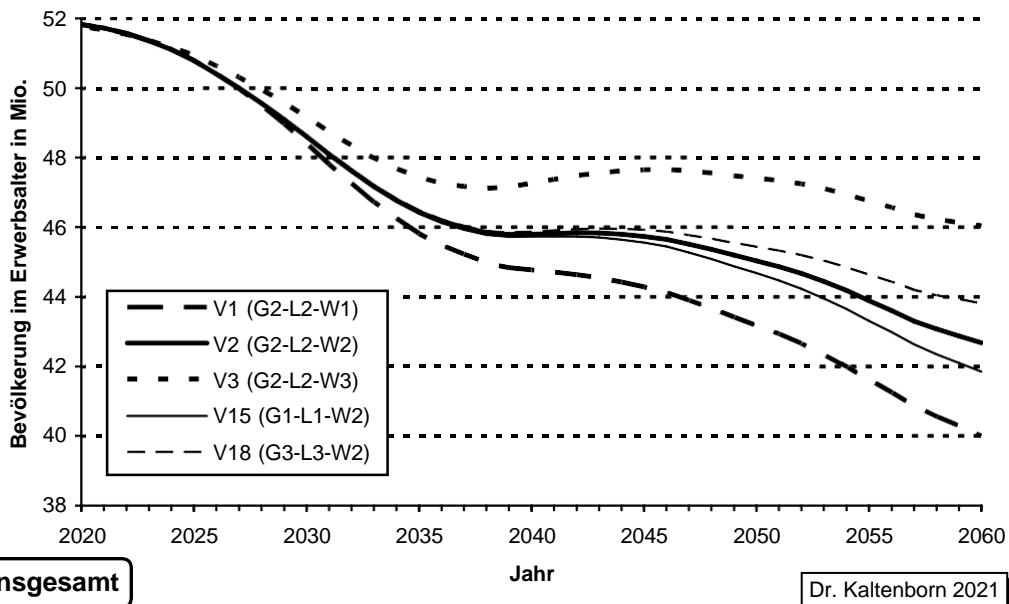
Quelle: Statistisches Bundesamt [2019a, S. 7; 2019b, S. 8f].

Die resultierende Bevölkerung im Erwerbsalter für die fünf skizzierten Varianten der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung zeigt Abbildung 4. Als Erwerbsalter gilt dabei ein Alter zwischen 20 und 66 Jahren (und 11 Monaten). Die obere Altersgrenze entspricht der künftigen Regelaltersgrenze der gesetzlichen Rentenversicherung (§ 35 S. 2, § 235 Abs. 2 SGB VI). Die untere Altersgrenze lässt sich hingegen nicht vergleichbar aus institutionellen Regelungen ableiten und ist insoweit etwas willkürlich. Allerdings ist die genaue Altersabgrenzung zwar relevant für die Größe der Bevölkerung im Erwerbsalter, jedoch kaum für deren Entwicklung im Zeitverlauf und den Einfluss alternativer Annahmen zu Fertilität, Mortalität und Wanderungen.

In der in jeder Hinsicht mittleren Variante 2 sinkt die Bevölkerung im Erwerbsalter von derzeit knapp 52 Millionen auf rund 46 Millionen Ende der 2030er Jahre. Von Mitte der 2040er Jahre bis 2060 gibt es danach einen weiteren Rückgang auf unter 43 Millionen. Die abweichenden Annahmen zu Fertilität und Mortalität in den Varianten 15 und 18 haben erwartungsgemäß erst ab Anfang der 2040er Jahre einen relevanten Einfluss auf die Bevölkerung im Erwerbsalter, bis 2060 variiert sie um rund eine Million Personen. Weitaus relevanter sind

ebenfalls erwartungsgemäß die Annahmen zu den Wanderungsbewegungen wie der Vergleich der Variante 2 mit den Varianten 1 und 3 zeigt. Bereits Ende der 2030er Jahre umfasst durch abweichende Wanderungsannahmen die Bevölkerung im Erwerbsalter rund eine Million mehr oder weniger Personen, bis 2060 sind es sogar rund 2,5 Millionen Personen.

**Abbildung 4: Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter in Deutschland bis 2060**

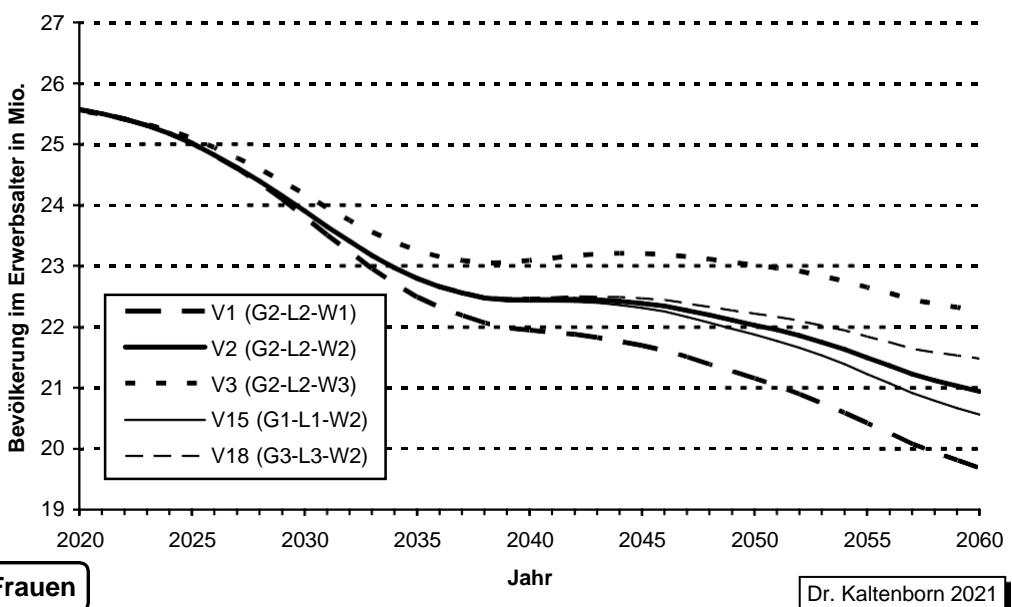
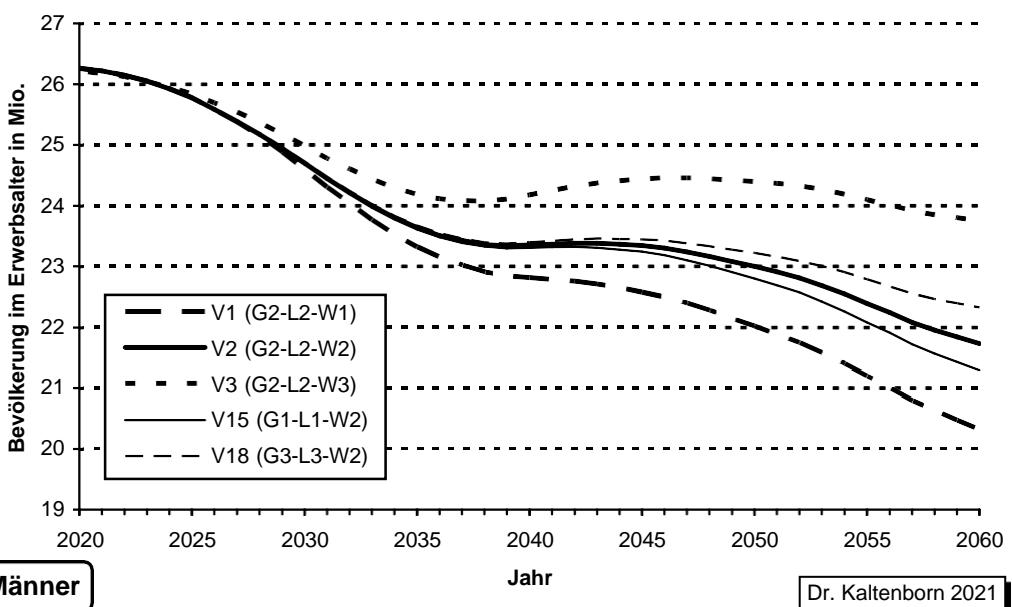


Anmerkung: jeweils Jahresende; Bevölkerung im Alter von 20 bis 66 Jahren.

Quelle: Statistisches Bundesamt [2019a; 2019b]; eigene Berechnungen.

Schließlich zeigt Abbildung 5 Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter differenziert nach Geschlecht. Die projizierte Entwicklung ist für beide Geschlechter weitgehend analog, wobei es in der mittleren Variante 2 jeweils rund eine dreiviertel Million mehr Männer als Frauen im Erwerbsalter gibt.

**Abbildung 5: Projektion der Bevölkerung im Erwerbsalter nach Geschlecht in Deutschland bis 2060**



Anmerkung: jeweils Jahresende; Männer bzw. Frauen im Alter von 20 bis 66 Jahren.

Quelle: Statistisches Bundesamt [2019a; 2019b]; eigene Berechnungen.

## 2.3 Projektion der Erwerbstätigkeit nach Berufen und Branchen

Die künftige Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs wird nicht nur von der ökologischen Transformation beeinflusst, sondern auch durch andere Entwicklungen. Beispielsweise wird die demographische Entwicklung (vgl. Abschnitt 2.2) Niveau und Struktur der Konsumnachfrage und damit die Struktur der erstellten Güter und Dienstleistungen beeinflussen. Dementsprechend verändern sich auch der Arbeitskräftebedarf hinsichtlich Umfang und beruflicher Zusammensetzung. Um einen Eindruck von den insgesamt zu erwartenden künftigen Ent-

wicklungen zu geben, wird in diesem Abschnitt eine nach Berufen und Branchen differenzierte Projektion bis 2040 vorgestellt. Zum derzeitigen Stand enthalten die Tabellen 40 und 41 im Anhang zu Abschnitt 2.3 Angaben zur Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Dezember 2020 differenziert nach Geschlecht und nach den 88 Wirtschaftsabteilungen bzw. 36 Berufshauptgruppen (ohne Militär).

Die nach Berufen und Branchen differenzierte Basisprojektion der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion des Bundesinstituts für Berufsbildung (**BIBB**), des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (**IAB**) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) wird von mehreren Studien zur ökologischen Transformation als Referenz herangzeogen. Hierzu gehören die Studien von MÖNNIG u.a. [2018] zur verstärkten Nutzung von Elektro-PKW (vgl. Abschnitt 5.2), von MÖNNIG u.a. [2020] zu elf Einzelmaßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2019a]) (vgl. Abschnitt 5.8), von BLAZEJCZAK und EDLER [2021] zum Investitionsbedarf für den Klimaschutz (vgl. Abschnitt 5.8) sowie von MÖNNIG u.a. [2021] zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65% gegenüber 1990.

Die BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion zum Arbeitskräftebedarf und zu den Erwerbspersonen auf Berufsebene werden seit 2010 alle zwei Jahre publiziert. Dadurch werden auch Hinweise auf künftige Fachkräfteengpässe gewonnen. Der Projektionszeitraum der fünften Welle reicht bis 2035, jener der aktuellen sechsten Welle bis 2040 (MAIER u.a. [2018; 2020]). Die Projektionen erfolgen differenziert nach 63 Wirtschaftszweigen, 141 Berufsgruppen<sup>3</sup> (KldB 2010) und vier Qualifikations- und Anforderungsniveaus. Sie werden mit dem nach Wirtschaftszweigen, Produktionsbereichen und Gütergruppen differenzierten Simulationsmodell QuBe INterindustry FORecasting GErmany (QINFORGE) erstellt, das auf dem makroökonomischen Input-Output-Modell INterindustry FORecasting GErmany Model (INFORGE) basiert. Die Datengrundlage bilden die Mikrozensen, die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung und Angaben zu sozialversicherungspflichtig und ausschließlich geringfügig Beschäftigten. Den Projektionen liegt eine eigene Bevölkerungsprojektion zugrunde, aus der die Zahl der Erwerbspersonen abgeleitet wird. Für die sechste Welle ergibt sich nach Einschätzung von BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 20f] ein - im Vergleich zur Bandbreite der Projektionen des Statistischen Bundesamtes - vergleichsweise großes Arbeitskräfteangebot. Die Basisprojektion geht jeweils von einer Fortsetzung bestehender Politiken und Trends aus. In der sechsten Welle sind das 2019 beschlossene Klimapaket, also insbesondere das Bundes-Klimaschutzgesetz in seiner ursprünglichen Fassung (vgl. Unterabschnitt 2.4.3), das Konjunkturpaket vom Juni 2020 (MAIER u.a. [2020, S. 2]), der Ausstieg aus der Braunkohle bis 2038 sowie ein Zuwachs von Elektro-PKW bis 2030 auf 5 Millionen (MÖNNIG u.a. [2021, S. 9]) berücksichtigt. Allerdings werden BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 19] zufolge mit der Basisprojektion nicht die seinerzeitigen (sektorspezifischen) Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht, so dass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind (energetische Sanierung bestehender Wohnungsgebäude, klimaneutrale Mobilität, klimafreundliche Energieversorgung). In der sechsten Welle ist in der Basisprojektion zudem die Corona-Pandemie berück-

<sup>3</sup> Die vier Berufsgruppen für die Angehörigen der regulären Streitkräfte wurden zusammengefasst, so dass statt der 144 lediglich 141 Berufsgruppen ausgewiesen werden.

sichtigt, für 2020 wird daher von einem Rückgang des realen Bruttoinlandsprodukts um 7,0% gegenüber dem Vorjahr ausgegangen, wobei angenommen wird, dass nach einer kurzfristigen Abweichung ab 2023 die ursprüngliche Dynamik wieder aufgenommen wird (MAIER u.a. [2020, S. 2]).

Der Basisprojektion der sechsten Welle zufolge nimmt die Zahl der Erwerbstäigen (Arbeitskräftebedarf) von 45,3 Mio. im Jahr 2019 bzw. 45,0 Mio. im Jahr 2020 auf 44,4 Mio. im Jahr 2030 und auf 43,7 Mio. im Jahr 2040 ab. Gleichzeitig gibt es erhebliche Strukturverschiebungen:

- › Branchen (vgl. Tabelle 4): Deutliche Zuwächse gibt es im Gesundheits- und Sozialwesen infolge der Alterung der Bevölkerung (MAIER u.a. [2020, S. 7]), daneben auch bei den sonstige wirtschaftlichen Unternehmensdienstleistern. Deutlich rückläufig ist die Zahl der Erwerbstäigen der Basisprojektion zufolge im Verarbeitenden Gewerbe durch nachlassende Exporte und durch den Anpassungsdruck in einzelnen Branchen, wie beispielsweise der Automobilindustrie und im Baugewerbe aufgrund nachlassender Bauinvestitionen infolge der demographischen Entwicklung (MAIER u.a. [2020, S. 7]). Rückläufig ist die Zahl der Erwerbstäigen auch in den Branchen „Handel, Instandsetzung und Reparatur von Kfz und Gebrauchsgütern“ und „Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung“.
- › Qualifikationsniveaus (vgl. Tabelle 4): Der Basisprojektion zufolge werden vermehrt Arbeitskräfte mit Hochschulabschluss benötigt, ansonsten jedoch weniger. Die Zahl der Helfer- und Anlerntätigkeiten geht von 2020 bis 2040 um 3% zurück, die Zahl der Fachkräfte um 7% und die Zahl der Spezialistinnen und Spezialisten um 3%, während die Zahl der Expertinnen und Experten um 5% zunimmt.
- › Berufshauptgruppen (vgl. Tabelle 42 im Anhang zu Abschnitt 2.3): Der Arbeitskräftebedarf nimmt in ungefähr einem Drittel der 37 Berufshauptgruppen zu, und zwar bis 2030 um 1,1 Mio. und bis 2040 um 1,9 Mio. jeweils gegenüber 2020. In den übrigen ungefähr zwei Dritteln der Berufshauptgruppen nimmt der Arbeitskräftebedarf ab, und zwar bis 2030 um 1,7 Mio. und bis 2040 um 3,2 Mio. jeweils gegenüber 2020. Auf Ebene der Berufshauptgruppen gibt es der Studie zufolge also bis 2030 etwa 2,8 Mio. Arbeitsplätze, die neu entstehen oder wegfallen (Arbeitsplatzfluktuation), bis 2040 sind es 5,1 Mio. Arbeitsplätze. Der Projektion zufolge ist die Beschäftigung in allen 18 Berufshauptgruppen der Berufsbereiche „Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung“, „Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik“, „Unternehmensorganisation, Buchhaltung, Recht und Verwaltung“ und „Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau“ rückläufig, darunter u.a. stark besetzte Berufshauptgruppen wie etwa die Metallberufe (bis 2040: -23,0%), die Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe (-17,7%) und die Berufe in Unternehmensführung und -organisation (-10,8%). Zudem gibt es in weiteren Berufsbereichen stark besetzte Berufshauptgruppen mit deutlichen Rückgängen, etwa in Verkehrs- und Logistikberufen (-5,0%) und Verkaufsberufen (-9,6%). Deutliche Zuwächse von bis zu 20% bis 2040 gibt es hingegen in allen vier Berufshauptgruppen des Berufsbereichs „Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung“, daneben auch bei Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufen (+18,1%), bei Informatik- und andere IKT-Berufen (+21,6%) und bei Werbung, Marketing, kaufmännischen und redaktionellen Medienberufen (+12,0%).

**Tabelle 4: Strukturelle Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt bis 2040 nach der Basisprojektion der sechsten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion**

Merkmal	2019/20 <sup>a</sup>	2030	2040
<b>Erwerbstätige nach Branchen<sup>b</sup> in Mio.</b>			
insgesamt	45,3	44,4	43,7
Land- und Forstwirtschaft	0,6	0,6	0,5
Warenproduzierendes Gewerbe	10,9	9,7	8,8
darunter:			
Verarbeitendes Gewerbe	7,7	6,8	6,1
Baugewerbe	2,6	2,3	2,1
Dienstleistungen	33,8	34,2	34,4
darunter:			
Handel, Instandsetzung und Reparatur von Kfz und Gebrauchsgütern	6,0	5,5	5,1
Sonstige wirtschaftliche Unternehmensdienstleister	2,3	2,6	2,9
Öffentliche Verw., Verteidigung, Sozialversicherung	2,7	2,5	2,3
Gesundheits- und Sozialwesen	6,1	6,5	7,0
<b>Arbeitskräftebedarf nach Qualifikationsniveau in Tsd.</b>	45,0	44,4	43,7
Un- und Angelernte	5,6	5,5	5,5
Fachkräfte (mit beruflichem Abschluss)	24,8	24,1	23,3
Spezialistinnen und Spezialisten (Aufstiegsfortbildung, Bachelor, FH-Diplom)	6,4	6,3	6,2
Expertinnen und Experten (Hochschulabschluss ohne Bachelor / FH-Diplom)	8,2	8,5	8,7

<sup>a</sup> Erwerbstätige nach Branchen: 2019; Arbeitskräftebedarf nach Qualifikationsniveau: 2020.

<sup>b</sup> Dargestellt ist lediglich eine Auswahl an Branchen.

Anmerkung: Erwerbstätige und Arbeitskräftebedarf sind in der Studie identisch.

Quelle: MAIER u.a. [2020, S. 7], <http://www.qube-data.de>.

- › Berufsgruppen (vgl. Tabelle 43 im Anhang zu Abschnitt 2.3): Unter Berücksichtigung der Zusammenfassung der Militärberufe erfolgt die Analyse differenziert nach 141 der 144 Berufsgruppen. Für gut 50 der Berufsgruppen wird ein steigender Arbeitskräftebedarf projiziert, für rund 80 Berufsgruppen ein sinkender Arbeitskräftebedarf. Da die Richtung der projizierten Entwicklung bei den 141 betrachteten Berufsgruppen meist der dazugehörigen Berufshauptgruppe entspricht, ist die projizierte Arbeitsplatzfluktuation auf Ebene der Berufsgruppen nur unwesentlich höher als auf Ebene der Berufshauptgruppen. Allerdings

gibt es auch Berufsgruppen, bei denen abweichend von der Berufshauptgruppe ein steigender oder sinkender Arbeitskräftebedarf projiziert wird. Bei Berufsgruppen mit einem Arbeitskräftebedarf von mindestens 100.000 gibt es abweichend von der projizierten Entwicklung der Berufshauptgruppe Zuwächse im Gartenbau (bis 2040: +0,8%), Technischer Mediengestaltung (+1,0%), Technischer Forschung und Entwicklung (+1,4%), Speisenzubereitung (+6,8%), Geschäftsführung und Vorstand (+2,2%), Steuerberatung (+3,6%) sowie Rechtsberatung, -sprechung und -ordnung (+2,0%). Abweichend von der Entwicklung der Berufshauptgruppe ist der projizierte Arbeitskräftebedarf rückläufig bei Medizinischen Laboratorien (-3,5%) und bei Redaktion und Journalismus (-3,3%).

Der Studie zufolge überstieg 2019 in allen Berufshauptgruppen die Zahl der Erwerbspersonen den Arbeitskräftebedarf (Erwerbstätige) (MAIER u.a. [2020, S. 10]). Der Basisprojektion zufolge wird künftig in elf der 37 Berufshauptgruppen die Zahl der Erwerbspersonen nicht ausreichen, um den Arbeitskräftebedarf zu decken. Dies betrifft insbesondere soziale Dienstleistungen, „Medizinische Gesundheitsberufe“, „Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperpflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik“ und „Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie“.

Die Ergebnisse von MAIER et al. [2020] können herangezogen werden, um einen Eindruck vom geschlechtsspezifischen Anpassungsdruck aufgrund der projizierten Änderungen von Struktur und Niveau des Arbeitskräftebedarfs zu bekommen. Hierzu wird angenommen, dass die nach Berufshauptgruppe differenzierten künftigen Änderungen analog für die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten gelten. Zudem wird angenommen, dass der Frauenanteil an den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der einzelnen Berufshauptgruppen unverändert bleibt. Die Ergebnisse einer entsprechenden Projektion (ohne Militär) für 2030 und 2040 zeigt Tabelle 44 im Anhang zu Abschnitt 2.3. Männer sind überproportional in Berufshauptgruppen tätig, für die eine Reduktion projiziert wird, Frauen sind hingegen überproportional in Berufshauptgruppen mit projizierten Zuwächsen vertreten. Bliebe die Geschlechterverteilung in den einzelnen Berufshauptgruppen unverändert, so wären 2040 etwa 10.000 mehr Frauen und knapp 1,27 Mio. weniger Männer als im Dezember 2020 sozialversicherungspflichtig beschäftigt. Hinter diesem Saldo verbergen sich jedoch Strukturverschiebungen. In elf Berufshauptgruppen würden 463.000 Männer zusätzlich und in 25 Berufshauptgruppen 1,73 Mio. Männer weniger sozialversicherungspflichtig beschäftigt sein. Bei den Frauen gleicht sich der projizierte Zuwachs von 830.000 mit dem Rückgang von 820.000 nahezu aus. Insgesamt ist dieser Projektion zufolge der Anpassungsdruck auf Männer deutlich stärker als auf Frauen.

## 2.4 Klimaschutz und nationale Energiewende

Dem sechsten Sachstandsbericht des Weltklimarats zufolge war die globale Oberflächentemperatur in den ersten beiden Dekaden des 21. Jahrhunderts um etwa 0,99°C höher als in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (Intergovernmental Panel on Climate Change [2021, S. SPM-5]). Eine Fortsetzung der globalen Treibhausgasemissionen auf derzeitigem Niveau führt dem Weltklimarat zufolge zu einer Erderwärmung zwischen 2,1 und 3,5 C in den letzten beiden Dekaden des 21. Jahrhunderts (Intergovernmental Panel on Climate Change [2021, S. SPM-17]). Ein vergleichbares Temperaturniveau gab es zuletzt vor etwa drei Millionen Jahren (Intergovernmental Panel on Climate Change [2021, S. SPM-17]). „Die Welt steht am

Scheideweg: Wir sind die letzte Generation, die noch rechtzeitig gegen den Klimawandel und den Verlust der biologischen Vielfalt vorgehen kann.“ (Europäische Kommission [2021, S. 1])

Zur Reduktion der für den Klimawandel verantwortlichen Treibhausgasemissionen gibt es inzwischen globale, europäische und nationale Bestrebungen und Verpflichtungen. Die Verpflichtungen auf den drei unterschiedlichen Ebenen werden in den Unterabschnitten 2.4.1, 2.4.2 und 2.4.3 skizziert. Dabei wird jeweils auf die tatsächlichen Treibhausgasemissionen entsprechend der Regelungen auf der jeweiligen Ebene eingegangen. Der Gesamtumfang der regulierten Treibhausgasemissionen auf globaler und nationaler Ebene ist grundsätzlich identisch, allerdings ist die Strukturierung unterschiedlich. Auf europäischer Ebene sind ergänzend die Treibhausgasemissionen des internationalen Flugverkehrs zwischen den beteiligten Staaten reguliert.

Die für den Klimawandel verantwortlichen Treibhausgasemissionen sind in Deutschland zu über 80% energiebedingt. Daher wird die bisherige und angestrebte Energiewende in Deutschland in Unterabschnitt 2.4.4 thematisiert. Darüber hinaus sind vor allem Industrieprozesse der Stahlindustrie, der Zementherstellung und der chemischen Industrie sowie die Landwirtschaft für Treibhausgasemissionen verantwortlich (Umweltbundesamt [2021b, S. 289f, 452]).

#### 2.4.1 Globale Verpflichtungen zum Klimaschutz

Auf internationaler Ebene hat sich Deutschland in der im März 1994 in Kraft getretenen Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) von 1992 zur Eindämmung der anthropogenen Erderwärmung politisch verpflichtet. Auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz im Dezember 1997 in Kyoto wurden erstmals völkerrechtlich verbindliche Ziele zur Reduktion von sechs Treibhausgasen<sup>4</sup> vereinbart.<sup>5</sup> In der (ersten) Verpflichtungsperiode verpflichteten sich 38 Industrieländer insgesamt zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 5% im Durchschnitt der

<sup>4</sup> Nicht einbezogen sind der internationale Flug- und Schiffsverkehr. Reglementierte Treibhausgase sind Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Distickstoffoxid (Lachgas) ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) und Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) (Art. 3 Abs. 1, Anl. A Kyoto-Protokoll). Dabei erfolgt eine Umrechnung der übrigen Treibhausgase in Kohlendioxid-Äquivalente auf Basis der „Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (sog Weltklimarat).

<sup>5</sup> Sowohl im globalen als auch im europäischen und nationalen Kontext werden die Emissionen grundsätzlich in jenem Staat berücksichtigt, in dessen Territorium sie entweichen (Territorialprinzip) (EMELE, HARTHAN und MOOSMANN [2019, S. 10]) (abweichend im Verkehrssektor: in dem Land, in dem die Betankung erfolgt). Dazu analog werden Treibhausgasemissionen jeweils dem Sektor zugeordnet werden, in dem sie physisch in die Atmosphäre entweichen (Quellenprinzip) (EMELE, HARTHAN und MOOSMANN [2019, S. 10]). Dies hat beispielsweise zur Folge, dass die Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung nicht dem Verbraucher, sondern der Energiewirtschaft angelastet werden, bei importiertem Strom dem Ausland.

Jahre 2008 bis 2012 gegenüber einem Basisjahr, meist 1990 (Art. 3 Abs. 1 Kyoto-Protokoll).<sup>6</sup> Insgesamt ergab sich eine Verpflichtung für die beteiligten Industrieländer zu einer Reduktion um 5,2% (Umweltbundesamt [2021b, S. 76]). Das Protokoll trat nach Ratifizierung im Februar 2005 in Kraft, eine Ratifizierung durch die USA erfolgte jedoch nicht, Kanada schied 2011 aus (SHISHLOV, MOREL und BELLASSEN [2016, S. 769]). Die Europäische Union (EU) und ihre Mitgliedsstaaten verpflichteten sich zu einer Reduktion um insgesamt 8% (Anl. B Kyoto-Protokoll).

Auf den UN-Klimakonferenzen 2011 und 2012 wurde eine zweite Verpflichtungsphase von 2013 bis 2020 beschlossen. Wiederum verpflichteten sich 38 Industrieländer (Australien und europäische Industrieländer, nicht jedoch USA, Kanada, Russland, Japan und Neuseeland) zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen<sup>7</sup>, und zwar im Zeitraum von 2013 bis 2020 um insgesamt 18% gegenüber 1990. Die Europäische Union verpflichtete sich - analog zur bereits bestehenden Selbstverpflichtung aus dem Jahr 2007 - für ihre seinerzeit 27 Mitgliedsstaaten gemeinsam mit Island und dem im Juli 2013 beigetretenen Kroatien im Durchschnitt der Jahre 2013 bis 2020 zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 20% gegenüber 1990. 90 Tage nach Ratifikation durch eine ausreichende Zahl an Staaten trat das Abkommen erst am letzten Tag der Verpflichtungsperiode in Kraft.

Im Dezember 2015 wurde das Pariser Klimaabkommen beschlossen, das im Dezember 2016 in Kraft trat. Danach soll die Erderwärmung gegenüber der vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2°C und möglichst auf 1,5°C begrenzt werden. Alle Vertragsparteien sind verpflichtet, bis 2020 ihren nationalen Beitrag (Nationally Determined Contributions - NDCs) zur Treibhausgasreduktion festzulegen. Alle fünf Jahre müssen ambitioniertere NDCs vorgelegt werden. Die Vereinten Nationen bewerten anhand der NDCs die erwarteten Emissionen. Danach gab es im Jahr 2019 ein Rekordhoch an Treibhausgasemissionen, im Jahr 2020 dürfte es aufgrund der Corona-Pandemie einen Rückgang zwischen 2% und 12% gegeben haben (United Nations Environment Programme [2020, S. XIV-XV]). Gleichwohl ergebe sich auf Basis der vorliegenden NDCs bis Ende des Jahrhunderts ein globaler Temperaturanstieg von 3,0°C bis 3,2°C (United Nations Environment Programme [2020, S. XXI]). Die Vereinten Nationen weisen auf die Chance verstärkter Anstrengungen, insbesondere durch die Investition in Klimamaßnahmen im Rahmen der Pandemiebekämpfung hin. Damit sei das 2°C-Ziel oder sogar das 1,5°C-Ziel noch erreichbar.

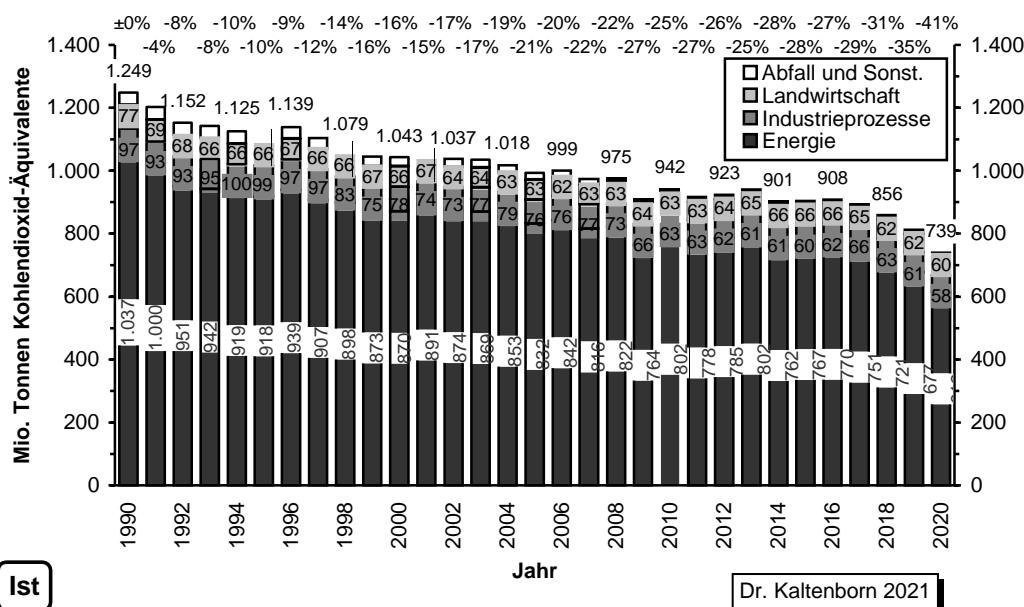
---

<sup>6</sup> Abweichend ist für die EU und Deutschland für Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) 1995 das Basisjahr (Umweltbundesamt [2021b, S. 66]).

<sup>7</sup> Die Regelungen für die Anrechnung emittierter oder gebundener Treibhausgase des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft wurde verändert. Ergänzend zu den bereits zuvor sechs reglementierten Treibhausgasen wurde nun auch die Emission von Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) einbezogen (Basisjahr 1995 bzw. 2000), das hauptsächlich bei Industrieprozessen emittiert wird. Dem Umweltbundesamt [2021b, S. 76] zufolge wurden überdies sechs teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW-152, HFKW-161, HFKW-236cb, HFKW-236ea, HFKW-245fa, HFKW-365mfc) und zwei vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (c-C<sub>3</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>10</sub>F<sub>18</sub>) einbezogen. Zudem erfolgt die Umrechnung anderer Treibhausgase in Kohlendioxid Äquivalente nun auf Basis der „2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ des IPCC.

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der global regulierten Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2020 in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent. Bis 2019 gab es gegenüber 1990 einen Rückgang um 35%, bedingt durch die Corona-Pandemie sanken die Emissionen 2020 nochmals gegenüber 2019, um zwar gegenüber 1990 um 41%. Zuletzt entfielen 83% auf die Energieerzeugung (insbesondere Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude, daneben auch Industrie und Landwirtschaft), jeweils 8% auf Industrieprozesse und die Landwirtschaft (ohne Energieerzeugung) und 1% auf Abfall und Sonstiges.

**Abbildung 6: Global regulierte Treibhausgasemissionen Deutschlands von 1990 bis 2020 nach Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats**



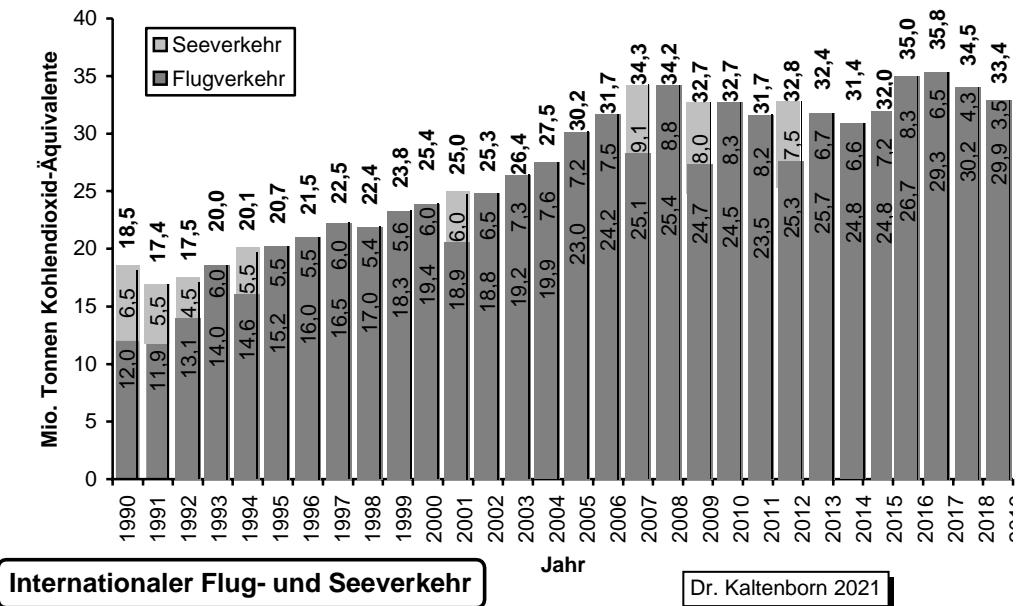
Anmerkung: Dargestellt sind die Treibhausgasemissionen in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent in der Abgrenzung nach Quellkategorien des internationalen gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Format - CRF) sowie deren relative Änderung gegenüber 1990; ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und ohne internationalen Flug- und Seeverkehr; 2020 vorläufig.

Quelle: Umweltbundesamt [2021a]; eigene Berechnungen.

Ergänzend zeigt Abbildung 7 die Treibhausgasemissionen des von Deutschland abgehenden internationalen Flug- und Seeverkehrs von 1990 bis 2019. Nach den internationalen Konventionen werden die Emissionen aus der Betankung von Flugzeugen und Schiffen erfasst, die Deutschland verlassen. Danach haben sich die Treibhausgasemissionen des internationalen Flugverkehrs von 1990 bis 2019 um fast 150% auf 29,9 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente erhöht, während die Emissionen des internationalen Seeverkehrs zuletzt rückläufig waren und 2019 noch 3,5 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente betragen. 2020 dürften die Emissionen infolge der weltweiten Corona-Pandemie deutlich geringer gewesen sein.

Schließlich zeigt Abbildung 8 die Treibhausgasemissionen des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) von 1990 bis 2020. Dieser Sektor fungiert überwiegend als (natürliche) Kohlenstoffsenke, hier wird also Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen.

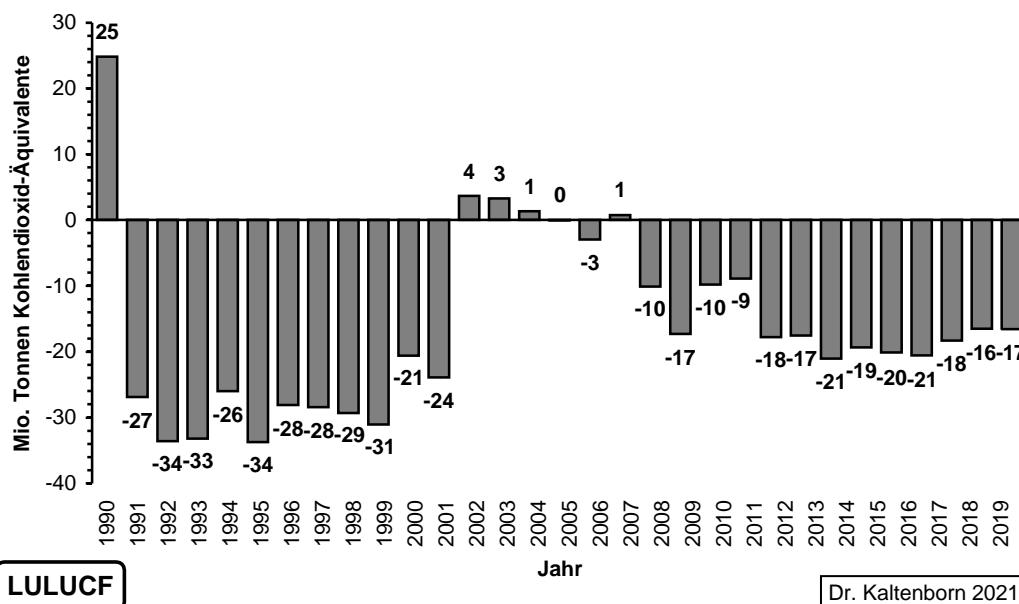
**Abbildung 7: Tatsächliche Treibhausgasemissionen des von Deutschland abgehenden internationalen Flug- und Seeverkehrs von 1990 bis 2019**



Anmerkung: Erfasst werden die Emissionen aus der Betankung von Schiffen und Flugzeugen im Inland, die Deutschland verlassen.

Quelle: Nationales Treibhausgasinventar vom 3. März 2021 nach Angaben der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency - EEA), eigene Berechnungen.

**Abbildung 8: Tatsächliche Treibhausgasemissionen in Deutschland des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) von 1990 bis 2020**



Anmerkung: 2020 vorläufig.

Quelle: Umweltbundesamt [2021a].

## 2.4.2 Europäische Verpflichtungen zum Klimaschutz

Die in Unterabschnitt 2.4.1 erwähnte Verpflichtung der Europäischen Union und ihrer Mitgliedsstaaten zu einer Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 (Anl. B Kyoto-Protokoll) wurde im Rahmen einer Lastenverteilung (EU Burden Sharing Agreement) auf die seinerzeit 15 Mitgliedsstaaten aufgeteilt.<sup>8</sup> Deutschland verpflichtete sich zu einer Reduktion um 21%.

Zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls wurde 2005 der Europäische Emissionshandel eingeführt.<sup>9</sup> Mit dem Emissionshandel soll erreicht werden, dass die erforderlichen Treibhausgasreduktionen zuerst dort erfolgen, wo dies am kostengünstigsten möglich ist. Inzwischen sind neben den derzeit 27 EU-Mitgliedstaaten, Norwegen, Island und Liechtenstein beteiligt, Großbritannien schied nach dem Austritt aus der Europäischen Union Anfang Februar 2020 aus dem Europäischen Emissionshandelssystem Ende 2020 aus<sup>10</sup>. Für ihre Treibhausgasemissionen benötigen Energiewirtschaft und energieintensive Industrie (Emissions-) Zertifikate. Seit 2012 gilt dies auch für die Kohlendioxidemissionen des Luftverkehrs innerhalb und zwischen den am Europäischen Emissionshandel beteiligten Staaten.<sup>11</sup> Über die Gesamtmenge der ausgegebenen Zertifikate wird eine Obergrenze für die Treibhausgasemissionen der einbezogenen Sektoren festgelegt. Die Zertifikate wurden anfangs ganz überwiegend kostenlos an die Emittenten ausgegeben, müssen inzwischen jedoch überwiegend erworben werden (Deutsche Emissionshandelsstelle [2017, S. 78; 2021, S. 86]). Die Zertifikate werden länderübergreifend an einer Börse gehandelt (vgl. auch Tabelle 5). Die erste Handelsperiode von 2005 bis 2007 war eine Pilotphase, die Anzahl der kostenlos ausgeteilten Zertifikate überstieg die tatsächlichen Emissionen (Deutsche Emissionshandelsstelle [2017, S. 78]). Da die Zertifikate der ersten Handelsperiode nur für Emissionen bis Ende 2007 eingesetzt werden konnten, fiel der Preis im Laufe des Jahres 2007 auf unter 0,10 EUR je Tonne (GÖRLACH u.a. [2009, S. 95f]). Seit 2008 sind die ausgegebenen Zertifikate unbegrenzt gültig. In der zweiten und zu Beginn der dritten Handelsperiode wurden jedoch weiterhin mehr Zertifikate ausgegeben als benötigt, so dass ein Zertifikatüberschuss resultierte, der anschließend durch Reduktion der neu ausgegebenen Zertifikate sukzessive abgebaut wurde (Deutsche Emissionshandelsstelle [2021, S. 85f]).

<sup>8</sup> Entscheidung des Rates vom 25. April 2002 über die Genehmigung des Protokolls von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen im Namen der Europäischen Gemeinschaft sowie die gemeinsame Erfüllung der daraus erwachsenden Verpflichtungen (ABl. L 130 vom 15. Mai 2002, S. 1).

<sup>9</sup> Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates (ABl. L 275 vom 25. Oktober 2003, S. 32).

<sup>10</sup> Lediglich die Stromerzeugung in Nordirland ist weiterhin dabei.

<sup>11</sup> Richtlinie 2009/29/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten (ABl. L 140 vom 5. Juni 2009, S. 63).

**Tabelle 5: Handelsperioden des Europäischen Emissionshandelssystems**

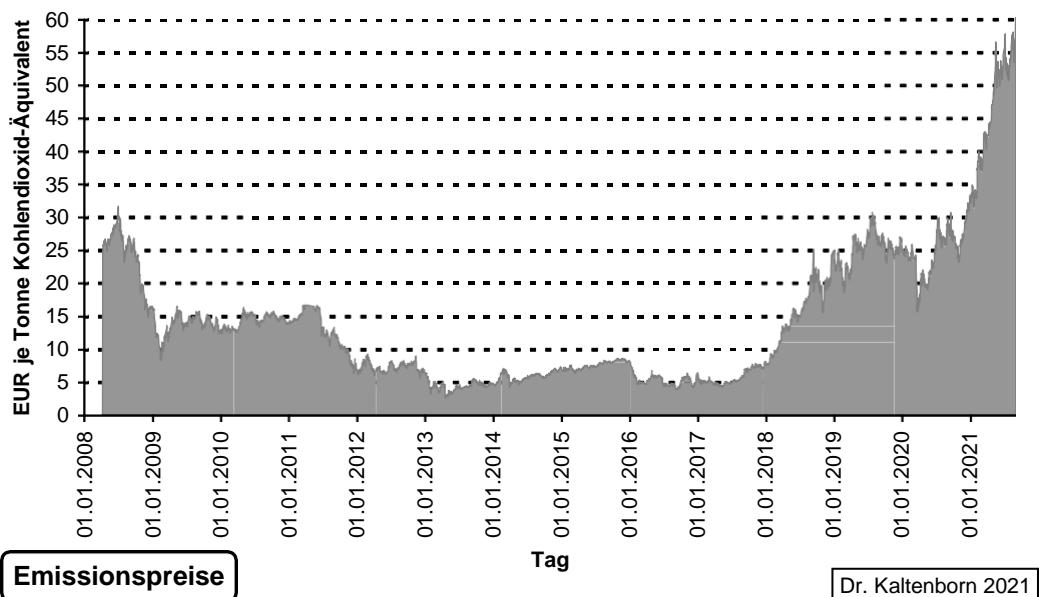
Handelsperiode	Beteiligte Staaten	Beteiligte Branchen	Ausgestaltung
2005 bis 2007	alle 25 EU-Mitgliedsstaaten	Energie; energieintensive Industrie (Eisen und Stahl; mineralverarbeitende Industrie; Zellstoff und Papier)	Übertragung ungenutzter Zertifikate in folgende Handelsperiode nicht möglich
<b>Änderungen</b>			
2008 bis 2012	auch Bulgarien und Rumänien (EU-Mitglieder ab Anfang 2007), Liechtenstein, Island und Norwegen	ab 2012: auch Kohlendioxidemissionen des Flugverkehrs in und zwischen den beteiligten Staaten	Übertragung ungenutzter Zertifikate in folgende Handelsperiode möglich
2013 bis 2020	ab 2014 Kroatien (EU-Mitglied ab Juli 2013) (Großbritannien auch nach EU-Austritt zum 1. Februar 2020) (identisch mit Europäischem Wirtschaftsraum)	weitere Industriezweige; ab 2020 auch Kohlendioxidemissionen des Flugverkehrs in die Schweiz	Reduktion der Zertifikate bis 2020 um 21% gegenüber 2005
2021 bis 2030	Großbritannien nach Austritt aus der EU nicht mehr beteiligt (Stromerzeugung in Nordirland weiterhin dabei)	-	Reduktion der Zertifikate bis 2020 um 43% gegenüber 2005

Anmerkung: Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Distickstoffoxid (Lachgas) ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ).

Quelle: Eigene Darstellung u.a. Basis von EU-Richtlinien, GÖRLACH u.a. [2009] und Deutsche Emissionshandelsstelle [2012].

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der Preise im Europäischen Emissionshandel für Emissionszertifikate für stationäre Anlagen ab der zweiten Handelsperiode. In den ersten Monaten nach Handelsbeginn stiegen die Preise bis auf knapp 32 EUR je Tonne Kohlendioxid Äquivalent, fielen bis Ende 2008 auf gut 16 EUR und schwankten dann bis Mitte 2018 zwischen knapp 3 EUR und knapp 17 EUR. Seither gab es einen deutlichen Anstieg auf zuletzt (Ende August 2021) über 60 EUR.

**Abbildung 9: Preisentwicklung im Europäischen Emissionshandel für Emissionsrechte stationärer Anlagen von 2008 bis August 2021**

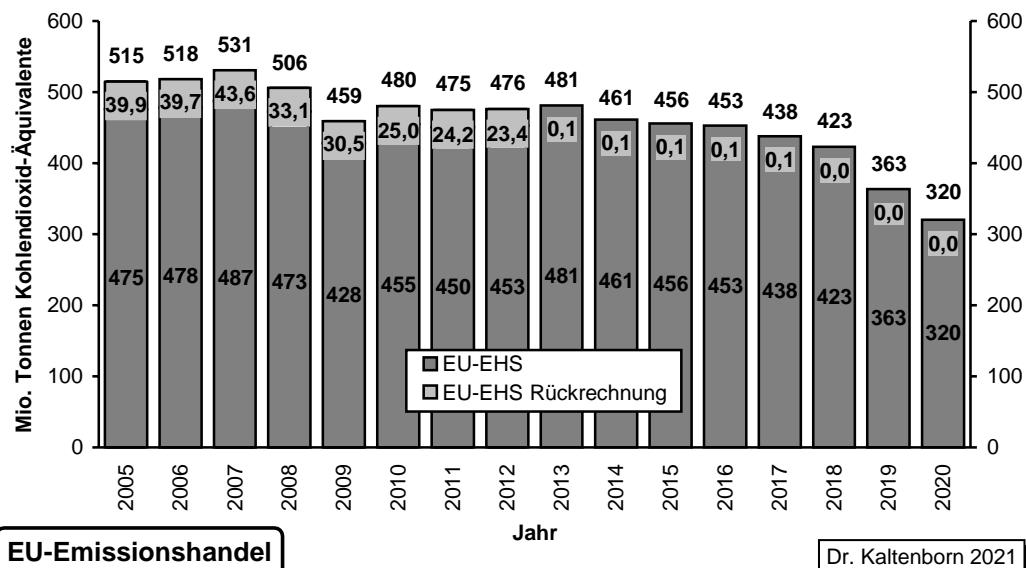


Anmerkung: Börsenpreis (Terminmarkt) für European Union Allowance (EUA) auf Basis von Angaben der Intercontinental Currency Exchange (ICE).

Quelle: Ember.

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland, die dem Europäischen Emissionshandelssystem unterliegen, seit dessen seit Einführung Anfang 2005. Insbesondere zu Beginn der Handelsperioden in den Jahren 2008 und 2013 wurde der Anwendungsbereich des Emissionshandelssystems ausgedehnt. Um sinnvolle Zeitvergleiche zu ermöglichen sind daher auch die Emissionen in den Vorjahren ausgewiesen, die nach dem Recht des Jahres 2020 dem Emissionshandelssystem unterlegen hätten. Von 2005 bis 2020 sind die Emissionen in Deutschland, die nach dem 2020 geltenden Recht dem Europäischen Handelssystem unterliegen, um 38% zurückgegangen. Die Rückgänge in den Jahren 2009 und 2020 dürften weitgehend auf die wirtschaftliche Abschwächung (vgl. Abbildung 1 in Abschnitt 2.1) infolge der weltweiten Finanzkreise bzw. die Corona-Pandemie zurückzuführen sein. In Deutschland unterlagen 2020 ungefähr 43% der Treibhausgasemissionen dem Europäischen Emissionshandelssystem. Während der Energiesektor in Deutschland innerhalb des Europäischen Emissionshandelssystems seit 2005 seine Treibhausgasemissionen auf 206,5 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente im Jahr 2020 deutlich reduziert hat, beliefen sich die Emissionen aus industriellen Prozessen weitgehend unverändert auf 113,7 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente.

**Abbildung 10: Tatsächliche Treibhausgasemissionen stationärer Anlagen in Deutschland von 2005 bis 2020 innerhalb des Europäischen Emissionshandelsystems**



Anmerkung: Emissionen stationärer Anlagen in Deutschland, die dem Europäischen Emissionshandelssystem (EU-EHS) unterliegen, die ihm bis 2019 nach dem Recht von 2020 unterlegen hätten (EU-EHS Rückrechnung). Quelle: Deutsche Emissionshandelsstelle [2021, S. 121], eigene Berechnungen.

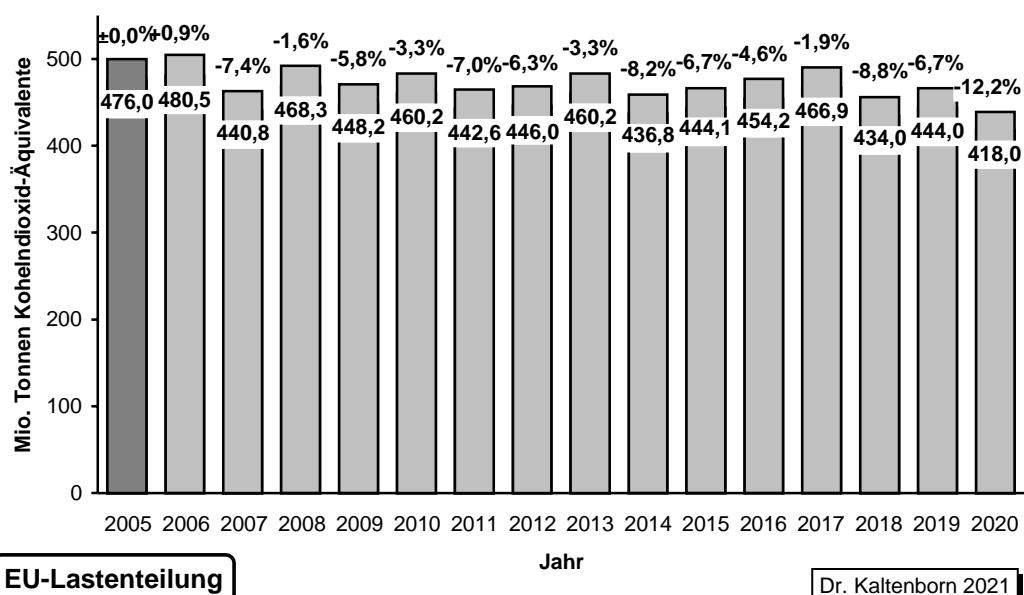
Der Europäische Rat [2007, S. 12] hat im März 2007 beschlossen, die Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union bis 2020 um 20% gegenüber 1990 zu reduzieren. Hierfür sollten die Treibhausgasemissionen der Sektoren, die dem Europäischen Emissionshandel unterliegen, bis 2020 gegenüber 2005 um 21% reduziert werden,<sup>12</sup> und die Emissionen der übrigen Sektoren um 10% (REICHERT [2009, S. 10]). Zur Umsetzung der letztgenannten Verpflichtung wurde in der Europäischen Union 2013 die EU-Lastenverteilung (Effort Sharing Desicion - ESD) eingeführt und die erforderlichen Einsparungen für die einzelnen Jahre von 2013 bis 2020 auf die EU-Mitgliedsstaaten aufgeteilt, auf Deutschland entfiel eine Einsparung von 14% im Jahr 2020 gegenüber 2005.<sup>13</sup> Abbildung 11 zeigt die Entwicklung der tatsächlichen Treibhausgasemissionen, die der 2013 eingeführten EU-Lastenteilung unterlegen haben oder

<sup>12</sup> Richtlinie 2009/29/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten (ABl. L 140 vom 5. Juni 2009, S. 63).

<sup>13</sup> Entscheidung Nr. 406/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 (ABl. L 140 vom 5. Juni 2009, S. 136); für die zulässigen absoluten Treibhausgasemissionen und deren Verteilung auf die einzelnen Jahre von 2013 bis 2020 vgl. Beschluss 2013/162/EU der Kommission vom 26. März 2013 zur Festlegung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2013 bis 2020 gemäß der Entscheidung Nr. 406/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (ABl. L 90 vom 28. März 2013, S. 106).

zuvor unterlegen hätten. Während Deutschland von 2013 bis 2015 seine Treibhausgasemissionen stärker reduziert hat als im Rahmen der EU-Lastenteilung vorgesehen, wurden die Ziele in den Jahren 2016 bis 2020 - trotz der wirtschaftlichen Abschwächung im Jahr 2020 infolge der Corona-Pandemie (vgl. Abbildung 1 in Abschnitt 2.1) - verfehlt (GORES und GRAICHEN [2021, S. 4]). Trotz des vorgesehenen intertemporalen Ausgleichs hat Deutschland seine Klimaziele für den gesamten Zeitraum von 2013 bis 2020 um 22 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente verfehlt und muss hierfür Emissionsrechte von anderen EU-Mitgliedsstaaten oder Gutschriften aus internationalen Projektmaßnahmen erwerben (GORES und GRAICHEN [2021, S. 1]). In Deutschland unterlagen im Jahr 2020 ungefähr 57% der Treibhausgasemissionen der EU-Lastenteilung.

**Abbildung 11: Tatsächliche Treibhausgasemissionen in Deutschland von 2005 bis 2020 innerhalb der EU-Lastenteilung**



Anmerkung: dargestellt sind die Emissionen in Deutschland, die der 2013 eingeführten EU-Lastenteilung unterlegen haben oder zuvor unterlegen hätten, und ihre Änderung gegenüber 2005; 2019 und 2020: Schätzung.

Quelle: European Environment Agency ([https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/esd-2/esd-dataset-2020-for-the/ghg\\_esd.xlsx/at\\_download/file](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/esd-2/esd-dataset-2020-for-the/ghg_esd.xlsx/at_download/file)) (2005 bis 2018), GORES und GRAICHEN [2021, S. 6] (2019 und 2020), eigene Berechnungen.

Im Oktober 2014 hat der Europäische Rat [2014, S. 1] als verbindliches Ziel für die Europäische Union eine Verminderung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 40% gegenüber 1990 festgelegt. Dabei wurde für die in den Europäischen Emissionshandel einbezogenen Sektoren eine Reduktion um 43% gegenüber 2005 und für die übrigen Sektoren eine Reduktion um 30% gegenüber 2005 vorgesehen.

Zur Umsetzung des Pariser Klimaabkommens auf EU-Ebene geht die Europäische Klimaschutzverordnung<sup>14</sup> vom Mai 2018 von dem bereits seit 2014 verbindlichen Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 40% gegenüber 1990 aus. Nunmehr wird das daraus bereits zuvor abgeleitete Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen der Sektoren außerhalb des Europäischen Emissionshandels bis 2030 um 30% gegenüber 2005 auf die einzelnen Mitgliedstaaten und die einzelnen Jahre von 2021 bis 2030 verteilt. Auf die Reduktionsziele können erstmals Kohlenstoffsenken im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft von bis zu 280 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten in der gesamten Dekade angerechnet werden. In begrenztem Umfang können Emissionsrechte zwischen den Jahren und - durch bilaterale Vereinbarung und daher regelmäßig entgeltlich - zwischen Ländern übertragen werden. Für Deutschland ist eine Reduktion seiner Treibhausgasemissionen (der Sektoren außerhalb des Europäischen Emissionshandels) bis 2030 um mindestens 38% gegenüber 2005 vorgesehen, wobei Kohlenstoffsenken im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft von höchstens 22,3 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente in der gesamten Dekade angerechnet werden können. Abbildung 12 zeigt die danach zulässigen Treibhausgasemissionen in Deutschland von 2021 bis 2030.

Ab 2021 gibt es erstmals auf EU-Ebene verbindliche Klimaziele für den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft. In den Zeiträumen 2021 bis 2025 und 2026 bis 2030 soll dieser Sektor in den EU-Mitgliedsstaaten jeweils netto keine Treibhausgase emittieren.<sup>15</sup> Angesichts der bisherigen Treibhausgasemissionen (vgl. Abbildung 8 in Unterabschnitt 2.4.1) erscheint die künftig geforderte Netto-Treibhausgasneutralität des Sektors für Deutschland wenig ambitioniert.

Die Europäische Kommission [2018, S. 4] hat Ende 2018 als Ziel die Klimaneutralität der Europäischen Union bis 2050 formuliert. Im Juni 2021 wurde das sog. Europäische Klimagesetz<sup>16</sup> verabschiedet. Als verbindliche Ziele sind nun eine Senkung der Netto-Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union bis 2030 um 55% gegenüber 1990 vorgesehen, bis 2050 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden, danach negative Emissionen (Art. 1, Art. 2 Abs. 1, Art. 4 Abs. 1 Europäisches Klimagesetz). Auf die Reduktionsziele können Kohlenstoffsenken im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in begrenztem Umfang angerechnet werden, im Jahr 2030 begrenzt auf 225 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente. Dementsprechend müssen die Treibhausgasemissionen der übrigen Sek-

---

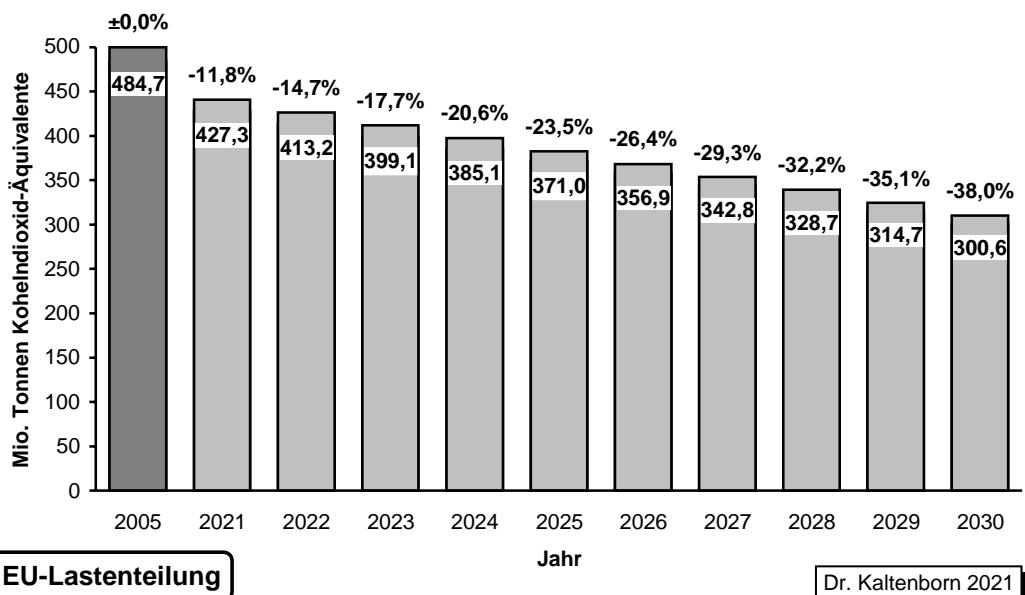
<sup>14</sup> Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (ABl. L 156 vom 19. Juni 2018, S. 26).

<sup>15</sup> Verordnung (EU) 2018/841 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 und des Beschlusses Nr. 529/2013/EU (ABl. L 156 vom 19. Juni 2018, S. 1).

<sup>16</sup> Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 („Europäisches Klimagesetz“) (ABl. L 243 vom 9. Juli 2021, S. 1).

toren bis 2030 lediglich um 52,8% gegenüber 1990 vermindert werden. Eine Aufteilung des Reduktionsziels auf die Sektoren des Europäischen Handelssystems einerseits und für die übrigen Sektoren auf die EU-Mitgliedsstaaten andererseits ist bislang nicht erfolgt. Jüngst hat die Europäische Kommission [2021] Vorschläge vorgelegt, wie die ambitioniertere Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht werden kann.

**Abbildung 12: Zulässige Treibhausgasemissionen in Deutschland von 2021 bis 2030 innerhalb der EU-Lastenteilung**



Anmerkung: Dargestellt sind die zulässigen Emissionen in Deutschland von 2021 bis 2030 innerhalb der EU-Lastenteilung und der Vergleichswert 2005 sowie die relativen Änderungen gegenüber 2005; Kohlenstoffsenken im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft von höchstens 22,3 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente in der gesamten Dekade können angerechnet werden.

Quelle: Durchführungsbeschluss (EU) 2020/2126 der Kommission vom 16. Dezember 2020 zur Festlegung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2021 bis 2030 gemäß der Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates (ABl. L 426 vom 17. Dezember 2020, S. 58).

#### 2.4.3 Nationale Verpflichtungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und ihre Bepreisung

In diesem Unterabschnitt werden nationale Verpflichtungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und ihre Bepreisung thematisiert. Im folgenden Unterabschnitt 2.4.4 wird auf technologiespezifische Aspekte der nationale Energiewende eingegangen (Energieeffizienz, Kernkraft, Kohle, erneuerbare Energien, Wasserstoffnutzung).

Die Bundesregierung [2007, S. 2] hat bereits 2007 eine Verpflichtung auf eine Treibhausgasminderung bis 2020 um 40% gegenüber 1990 in Aussicht gestellt. 2010 hat sie sich in ihrem Energiekonzept politisch auf das Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40%, bis 2030 um 55%, bis 2040 um 70% und bis 2050 um 80% bis 95% gegenüber 1990 verpflichtet und das Ziel für 2030 erneut 2016 in ihrem „Klimaschutzplan 2050“ bekräftigt

(Deutscher Bundestag [2010, S. 2; 2016, S. 14, 18]) (vgl. auch Tabelle 6).<sup>17</sup> Der „Klimaschutzplan 2050“ enthält zudem Ziele für 2030 differenziert nach sechs Sektoren (Deutscher Bundestag [2016, S. 18]) (vgl. Tabelle 7). Dabei folgt die Strukturierung in die sechs Sektoren wie auch im späteren Bundes-Klimaschutzgesetz einer anderen Logik als auf internationaler Ebene (zur Überführung vgl. EMELE, HARTHAN und MOOSMANN [2019]).

Um die im Klimaschutzplan festgelegten Ziele für 2030 zu erreichen, hat die Bundesregierung in ihrem Klimaschutzprogramm 2030 detaillierte Eckpunkte für ein Instrumentarium vorgelegt (Deutscher Bundestag [2019a]). Die Eckpunkte wurden im weiteren Verlauf in modifizierter Version im Brennstoffemissionshandelsgesetz und im Bundes-Klimaschutzgesetz kodifiziert, deren Inhalt im Folgenden skizziert wird.

Nach dem 2019 verabschiedeten Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) benötigen ab 2021 die Sektoren Gebäude und Verkehr nationale Emissionszertifikate für ihre Treibhausgasemissionen. Bis 2025 haben sie einen gesetzlichen Festpreis, ab 2026 werden die Zertifikate an einer nationalen Börse mit einem anfangs begrenzten Preiskorridor gehandelt.

Die bereits frühere politische Verpflichtung zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55% gegenüber 1990 wurde - auch zur Umsetzung des Pariser Klimaabkommens - mit dem im Dezember 2019 in Kraft getretenen Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) gesetzlich verankert (§ 3 Abs. 1 KSG a.F.). Zudem verfolgt Deutschland seither bis 2050 das Ziel der Treibhausgasneutralität (§ 1 S. 3 KSG a.F.). Für die Jahre 2020 bis 2030 sind jahresspezifische Ziele differenziert nach jenen sechs Sektoren festgelegt, nach denen bereits eine Differenzierung im „Klimaschutzplan 2050“ erfolgte (§ 4 Abs. 1, Anlage 2 KSG). Anstelle der bereits 2010 im Energiekonzept der Bundesregierung angestrebten Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% gegenüber 1990, wurde im KSG für 2020 lediglich eine Einsparung von 35% festgeschrieben.

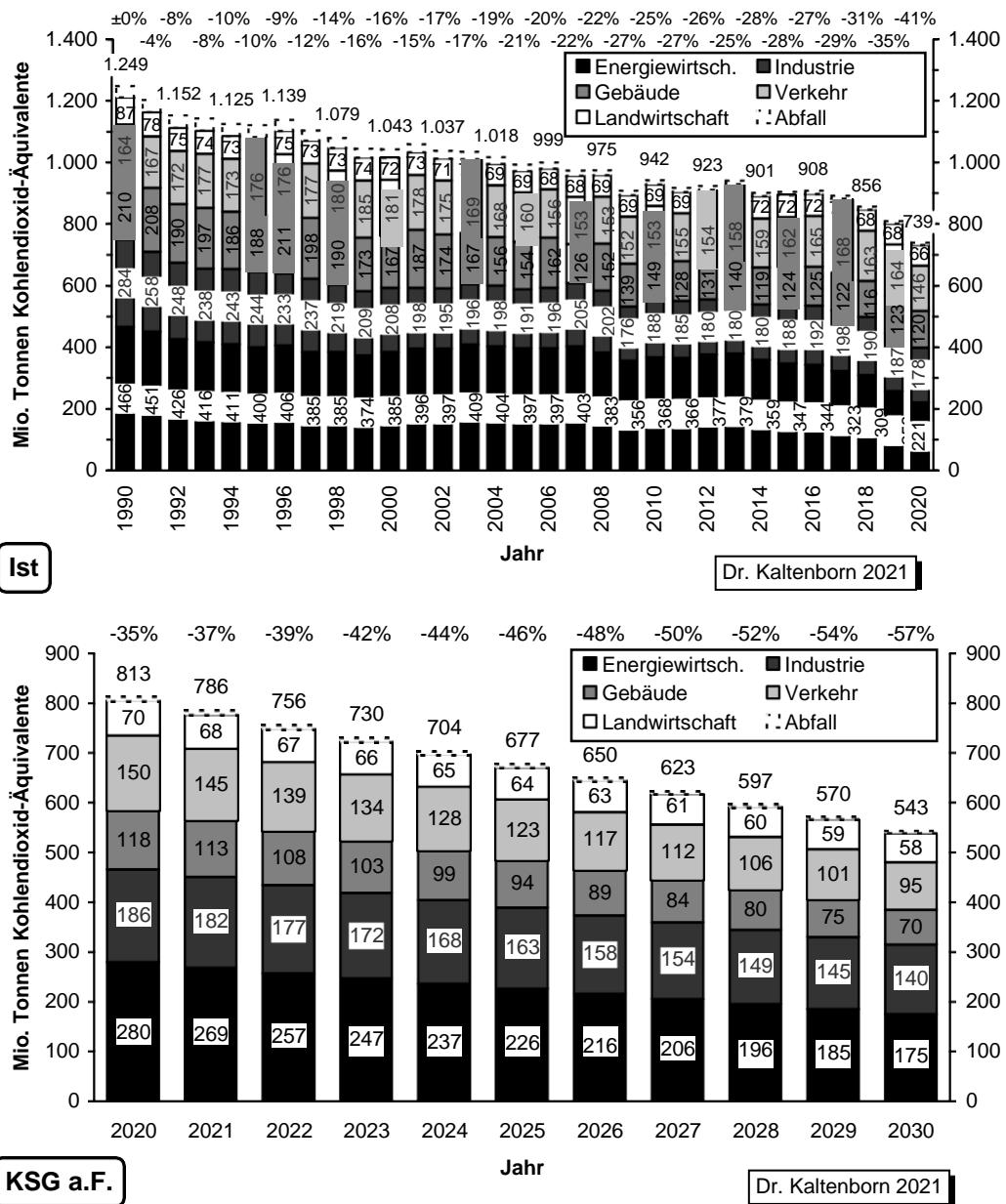
Abbildung 13 zeigt im oberen Teil die tatsächlichen Treibhausgasemissionen der sechs Sektoren des KSG von 1990 bis 2020 in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent. Der untere Teil der Abbildung 13 zeigt die nach dem KSG a.F. zulässigen Treibhausgasemissionen ebenfalls differenziert nach den sechs Sektoren. 2019 waren die Treibhausgasemissionen um 35% geringer als 1990, 2020 - bedingt durch die Corona-Pandemie - um 41%. Die Summe der erforderlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen der sechs Sektoren beläuft sich im Jahr 2030 auf 57% gegenüber 1990.

Durch das Bundes-Klimaschutzgesetz sind anders als auf EU-Ebene der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) (vgl. Abbildung 8 in Unterabschnitt 2.4.1) und der internationale Seeverkehr nicht reglementiert, der internationale Flugverkehr auch nicht teilweise (vgl. Abbildung 7 in Unterabschnitt 2.4.1).

---

<sup>17</sup> 55% gegenüber 1990 entsprechen 43% gegenüber 2005 (Deutscher Bundestag [2019a, S. 12]).

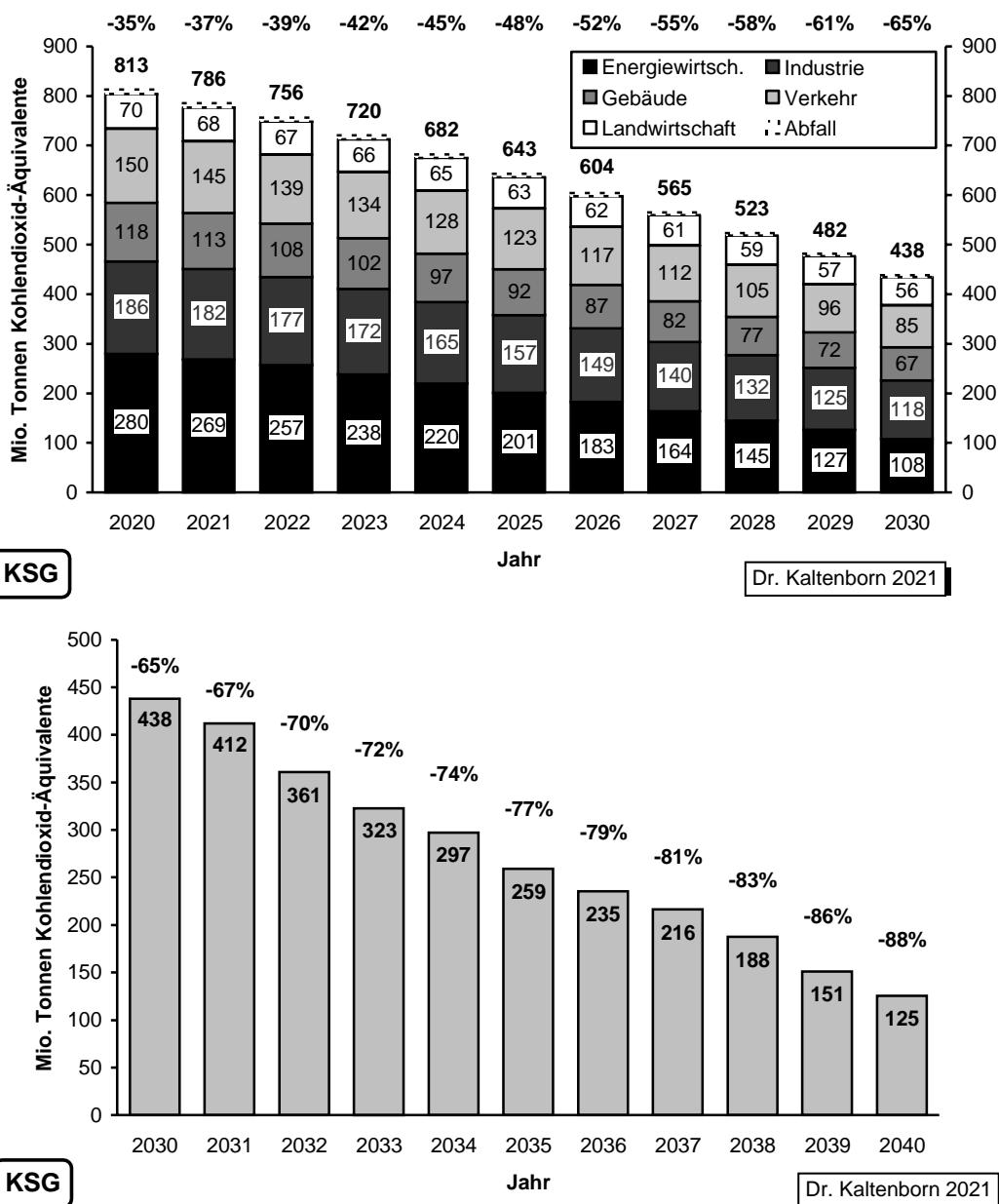
**Abbildung 13: Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2020 und nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz a.F. von 2020 bis 2030**



Anmerkung: ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und ohne internationale Flug- und Seeverkehr; Ist: Dargestellt sind die Treibhausgasemissionen in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent in der Abgrenzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes sowie deren relative Änderung gegenüber 1990; 2020 vorläufig. KSG a.F.: Dargestellt sind die nach § 4, Anl. 2 KSG a.F. zulässigen Treibhausgasemissionen in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent sowie deren relative Änderung gegenüber 1990; für die Energiewirtschaft gibt es lediglich Vorgaben für 2020, 2022 und 2030, dazwischen wurde linear interpoliert.

Quelle: Umweltbundesamt [2021a] (Ist 1990 bis 2020); § 4, Anl. 2 KSG a.F. (Soll 2020 bis 2030); eigene Berechnungen (relative Änderung gegenüber 1990).

**Abbildung 14: Zulässige Treibhausgasemissionen in Deutschland nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz von 2020 bis 2040**



Anmerkung: Dargestellt sind die nach § 4, Anlage 2-3 KSG zulässigen Treibhausgasemissionen in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente sowie deren relative Änderung gegenüber 1990; ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und ohne internationalen Flug- und Seeverkehr.

Quelle: Umweltbundesamt [2021a] (Ist 1990); § 4, Anlage 2-3 KSG (Soll 2020 bis 2040); eigene Berechnungen.

Das Bundesverfassungsgericht hat im März 2021 das Bundes-Klimaschutzgesetz insoweit für verfassungswidrig erklärt, als eine Regelung über die Fortschreibung der nationalen Minde rungsziele für Zeiträume ab dem Jahr 2031 fehlt (BVerfG 24.03.2021, 1 BvR 2656/18, 1 BvR 78/20, 1 BvR 96/20, 1 BvR 288/20). Begründet wurde dies damit, dass das Gesetz hohe Emissionsminderungslasten unumkehrbar auf Zeiträume nach 2030 und damit zu Lasten der jüngeren Generation verschiebe.

Im Anschluss an die Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts wurden die Vorgaben des Bundes-Klimaschutzgesetz zur Reduktion von Treibhausgasemissionen verschärft. Nunmehr sollen bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 65% gegenüber 1990 und bis 2040 um 88% vermindert werden (§ 3 Abs. 1 KSG). Bis 2045 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden, nach 2050 soll es negative Treibhausgasemissionen geben (§ 3 Abs. 2 KSG). Zudem wurden die sektoralen Einsparvorgaben für die Jahre 2023 bis 2030 verschärft, für den Energiesektor Einsparvorgaben auch für die Jahre 2021 und 2023 bis 2029 festgelegt sowie ein Anpassungspfad für die Jahre 2031 bis 2040 bestimmt (vgl. Abbildung 14).

Die Europäische Union hat jüngst ihr bisheriges Ziel für 2030, die Treibhausgasemissionen um 40% gegenüber 1990 zu reduzieren, auf 55% bzw. 52,8% angehoben (vgl. Unterabschnitt 2.4.2). Hierfür wird entsprechend der bisherigen Zielsetzung für Deutschland eine Reduktion seiner Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55% nicht mehr ausreichen. DAMBECK u.a. [2020, S. 19] zufolge wird ein Beitrag Deutschlands in einer Größenordnung notwendig sein, wie es das novellierte Bundes-Klimaschutzgesetz nun vorsieht.

Tabelle 6 fasst die Genese der Ziele Deutschlands zur Reduktion seiner Treibhausgasemissionen in den Jahren bis 2050 zusammen. In Tabelle 7 erfolgt eine Differenzierung nach Sektoren, die erstmals mit dem Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung im Jahr 2016 vorgenommen wurde.

**Tabelle 6: Ziele Deutschlands zur Reduktion seiner Treibhausgasemissionen**

Quelle	2020	2030	2040	2050
Energiekonzept (2010); 1. Fortschrittsbericht Energiewende (2014)	40%	55%	70%	80% bis 95%
KSP 2050 (2016)	k.A.	55%	70%	„Leitbild einer weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050“
KSG a.F. (2019)	35%	55%	k.A.	„Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel“ (§ 1 S. 3 KSG a.F.)
KSG (2021)	35%	65%	88%	bis 2045: Netto-Treibhausgasneutralität; nach 2050: negative Treibhausgasemissionen

Anmerkung: Angegeben sind die angestrebten Einsparungen gegenüber 1990.

Quelle: Deutscher Bundestag [2010, S. 2; 2014a, S. 12, 114; 2016, S. 14], § 1 S. 3, § 3 Abs. 1 S. 2 KSG a.F., § 3 Abs. 1-2 KSG.

**Tabelle 7: Ziele Deutschlands zur Reduktion seiner Treibhausgasemissionen bis 2030 nach Sektoren**

Sektoren	KSP 2050 (2016)	KSG a.F. (2019)	KSG (2021)
Energiewirtschaft	62-61%	62%	77%
Industrie	51-49%	51%	58%
Gebäude	67-66%	67%	68%
Verkehr	42-40%	42%	48%
Landwirtschaft	34-31%	33%	36%
<b>Teilsumme</b>	<b>56-54%</b>	<b>k.A.</b>	<b>k.A.</b>
Abfallwirtschaft und Sonstiges	87%	87%	90%
<b>Summe</b>	<b>56-55%</b>	<b>57%</b>	<b>65%</b>
<b>Gesamtziel</b>	<b>55%</b>	<b>55%</b>	<b>65%</b>

Anmerkung: KSP: Klimaschutzplan; angegeben sind die angestrebten Einsparungen gegenüber 1990.

Quelle: Deutscher Bundestag [2016, S. 14, 18]; Umweltbundesamt [2021a] (Ist 1990); § 3 Abs. 1 S. 2, § 4, Anl. 2 KSG a.F. (Soll 2020 bis 2030); § 3 Abs. 1-2, § 4, Anlage 2 KSG; eigene Berechnungen.

#### 2.4.4 Technologiespezifische Aspekte der nationalen Energiewende

Sowohl 1990 als auch 2020 waren 83% der Treibhausgasemissionen energiebedingt (vgl. Abbildung 6 in Unterabschnitt 2.4.1). Mithin hat die nationale Energiewende im Kontext des Klimaschutzes besondere Bedeutung. Daher werden in diesem Abschnitt technologiespezifische Aspekte der nationalen Energiewende thematisiert, nämlich die Energieeffizienz, der Atomausstieg, der Ausstieg aus der Steinkohleförderung, der Ausstieg aus der Kohleverstromung und die Nutzung erneuerbarer Energien. Besondere Aufmerksamkeit gilt der vergleichsweisen neuen Nutzung von Wasserstoff, der voraussichtlich für die Dekarbonisierung bestimmter industrieller Prozesse benötigt wird und darüber hinaus energetisch nutzbar ist. Schließlich wird die Energienutzung in Deutschland seit 1990 skizziert.

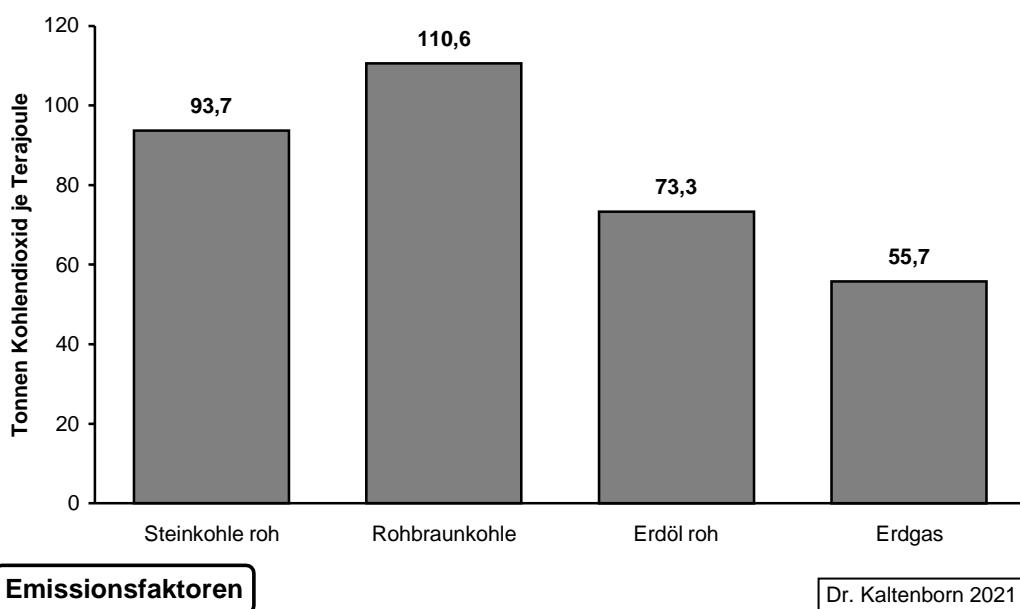
Die im Folgenden skizzierten technologiespezifischen Ziele berücksichtigen noch nicht die jüngst erfolgte Festlegung einer ambitionierteren Zielsetzung zur Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2030 und darüber hinaus mit der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes (vgl. Unterabschnitt 2.4.3), die ihrerseits auch zur Umsetzung jüngst beschlossener ambitionierter Ziele auf EU-Ebene (vgl. Unterabschnitt 2.4.2) erforderlich war. Insoweit ist davon auszugehen, dass auch die technologiespezifischen Ziele ambitionierter werden (müssen).

Der Energieverbrauch<sup>18</sup> wird in Energiebilanzen erfasst, wobei die unterschiedlichen Energieträger dort mit ihrer Energie (Joule) erfasst werden. Dabei wird zwischen Primär- und Endenergieverbrauch unterschieden. Der Primärenergieverbrauch soll die eingesetzte Energie

<sup>18</sup> Physikalisch wird Energie nicht verbraucht, sondern umgewandelt. Verbraucht werden lediglich die eingesetzten (konventionellen) Energieträger.

erfassen (Energiegehalt der eingesetzten Energieträger), der Endenergieverbrauch die Energie, die - nach Abzug von Umwandlungs- und Übertragungsverlusten - den Verbraucher erreicht und ihm zur Verfügung steht. Diese Unterscheidung basiert auf der Logik fossiler Energieträger. Fossile Energieträger gehen mit ihrem inländischen Verbrauch<sup>19</sup> in den Primärenergieverbrauch ein, und zwar bewertet mit dem (unteren) Heizwert<sup>20</sup>. Für die Kernenergie wird von einem Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung von 33% ausgegangen, mithin wird als Primärenergieverbrauch hier rund die dreifache Menge der erzeugten Energie angesetzt. Bei den erneuerbaren Energien gibt es keinen Heizwert, hier wird die eingesetzte Primärenergie mit dem Heizwert der erzeugten elektrischen Energie gleichgesetzt (3.600 Kilojoule je kWh). Ex- und Importe von Strom werden ebenfalls mit dem Heizwert bewertet (3.600 Kilojoule je kWh), es wird also von einem Wirkungsgrad von 100% ausgegangen. Wird vom Primärenergieverbrauch der nichtenergetische Verbrauch z.B. von Rohöl in der chemischen Industrie (ca. 6%), Umwandlungsverluste (ca. 19%) und der Eigenverbrauch des Energiesektors (ca. 4%) abgezogen, so verbleibt der Endenergieverbrauch (ca. 71%).

**Abbildung 15: Emissionsfaktoren für energiebedingte Kohlendioxidemissionen fossiler Brennstoffe**



Anmerkung: Werte für 2019.

Quelle: Umweltbundesamt [2021b, S. 866-869].

Die Energiebilanz ist Grundlage für die Schätzung der energiebedingten Kohlendioxidemissionen. Für die verschiedenen fossilen Energieträger werden hierfür Emissionsfaktoren heran-

<sup>19</sup> Berücksichtigt wird die im Inland erfolgte physikalische Umwandlung, nicht jedoch etwa importierter Strom, der im Ausland aus fossilen Energieträgern erzeugt wurde.

<sup>20</sup> Der (untere) Heizwert ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare thermische Energie ohne Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes.

gezogen (Abbildung 15). Bezogen auf die Energiemenge emittiert Braunkohle doppelt so viel Kohlendioxid wie Erdgas.

Der gesetzliche Beginn der Energiewende war das Anfang 1991 in Kraft getretene Stromeinspeisungsgesetz. Mit ihm wurden die öffentlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen erstmals verpflichtet, Strom aus privaten umweltfreundlichen Kleinanlagen mit einer festen Vergütung abzunehmen. Das Stromeinspeisungsgesetz wurde Anfang April 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst, das seinerseits zwischenzeitlich mehrfach modifiziert wurde.

Bereits mit dem 2010 vorgelegten Energiekonzept hat die Bundesregierung die Energieeffizienz als „Schlüsselfrage“ bezeichnet (Deutscher Bundestag [2010, S. 6]). Seinerzeit wurde angestrebt, den Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 bis 2020 um 20% und bis 2050 um 50% zu senken (Deutscher Bundestag [2010, S. 3]). Der Primärenergieverbrauch kann durch Verminderung des Endenergieverbrauchs und durch einen Ausbau erneuerbarer Energien zu lasten konventioneller Energieträger reduziert werden. Beides sollte nach dem seinerzeitigen Energiekonzept verfolgt werden. Der Gebäudebereich wurde als Schlüssel für Energieeffizienz angesehen, dementsprechend sollte der Anteil der Gebäude, der jährlich (energetisch) saniert wird, von seinerzeit unter 1% auf 2% erhöht werden (Deutscher Bundestag [2010, S. 3, 6]). 2015 hat die Bundesregierung erstmals eine dezidierte Energieeffizienzstrategie Gebäude vorgelegt (Deutscher Bundestag [2015]).

Mit der derzeit aktuellen Energieeffizienzstrategie 2050 der Bundesregierung wird bis 2030 eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 30% gegenüber 2008 und bis 2050 weiterhin um 50% angestrebt (Deutscher Bundestag [2019b, S. 6, 9]). Die aktuelle Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung nennt keine Ziele mehr für jährliche Sanierungsraten, sondern zeigt lediglich mögliche Szenarien auf (Deutscher Bundestag [2020b]).

Bereits im Jahr 2000 hat sich die Bundesregierung mit den Energieversorgungsunternehmen auf einen Ausstieg aus der Stromerzeugung durch Atomkraft verständigt. Dieser sog. Atomkonsens wurde 2002 im Atomgesetz gesetzlich verankert. In der Folge wurde 2003 und 2005 jeweils ein Atomkraftwerk abgeschaltet. Für die übrigen waren Reststrommengen vorgesehen, die einen Betrieb der letzten Kernkraftwerke etwa bis in die Jahre 2015 bis 2020 ermöglicht hätten. 2010 wurden durch eine Änderung des Atomgesetzes die Laufzeiten der verbliebenen Atomreaktoren um etwa eine Dekade verlängert. Nach dem Atomunfall im japanischen Fukushima wurde das Atomgesetz 2011 erneut novelliert und der Atomausstieg wieder beschleunigt. Noch 2011 wurden acht Atomkraftwerke abgeschaltet. Jeweils ein weiteres Atomkraftwerk wurde 2015, 2017 und 2019 außer Betrieb genommen. Drei weitere Kernkraftwerke sollen Ende 2021, die letzten drei Ende 2022 abgeschaltet werden.

Mit dem 2007 verabschiedeten Steinkohlefinanzierungsgesetz wurde festgelegt, dass die Förderung von Steinkohle in Deutschland nur noch bis Ende 2018 subventioniert wird. Da ohne Subventionierung die Steinkohleförderung in Deutschland unrentabel ist, schlossen die letzten deutschen Steinkohlezechen im Jahr 2018.

Auf Basis der Empfehlung der im Juni 2018 von der Bundesregierung eingesetzten Kommission für „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ [2019] wurde der Ausstieg aus der Kohleverstromung bis Ende 2038 im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) im Jahr 2020 kodifiziert. Ab Ende 2022 gibt es für Kraftwerke, die mit (importierter) Steinkohle bzw. mit heimischer Braunkohle befeuert werden, separate und jährliche sinkende Obergrenzen hinsichtlich ihrer Nettonennleistung (§ 4, Anl. 2 KVBG). De facto ist damit zugleich der Pfad für den Ausstieg aus der Braunkohleförderung festgelegt, weil diese aufgrund des niedrigen Energiegehalts der Braunkohle und der damit verbundenen hohen Transportkosten rentabel nur mit einer fördernahen Verstromung betrieben werden kann. Ob eine Braunkohleverstromung bis 2038 rentabel ist und dementsprechend tatsächlich erfolgt, hängt insbesondere von der Entwicklung der Preise für Strom und Emissionszertifikate ab.

Mit ihrem Energiekonzept hat die Bundesregierung 2010 u.a. den Ausbau erneuerbarer Energien bezweckt. Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch sollte 2030 bei 50% liegen, 2040 sollte er 65% betragen und sich 2050 auf 80% belaufen (Deutscher Bundestag [2010, S. 2]). Inzwischen ist gesetzliches Ziel ein Anstieg bis 2030 auf 65% und bis 2050 auf 100% (§ 1 Abs. 2-3 EEG). Zur Erreichung dieser Ziele sind bis 2030 Pfade für den Ausbau der Kapazitäten differenziert nach Technologie und erzeugten Strommengen vorgegeben (§ 4, § 4a EEG i.V.m. § 1 Abs. 2 WindSeeG).

Strom aus erneuerbaren Energien dürfte perspektivisch verstärkt zur Herstellung von Wasserstoff benötigt werden. Die Nutzung von Wasserstoff ist noch vergleichsweise neu, daher wird im Folgenden etwas ausführlicher auf sie eingegangen. Wasserstoff kann mit unterschiedlichen Verfahren gewonnen werden, wobei die identischen Resultate mit Farben bezeichnet werden:

- › Grauer Wasserstoff: Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen erzeugt, meist wird Erdgas unter Hitze in Kohlendioxid, das in die Atmosphäre emittiert wird, und Wasserstoff umgewandelt (Dampfreformierung).
- › Blauer Wasserstoff: Wird bei der Erzeugung von grauem Wasserstoff das Kohlendioxid nicht in die Atmosphäre abgegeben, sondern abgeschieden und dauerhaft (unterirdisch) gespeichert, so resultiert blauer Wasserstoff.
- › Türkiser Wasserstoff: Türkiser Wasserstoff wird durch thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt. Es resultiert kein Kohlendioxid, sondern fester Kohlenstoff. Das Verfahren ist Kohlendioxidneutral, wenn die benötigte Wärme aus erneuerbaren Energien gewonnen wird und der Kohlenstoff dauerhaft gebunden wird.
- › Grüner Wasserstoff: Bei der Elektrolyse wird in einem chemischen Prozess Wasser in (grünen) Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten, wobei der hierfür benötigte Strom aus erneuerbaren Energien stammt.

Der erzeugte Wasserstoff kann unmittelbar verwendet werden oder es können in Umwandlungsanlagen unter Verwendung von Kohlendioxid energiereiche Folgeprodukte erzeugt werden. Dabei wird das benötigte Kohlendioxid aus der Umgebungsluft oder - kostengünstiger (PERNER u.a. [2018, S. 35]) - aus industriellen Prozessen gewonnen.

Der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung zufolge ist grüner Wasserstoff von zentraler Bedeutung für die Energiewende und kann vielfältig genutzt werden (Deutscher Bundestag [2020a, S. 3]):

- › Energieträger: Wasserstoff kann unmittelbar als Energieträger eingesetzt werden (z.B. in Brennstoffzellen) oder künftig als Basis für Folgeprodukte (synthetische Kraft- und Brennstoffe) genutzt werden.
- › Energiespeicher: Wasserstoff kann Energie aus unbesten verfügbaren erneuerbaren Energien (zwischen-) speichern und so Bedarfsspitzen oder eine wetterbedingt geringe Produktion ausgleichen.
- › Sektorkopplung: Für Prozesse, die nicht direkt mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden können, können grüner Wasserstoff und seine Folgeprodukte (strombasierter Energieträger bzw. Power-to-X - PtX) eine Dekarbonisierung ermöglichen, etwa bei der Primärstahlerzeugung (vgl. auch Abschnitt 5.1). Derzeit wird Wasserstoff bereits zur Herstellung von Ammoniak benötigt, hier soll der fossil erzeugte Wasserstoff durch grünen Wasserstoff ersetzt werden.
- › Kohlendioxidumwandlung: Im Fall unvermeidbarer Kohlendioxidquellen können abgefangene Kohlendioxidemissionen mit Wasserstoff in verwertbare Chemikalien umgewandelt werden. Dies betrifft etwa die Zementindustrie.

Darüber hinaus kann Wasserstoff - anders als Strom - über große Distanzen transportiert werden, etwa in Rohrleitungen oder per Schiff. Daher kann grundsätzlich mit ihm erneuerbare Energie aus Regionen jenseits Europas importiert werden. Zudem kann für synthetische Kraft- und Brennstoffe bestehende Infrastruktur genutzt werden (PERNER u.a. [2018, S. 4]). Diesen Vorteilen stehen Umwandlungsverluste bei der Erzeugung von Wasserstoff, der Energiebedarf für den Transport (jenseits von Rohrleitungen Kühlung oder Druck erforderlich) und die ggf. geringere Effizienz bei der letztendlichen Nutzung im Vergleich zu Strom gegenüber.

Derzeit sind Erzeugung und Verwendung von grünem Wasserstoff nicht wirtschaftlich, insbesondere ist es ohne Kohlendioxid-Bepreisung nicht konkurrenzfähig mit fossilen Energieträgern (Deutscher Bundestag [2020a, S. 6]). Aktuell werden in Deutschland 55 TWh Wasserstoff für stoffliche Anwendungen genutzt (Deutscher Bundestag [2020a, S. 7, 11]). Dabei handelt es sich überwiegend um „grauen“ Wasserstoff, der teilweise als Nebenprodukt in der chemischen Industrie entsteht und sich insoweit nicht vollständig durch grünen Wasserstoff ersetzen lässt. Bislang werden lediglich 3,85 TWh (7%) des Wasserstoffs durch Elektrolyse gewonnen (grüner Wasserstoff).

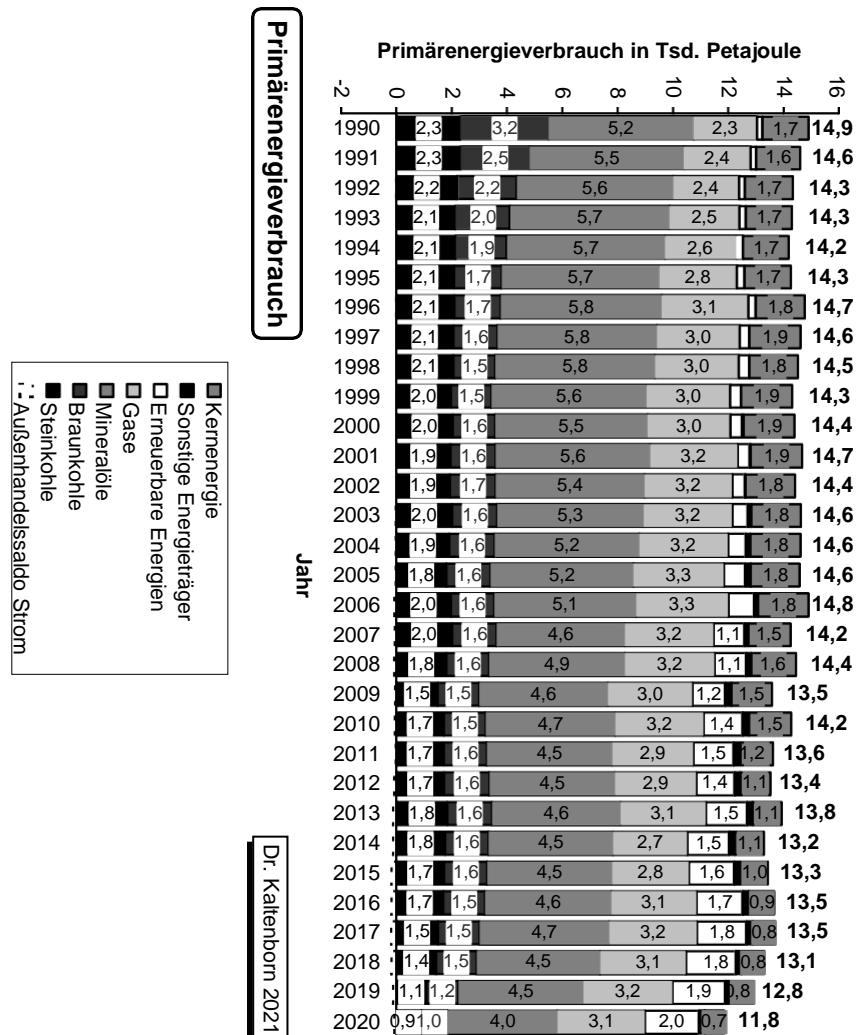
Nach Auffassung der Bundesregierung ist eine rasche Ausweitung der internationalen Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff essenziell, um technologische Fortschritte und Kostendegression zu erreichen (Deutscher Bundestag [2020a, S. 6]). Hierfür sei als erster Schritt eine nachhaltige inländische Wasserstofferzeugung und -verwendung unverzichtbar. 2030 gebe es einen Wasserstoffbedarf von 110 bis 130 TWh. In Deutschland sollen hierfür Erzeugungsanlagen mit einer Kapazität von bis zu 5 GW entstehen. Damit könnten bis zu 14 TWh grüner Wasserstoff produziert werden, wofür 20 TWh Strom aus erneuerbaren Energien benötigt würden. Der Nationale Wasserstoffrat [2021, S. 13] spricht sich für einen raschen Hochlauf

der Wasserstoffwirtschaft aus. Für 2050 zitiert die Bundesregierung für den Fall einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95% gegenüber 1990 zwei Studien, die einen Verbrauch an strombasierten Energieträgern von 110 TWh bzw. 380 TWh erwarten. Nach einer Literaturauswertung von MERTEN u.a. [2020, S. 103] ist die Bandbreite insbesondere nach oben größer. Für den Fall einer Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um mindestens 95% gegenüber 1990 wird nach der Literaturanalyse von WIETSCHEL u.a. [2021, S. 3] für 2030 ein sehr geringer Wasserstoffbedarf bzw. ein Bedarf von bis zu 80 TWh erwartet, für 2050 werden zwischen 400 TWh bzw. 800 TWh projiziert (jeweils ohne extreme Ausreißer). Einen geringeren Wasserstoffbedarf projizieren Studien, die von einer höheren Bedeutung von Kohlendioxid-Abscheidung und Speicherung ausgehen (WIETSCHEL u.a. [2021, S. 3]), Wasserstoff und Kohlendioxid-Speicherung sind mithin ggf. Substitute. UECKERDT u.a. [2021] sind skeptisch hinsichtlich einer energetischen Nutzung wasserstoffbasierter Kraftstoffe, weil die Verfügbarkeit in großem Umfang unsicher sei und die Kosten auf absehbare Zeit zu hoch seien. Eine Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen um eine Tonne Kohlendioxid durch wasserstoffbasierte Kraftstoffe koste derzeit 800 bis 1.200 EUR je Tonne, eine groß angelegte Einführung könne die Kosten bis 2050 auf 20 bis 270 EUR je Tonne senken.

Auch das gemeinsam von Bundesregierung und Stahlindustrie erarbeitete „Handlungskonzept Stahl“ setzt perspektivisch auf grünen, übergangsweise auch auf „blauen“ oder „türkisen“ Wasserstoff zur Primärstahlerzeugung (Deutscher Bundestag [2020c, S. 1f, 4]). Die Bundesregierung geht auf Basis von Angaben der Stahlindustrie davon aus, dass bis 2050 rund 30 Mrd. EUR investiert werden müssen, um die Primärstahlerzeugung mittels Direktreduktion auf Wasserstoffbasis vollständig umzustellen, davon 10 Mrd. EUR bis 2030 (Deutscher Bundestag [2020c, S. 5]). Um Wettbewerbsnachteile für die heimische Stahlindustrie zu vermeiden, sollen Emissionszertifikate weiterhin kostenfrei zugeteilt werden und emissionsbedingte Strompreisseigerungen kompensiert werden (Deutscher Bundestag [2020c, S. 2f]). Zudem sollen die Möglichkeiten für einen Grenzausgleich für emissionsbedingte Mehrkosten oder alternative Ansätze rechtlich geprüft werden (Deutscher Bundestag [2020c, S. 3]).

Im Folgenden wird auf die bisherige Entwicklung des Energieverbrauchs in Deutschland eingegangen. Abbildung 16 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs von 1991 bis 2020 nach Energieträgern. Ausgehend von 14.905 Petajoule im Jahr 1991 hat sich der Primärenergieverbrauch mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und der rückläufigen Nutzung der Kernenergie ab der zweiten Hälfte der 2000er Jahre etwas vermindert. In den Jahren 2009 und 2020 gab es deutliche Einbrüche, die maßgeblich auf die wirtschaftliche Abschwächung (vgl. Abbildung 1 in Abschnitt 2.1) infolge der weltweiten Finanzkrise bzw. der Corona-Pandemie zurückzuführen sein dürften. Der Endenergieverbrauch hingegen schwankte zwischen 1990 und 2019 zwischen 8.665 Petajoule (2009) und 9.686 Petajoule (1996) (vgl. Abbildung 17).

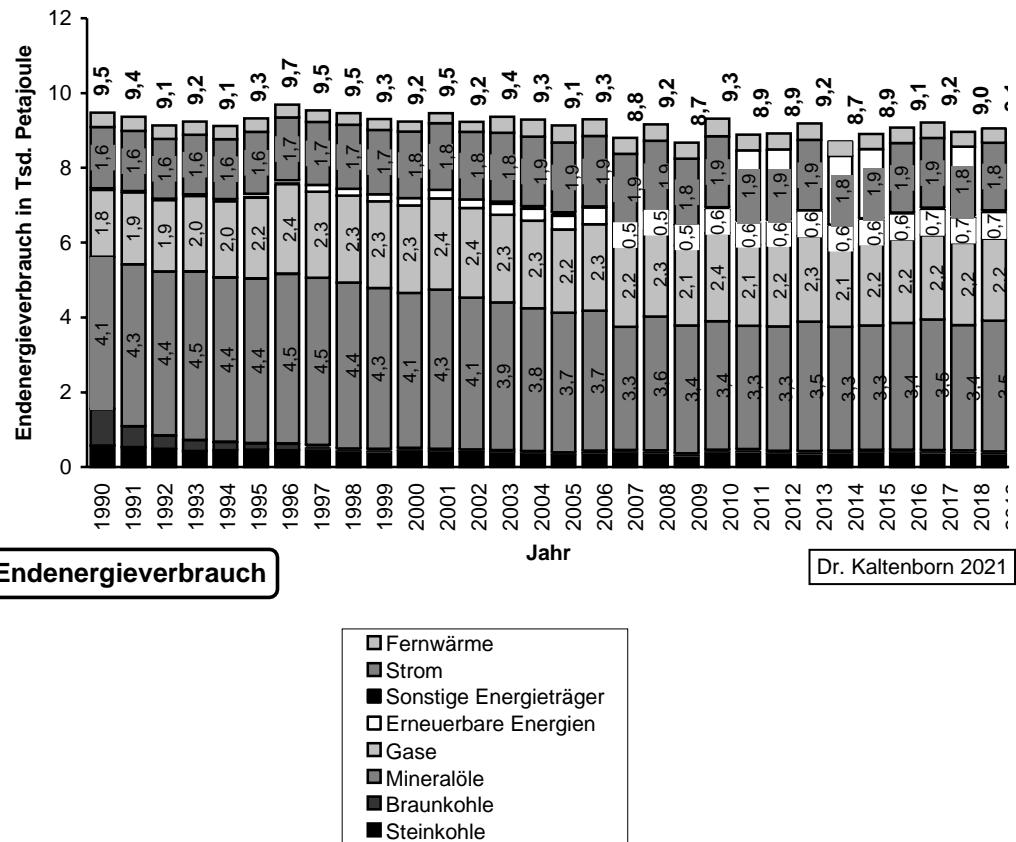
**Abbildung 16: Primärenergieverbrauch nach Energieträger von 1990 bis 2020 in Deutschland**



Anmerkung: 2019 und 2020: Angaben vorläufig, Gase nur Erdgas und Erdölgas.

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [2020, Tabelle 2.1; 2021, S. 2].

**Abbildung 17: Endenergieverbrauch nach Energieträgern von 1990 bis 2019 in Deutschland**



Anmerkung: 2019: Angaben vorläufig.

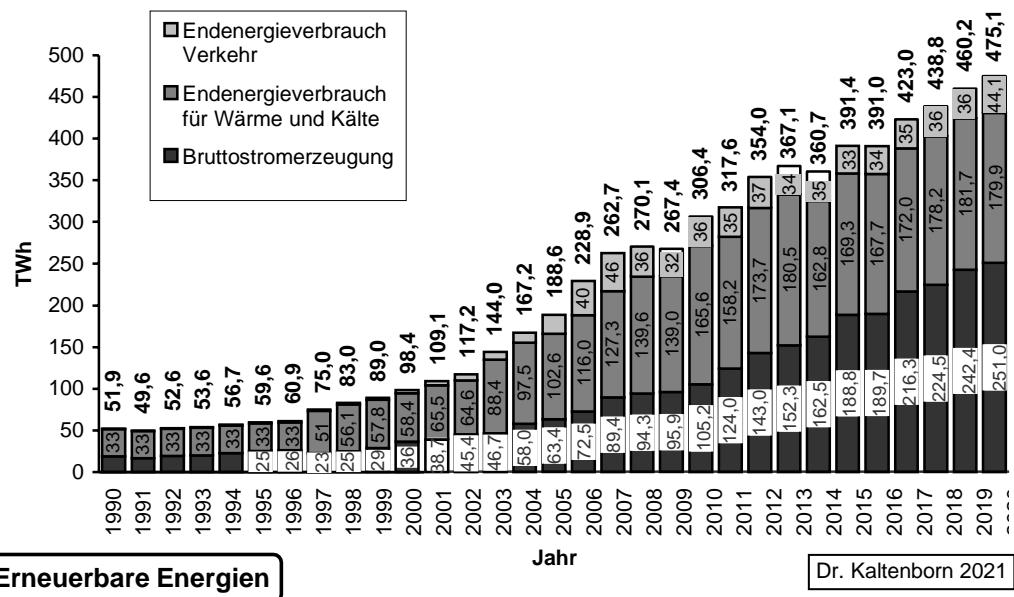
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [2020, Tabelle 6.1].

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch<sup>21</sup> ist von 6,2% im Jahr 2004 kontinuierlich bis auf 19,6% im Jahr 2020 gestiegen (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 5]). Abbildung 18 zeigt die Nutzung erneuerbarer Energien für verschiedene Zwecke. Im Verkehrssektor hatten erneuerbare Energien im Jahr 2020 einen Anteil von 7,3% (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 5]). Seit anderthalb Dekaden werden Biokraftstoffe in nennenswertem Umfang im Verkehrssektor genutzt, wobei es hier seither keinen relevanten Anstieg gegeben hat (2020: 38,8 GWh) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 9]). Inzwischen wird auch Strom für Elektro-PKW genutzt, allerdings auf niedrigem Niveau (2020: 5,4 GWh). Die Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wärme und Kälte hat vor allem von Mitte der 1990er Jahre bis Anfang der 2010er Jahre deutlich zugenommen, seither stagniert die Entwicklung weitgehend. Wärme und Kälte wurden zuletzt (2020) zu 15,2% aus erneuerbaren Energien erzeugt (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 5]).

<sup>21</sup> Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat seit Ende der 1990er sukzessive zugenommen, zuletzt (2020) wurden 251 TWh Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, dies entsprach 45,4% der Bruttostromerzeugung (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 5]). Abbildung 19 zeigt die Quellen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie die installierte Leistung. Die bereits seit langem zur Stromerzeugung genutzte Wasserkraft erzeugt weitgehend unverändert rund 20 TWh Strom jährlich, die installierte Leistung hat leicht auf zuletzt (2020) 5,6 GW zugenommen. Die übrigen erneuerbaren Energien waren 1990 mit 1,5 TWh bedeutsungslos, davon allein 1,2 TWh aus biogenem Abfall. Seit etwa Mitte der 1990er wurden zunehmend Windkraftanlagen an Land installiert, allerdings stockte der Ausbau zuletzt. Photovoltaik und Anlagen zur Nutzung von Biomasse wurden insbesondere seit Mitte der 2000er Jahre ausgebaut. In den letzten Jahren wurden auch Windkraftanlagen auf See in relevanten Umfang installiert, allerdings stockte auch hier der Ausbau zuletzt. Die Stromerzeugung aus biogenen Abfällen und Geothermie haben nur eine stark untergeordnete Bedeutung. Etwa 41% des Stroms aus erneuerbaren Energien stammten 2020 aus Windkraftanlagen an Land, 20% aus Photovoltaik. An der installierten Leistung hatten 2020 beide Technologien einen Anteil von jeweils 41%.

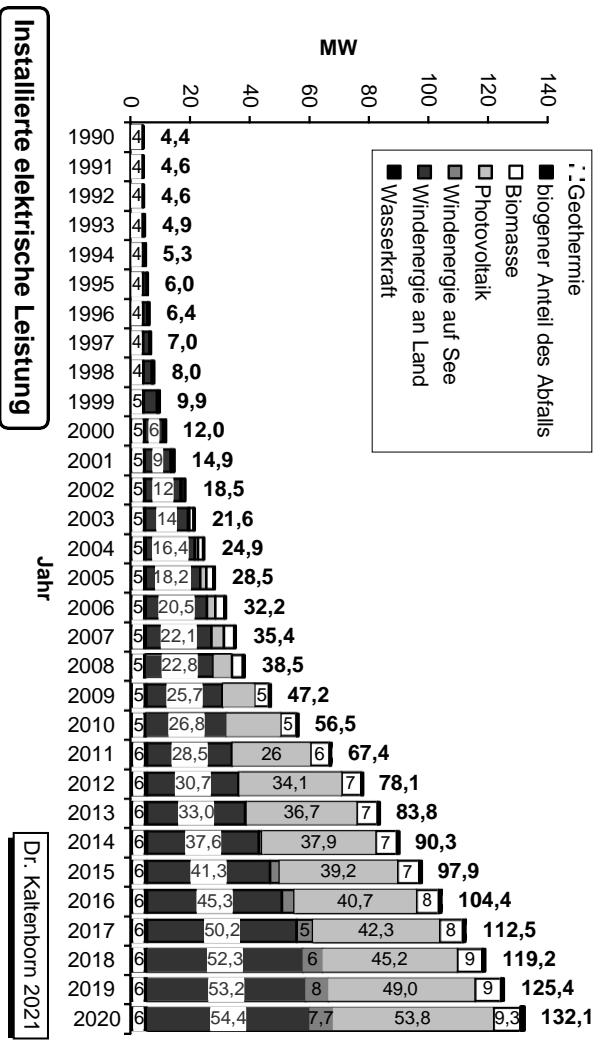
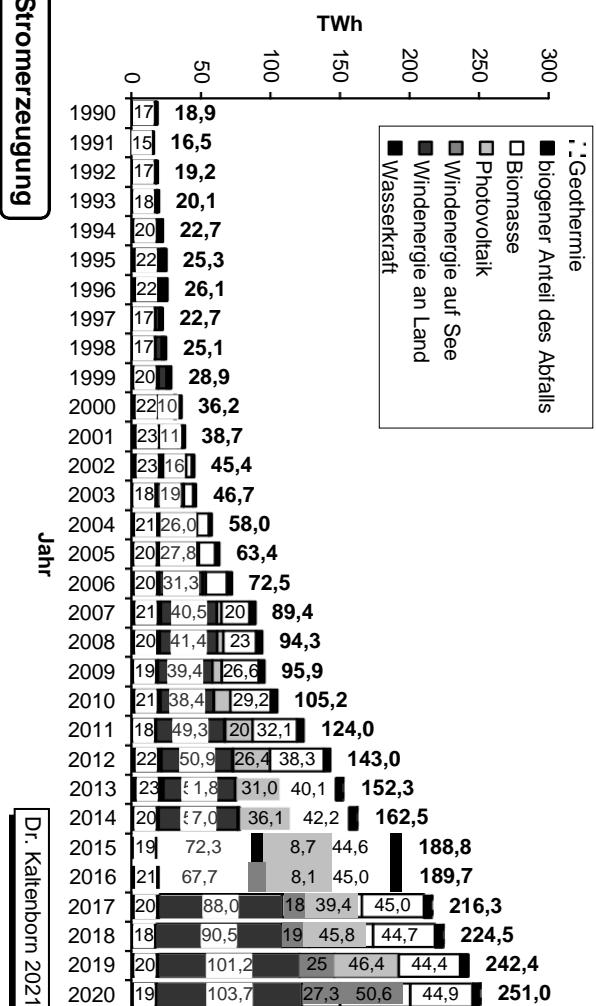
**Abbildung 18: Nutzung erneuerbarer Energien von 1990 bis 2020 in Deutschland**



Anmerkung: Angaben teilweise vorläufig.

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 4], eigene Berechnungen.

**Abbildung 19: Bruttostromerzeugung und installierte elektrische Leistung erneuerbarer Energien von 1990 bis 2020 in Deutschland**



Anmerkung: Angaben teilweise vorläufig.

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a, S. 6f], eigene Berechnungen.

### 3 Methodische Hinweise

In diesem Kapitel werden einige generelle methodische Hinweise gegeben, die zum Verständnis der in den Kapitel 4 und 5 vorgestellten Studien zu den Auswirkungen der ökologischen Transformation auf die Erwerbstätigkeit relevant erscheinen.

Bei den Auswirkungen auf die Erwerbstätigkeit sind mehrere Ebenen zu unterscheiden.<sup>22</sup> Generell muss für die ökonomische Analyse einer ökologischen Veränderung oder einer ökologisch wirksamen Maßnahme diese in einen oder mehrere ökonomische Impulse übersetzt werden. Ein solcher ökonomischer Impuls kann etwa in einem materiellen Schaden aufgrund eines Naturereignisses, dem Verbot einer bestimmten Technologie, einer Investition, einem veränderten Preis (z.B. aufgrund der Bepreisung von Treibhausgasemissionen oder eine Subventionierung der energetischen Gebäudesanierung) oder einer veränderten Menge bestehen, die von einem bestimmten Gut zur Verfügung steht (beispielsweise Begrenzung der Zahl der Zertifikate im Europäischen Emissionshandelssystem) oder nachgefragt wird. Ein ökonomischer Impuls wirkt sich typischerweise gestuft aus. Dies wird im Folgenden exemplarisch anhand einer Investition erläutert.

In einem ersten Schritt führt eine Investition zu einer erhöhten Produktion der unmittelbar nachgefragten Güter. Dadurch steigen bei den entsprechenden Herstellern - im In- und / oder Ausland - Wertschöpfung und Arbeitsvolumen. Dies sind die direkten Effekte. Typischerweise benötigt der Hersteller seinerseits Vorleistungen anderer Unternehmen, die ihrerseits hierfür ggf. weitere Vorleistungen anderer Unternehmen beziehen. Dabei können Vorleistungen wiederum aus dem In- oder Ausland bezogen werden. Dadurch werden Wertschöpfung und Arbeitsvolumen bei der gesamten Kette der vorleistenden Unternehmen erhöht. Dies sind die indirekten Effekte. Zudem werden zusätzliches Erwerbseinkommen und zusätzliche Gewinne generiert. Diese werden teilweise verausgabt, wodurch wiederum Wertschöpfung und Arbeitsvolumen erhöht werden. Dies sind induzierte Effekte. Typischerweise treten die direkten Effekte spezifisch in den unmittelbar betroffenen Branchen auf, die indirekten Effekte streuen - je nach Vorleistungsstruktur dieser Branche - weiter, die induzierten Effekte sind typischerweise unspezifisch und betreffen alle Branchen.

Die zusätzliche Güter- und daraus resultierende zusätzliche Arbeitskräfteanfrage kann Preise und Löhne erhöhen. Dies wirkt sich dämpfend auf Wertschöpfung und Arbeitsvolumen aus. Typischerweise wird dadurch jedoch der ursprüngliche Impuls nicht überkompensiert, sondern lediglich abgeschwächt. Dabei wird meist nicht die gesamte Wirtschaft gleichermaßen beeinflusst. Ein forciertter Ausbau erneuerbarer Energien wird sich beispielsweise vergleichsweise deutlich auf die Nutzung fossiler Energieträger auswirken und vergleichsweise wenig auf die Lebensmittelindustrie. Werden derartige Effekte berücksichtigt, handelt es sich um Nettoeffekte, andernfalls um Bruttoeffekte, die zumindest aus den direkten und ggf. auch aus indirekten und induzierten Effekten<sup>23</sup> bestehen. „Analysen zu Bruttoeffekten zeigen ein-dimensional nur die positiven (oder negativen) direkten und indirekten Effekte einer Markt-

---

<sup>22</sup> Für eine weitergehendere Systematisierung vgl. LUTZ und BREITSCHOPF [2016].

<sup>23</sup> Vgl. anschaulich BERTENRATH u.a. [2018, S. 9].

durchdringung (oder eines Wegfalles) einer Technologie. Bei der Erhebung der Nettoeffekte werden die positiven mit den negativen Effekten saldiert und die Folgen auf Einkommen und Konsum berücksichtigt.“ (WIETSCHEL u.a. [2017, S. 19])

Hinsichtlich der Nettoeffekte gibt es zwei theoretische Extremfälle. Einerseits kann angenommen werden, dass der ursprüngliche ökonomische Impuls keine weitergehenden Auswirkungen auf Preise und Löhne hat, weil Kapazitäten ungenutzt brach liegen. In diesem Fall sind die Bruttoeffekte zugleich die Nettoeffekte. Andererseits kann eine neoklassische Welt angenommen werden, in der (ohne den ökonomischen Impuls) alle Märkte geräumt sind und keinerlei ungenutzte Kapazitäten verfügbar sind. In dieser neoklassischen Idealwelt erhöht ein ökonomischer Impuls nicht Wertschöpfung oder Arbeitsvolumen. Zusätzliche Investitionen verdrängen in vollem Umfang andere Investitionen (crowding out). Im besten Fall ist hier der Nettoeffekt null, im schlechtesten Fall ist er durch zusätzliche Ineffizienzen sogar negativ.

Die Systematik von direkten, indirekten und induzierten Effekten sowie von Brutto- und Nettoeffekten gilt nicht nur für einen positiven, sondern - mit umgekehrtem Vorzeichen - auch für einen negativen ökonomischen Impuls.

Für die Analyse indirekter Effekte werden Kenntnisse über die Vorleistungsstruktur der betreffenden Branchen benötigt. Diese wird statistisch in der Input-Output-Tabelle im Rahmen der jährlichen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung abgebildet (vgl. Statistisches Bundesamt [2010]). Sie liegt zuletzt für 2017 vor (Statistisches Bundesamt [2021a]). Die Input-Output-Tabelle für Deutschland ist differenziert nach 72 Produktionsbereichen bzw. Gütergruppen (vgl. Tabelle 45 im zu Kapitel 3). Als weitere Positionen enthält sie zusammengefasst für jede Gütergruppe aus dem Ausland bezogene Vorleistungen und dorthin gelieferte Güter. Zudem enthält sie für die 72 Gütergruppen die Zahl der Erwerbstätigen und der Arbeitnehmer/innen. Unter der Annahme einer homogenen und konstanten Arbeitsproduktivität innerhalb einer jeden Gütergruppe lässt sich damit der Effekt einer veränderten Produktion auf Erwerbstätigkeit und Beschäftigung ermitteln.

Die Abgrenzung der 72 Gütergruppen ist nicht an ökologischen Maßstäben ausgerichtet. Die ökologische Transformation wird vielfach nicht lediglich zu Verschiebungen zwischen den Gütergruppen, sondern auch innerhalb der Gütergruppen führen. Diese Strukturverschiebungen sind jedoch bei einer Analyse ausschließlich auf Ebene der Gütergruppen nicht erkennbar. Zudem kann sich innerhalb einer Gütergruppe die Arbeitsproduktivität bei Gütern, die im Rahmen der ökologischen Transformation zusätzlich bzw. weniger benötigt werden, unterscheiden. OEI u.a. [2019, S. 116f] beschreiben dies wie folgt: „Dabei ist zu beachten, dass jede der insgesamt 72 Gütergruppen bzw. Produktionsbereiche in der Input-Output-Tabelle einen Güter- und Technologie-Mix repräsentiert. Dabei wird unterstellt, dass in jedem Bereich eine ‚Durchschnittstechnologie‘ zur Anwendung kommt. Diese Durchschnittstechnologie entspricht einem bestimmten Faktoreinsatzverhältnis. Damit wird unterstellt, dass alle Hersteller einer Gütergruppe mit einem identischen Faktoreinsatzverhältnis produzieren.“ Teilweise wird versucht, dieser Problematik durch ergänzende, ausdifferenzierende Satellitenrechnungen zu begegnen.

Unter der Annahme der Homogenität innerhalb der Gütergruppe und der Konstanz der Vorleistungsstruktur können die Bruttoeffekte von Mengenänderungen - etwa von zusätzlichen Investitionen - anhand der Input-Output-Tabelle insbesondere mit dem sog. offenen statischen Input-Output-Modell projiziert werden. Die Projektion von Nettoeffekten erfolgt hingegen regelmäßig unter Verwendung eines gesamtwirtschaftlichen, insbesondere makroökonometrischen Modells, das neben der Vorleistungsstruktur der Input-Output-Tabelle auf Basis der bisherigen Entwicklung Verhaltensanpassungen schätzt und modelliert. LEHR u.a. [2020, S. 48-65] skizzieren idealtypische gesamtwirtschaftliche Modelle.

Ebenso wie die 72 Gütergruppen der Input-Output-Tabelle ist auch die Klassifikation der Wirtschaftszweige nicht an ökologischen Kriterien ausgerichtet, so dass für Analysen der 21 Wirtschaftsabschnitte und der 88 Wirtschaftsabteilungen das gleiche gilt. Dies illustrieren die Bemühungen von Prognos, die Querschnittsbranche „Energiewirtschaft“ statistisch anhand der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) abzugrenzen (BÖHMER u.a. [2015]). Berücksichtigt werden konventionelle und erneuerbare Energieerzeugung sowie die Infrastruktur (BÖHMER u.a. [2015, S. 54]). Für die 88 Wirtschaftsabteilungen der Klassifikation der Wirtschaftszweige wird jeweils der Anteil an der Bruttowertschöpfung und der Erwerbstätigkeit geschätzt, der auf die Querschnittsbranche „Energiewirtschaft“ entfällt (BÖHMER u.a. [2015, S. 57f]). Eine Aufteilung in konventionelle und erneuerbare Energien gelingt jedoch nur unvollständig: 71% der Wertschöpfung und 55% der Erwerbstätigen der Querschnittsbranche „Energiewirtschaft“ sind nicht eindeutig zuzuordnen (BÖHMER u.a. [2015, S. 55]). „Diese Tatsache zeigt vor allem, dass die amtliche Statistik insbesondere im Bereich der Hauptgruppe D („Energieversorgung“) zu ungenau für eine derartige Aufteilung ist“ (BÖHMER u.a. [2015, S. 55]).

Da Wirtschaftsleistung und Arbeitsvolumen nicht allein durch die ökologische Transformation bestimmt werden, sondern zugleich zahlreichen anderen Einflüssen unterliegen, ist weder ex-post noch ex-ante ein einfacher Zeitvergleich der interessierenden Größen ausreichend, um die Auswirkungen der ökologischen Transformation festzustellen. Um die Auswirkungen spezifischer Aspekte der ökologischen Transformation zu isolieren, werden vielfach Szenarien konstruiert und miteinander verglichen. Als Vergleichspunkt für ein Szenario mit ökologischer Transformation dient ein ansonsten identisches Referenzszenario mit gleichen Rahmenbedingungen ohne eine solche Transformation. Beide bilden unter sonst gleichen Annahmen eine künftige oder ggf. hypothetische vergangene Entwicklung ab. Der Unterschied in den Resultaten etwa hinsichtlich Wirtschaftsleistung und Erwerbstätigkeit lässt sich dann auf die unterstellte ökologische Transformation zurückführen.

Bei den Szenarien lassen sich folgende Typen unterscheiden (vgl. auch SCHLESINGER u.a. [2014, S. 40f]):

- › Ereignisszenario: Bei einem Ereignisszenario wird die Auswirkung eines bestimmten, nicht willentlich herbeigeführten Ereignisses untersucht, z.B. ein Anstieg des Rohölpreises oder eine Naturkatastrophe.
- › Maßnahmenszenario: Bei einem Maßnahmenszenario werden die Auswirkungen (technischer) Maßnahmen etwa für einen verbesserten Umweltschutz analysiert, also beispielsweise ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien.

- › Instrumentenszenario: Bei einem Instrumentenszenario werden die Auswirkungen (politischer) Instrumente untersucht, also beispielsweise die Bepreisung von Treibhausgasemissionen. Im Unterschied zu einem Maßnahmenszenario muss hier zusätzlich analysiert werden, inwieweit dadurch die beabsichtigten (technischen) Maßnahmen umgesetzt werden.
- › Zielszenario: Bei einem Zielszenario wird ein bestimmtes Ziel vorgegeben, beispielsweise eine bestimmte Reduktion der Treibhausgasemissionen, wobei es meist verschiedene Möglichkeiten gibt, dieses durch ein Bündel an (technischen) Maßnahmen und / oder (politischen) Instrumenten zu erreichen. Für die weitere Modellierung muss daher zunächst ein solches Bündel erarbeitet werden.

Die Szenarien werden zur Projektion von Nettoeffekten vielfach mehrstufig analysiert. Zunächst werden anhand von Annahmen zu den Rahmenbedingungen die ökologischen Auswirkungen projiziert, beispielsweise die Treibhausgasemissionen. Bei komplexen Szenarien mit einer zahlreichen Instrumenten oder Maßnahmen werden diese typischerweise zunächst einzeln analysiert, ggf. auch ihre Wechselwirkungen. Von besonderer Komplexität ist dabei die Modellierung des Stromsektors aufgrund von dessen europäischer Verflechtung, der mangelnden Lagerfähigkeit von Strom (im Moment des Verbauchs muss der Strom erzeugt werden), der begrenzten Transportmöglichkeiten und der unsteten Erzeugung durch erneuerbare Energien.

Anschließend werden diese Maßnahmen oder Instrumente in ökonomische Impulse (z.B. Investitionen, Preise) übersetzt, die in makroökonomischen Modellen verarbeitet werden können. Anschließend werden mit einem solchen Modell die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen projiziert. In aller Regel wird dann nicht mehr analysiert, welche ökologischen Konsequenzen die projizierten gesamtwirtschaftlichen Effekte wiederum haben. Die projizierten ökologischen Konsequenzen basieren regelmäßig auf der gesamtwirtschaftlichen Projektion für das Referenzszenario. Dementsprechend bleibt die ökologische Rückwirkung des gesamtwirtschaftlichen Effekts der unterstellten ökologischen Maßnahme unberücksichtigt. Letztlich ließe sich dies nur in einem extrem komplexen Modell berücksichtigen, das simultan ökologische und gesamtwirtschaftliche Auswirkungen projiziert.

Bei den vorliegend berücksichtigten Szenarien handelt es sich überwiegend um Maßnahmenszenarien oder um Zielszenarien, für die ein Bündel an (technischen) Maßnahmen definiert wird, um es zu erreichen. Dabei dürfte wohl meist versucht werden, ein (kosten-) „optimales“ Maßnahmebündel zu konstruieren, teilweise wird dies explizit angestrebt. Ein solches Vorgehen ist in doppelter Hinsicht idealtypisch, mithin dürfte die Realität meist ungünstiger ausfallen:

- › Die Umsetzung technischer Maßnahmen kann vielfach nicht mit politischen Entscheidungen angeordnet werden. Beispielsweise dürfte eine jährliche energetische Sanierung von x% des Gebäudebestandes weder durch Regierungs- noch durch Parlamentsbeschluss herbeizuführen sein. Möglich wären jedoch beispielsweise finanzielle Anreize oder eine Informationskampagne zugunsten derartiger Sanierungen. Allerdings wird sich mit solchen Instrumenten kaum exakt der eigentlich angestrebte Umfang der Sanierungen erreicht werden. Mithin ist die Realität hier notwendigerweise anders, d.h. schlechter als in einem optimalen Zielszenario unterstellt. Insoweit wird das eigentlich angestrebte ökologische Ziel nur partiell erreicht oder unnötigerweise übererfüllt, wodurch zusätzliche Kosten entstehen.
- › Das „optimale“ Maßnahmebündel im Zielszenario ist unter der Annahme bestimmter Rahmenbedingungen konstruiert worden. Falls diese Annahmen in der Realität nicht eintreten, dürfte das Maßnahmebündel regelmäßig nicht mehr „optimal“ sein.

Im Idealfall sollten die Details der Rahmenbedingungen für das Ergebnis irrelevant oder zumindest von stark untergeordneter Bedeutung sein, weil sie das Referenzszenario und das Szenario mit ökologischer Transformation in gleicher Weise und damit die Unterschiede zwischen ihnen nicht beeinflussen. Dieses Ideal wird jedoch nicht immer erreicht, wie REPENNING u.a. [2019, S. 357] am Beispiel eines unterstellten Ausbaus erneuerbarer Energien darlegen:

„Durch zu hohe Preisannahmen kann jedoch die Modellierung erheblich verfälscht werden. In einer Modellierung mit zu hohen Energiepreisen erscheint ein technologischer Wandel hin zu erneuerbaren Energien ohne weitere Maßnahmen wirtschaftlich darstellbar, während er in der Realität mit geringen Preisen noch nicht zu erwarten ist. Andererseits besteht das Spezifikum in der deutschen Stromerzeugung, dass hohe Weltmarktpreise für Steinkohle und Erdgas kurz- bis mittelfristig zu höheren Emissionen führen, weil der Preisabstand zur Braunkohle größer wird.“

Im Idealfall werden daher für kritische Annahmen zu den Rahmenbedingungen Sensitivitätsanalysen durchgeführt, also die Auswirkungen der Variation einer oder mehrerer Annahmen auf die Ergebnisse untersucht. LUTZ u.a. [2018b, S. 89-91] weisen jedoch daraufhin, dass dies insbesondere wegen der skizzierten mehrstufigen Analyse sehr aufwändig ist. Tatsächlich werden derartige Sensitivitätsanalysen nur selten durchgeführt. Einige Beispiele sind in Abschnitt 5.12 skizziert.

Im Kontext von Klimaschutz und Energiewende sollen konventionelle Energieträger durch erneuerbare Energien ersetzt und der Energiebedarf durch eine verbesserte Effizienz vermindert werden. In ökonomischer Hinsicht bedeutet dies regelmäßig zunächst erhöhte Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und in Energieeffizienz, perspektivisch werden insbesondere die Importe fossiler Energieträger vermindert. Um die gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen adäquat beurteilen zu können, müsste eigentlich die gesamte Nutzungsdauer der Anlagen berücksichtigt werden. Tatsächlich wird jedoch ganz überwiegend ein fixer Zeitraum betrachtet, in dem zwar alle Investitionen, jedoch nicht alle aus ihnen resultierenden Erträge anfallen.

Insbesondere Klimaschutz und Energiewende können Unternehmen belasten, die im internationalen Wettbewerb stehen. In den Studien wird gleichwohl regelmäßig explizit oder implizit davon ausgegangen, dass daraus keine Wettbewerbsnachteile für die heimische Industrie resultieren. Explizit wird diese Annahme entweder mit einem materiellen Ausgleich für Ex- und Importe begründet oder damit, dass global oder wenigstens in Europa in ungefähr gleichem Umfang wie in Deutschland Klimaschutz betrieben wird. Einige Studien kombinieren unterschiedliche Varianten eines internationalen Klimaschutzes mit demselben nationalen Szenario, so dass die Effekte eines verstärkten internationalen Klimaschutzes isoliert werden können.

Die in dieser Studie berücksichtigten Szenarien sind sehr unterschiedlich und vielfach sehr komplex. Insbesondere komplexe Szenarien beziehen sich dabei oftmals auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen im Interesse des Klimaschutzes. Da - wie erwähnt- die internationales Energiepreise oftmals relevant für die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen sind, werden soweit möglich die entsprechenden Annahmen hierzu dargestellt. Um eine einfache Vergleichsmöglichkeit zwischen den Szenarien aus unterschiedlichen Quellen zu geben, werden soweit möglich die resultierenden Treibhausgasemissionen angegeben. Der ökonomische Impuls besteht vielfach insbesondere aus dem zusätzlichen Investitionsbedarf, der daher ebenfalls möglichst angegeben wird. Die projizierten gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen berücksichtigen vielfach das Bruttoinlandsprodukt, das in engem Zusammenhang mit dem Arbeitsvolumen und damit der Erwerbstätigkeit steht. Um eine Vergleichsmöglichkeit zwischen den Studien zu bieten, wird neben der Erwerbstätigkeit daher möglichst auch auf die projizierten Konsequenzen der jeweils untersuchten ökologischen Transformation auf das Bruttoinlandsprodukt eingegangen.

Allerdings ist das Bruttoinlandsprodukt nur begrenzt als Wohlfahrtsmaß geeignet. Insbesondere im Kontext ökologischer Ziele erscheint das Maß paradox: Der Verbrauch natürlicher Ressourcen, ökologische Schäden sowie materielle Schäden infolge von Umweltereignissen reduzieren das Bruttoinlandsprodukt nicht, hingegen wird es durch die Beseitigung derartiger Schäden und durch Maßnahmen zur Vorsorge gegenüber Gefahren, die aus menschlichem Handeln resultieren, erhöht. Die Paradoxie wird offenkundig im Kontext von Maßnahmen für eine verbesserte Klimaresilienz: Im Fall von Schadensereignissen wie Hitze, Starkregen oder Hochwasser reduzieren Vorsorgemaßnahmen die Schäden und damit den erforderlichen Aufwand zur Schadensbeseitigung und mithin auch das Bruttoinlandsprodukt. Im Ergebnis vermindern also vermiedene Schäden das Bruttoinlandsprodukt. Eine Studie zu einer verbesserten Klimaresilienz (LEHR u.a. [2020], vgl. Abschnitt 5.10) behilft sich, indem sie davon ausgeht, dass Schadensereignisse konzentriert in einzelnen Jahren auftreten und die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen ausschließlich für die übrigen Jahre projiziert.

Üblichweise umfassen die Erwerbstätigen neben den (abhängig) Beschäftigten auch Selbstständige und mithelfende Familienangehörige. Die zitierten Studien verwenden oftmals einen oder beide Begriffe, ohne sie zu definieren. Bei der Darstellung der Studien wird deren Begrifflichkeit möglichst übernommen; teilweise ist allerdings offen, ob die Begriffe in den zugrunde liegenden Studien im skizzierten Sinn verwendet wurden. Vereinzelt wurden auch beide Begriffe parallel und offenbar ohne inhaltliche Unterscheidung verwendet.

Zu einer Vielzahl an Studien wurden Rückfragen an das jeweilige Autorenteam gestellt, um Widersprüche und Unklarheiten aufzuklären. Die meisten haben geantwortet. In einigen Fällen gab es keine Antwort. Hier wurden die bestehenden Unklarheiten übernommen und auf Widersprüche explizit hingewiesen.

## 4 Bruttoeffekte

In diesem Kapitel werden Studien vorgestellt, die sich mit der Zahl der Erwerbstätigen in Branchen befassen, die durch die ökologische Transformation entstanden sind oder die durch sie verschwunden sind oder voraussichtlich verschwinden werden. Dabei berücksichtigen die Studien teilweise auch Erwerbstätige, die aus dem Bezug erforderlicher Vorleistungen resultieren (indirekte Erwerbstätigkeit). Diese zusätzliche wirtschaftliche Aktivität, die zusätzliches Einkommen und dadurch zusätzliche Nachfrage generiert, kann nochmals zu zusätzlicher Erwerbstätigkeit führen; auch diese sog. induzierte Erwerbstätigkeit wird teilweise geschätzt.

Nicht berücksichtigt werden in diesem Kapitel Studien zur Gesamtzahl an Arbeitsplätzen in Branchen, die allgemein dem Umweltschutz (z.B. Abfall- und Abwasserentsorgung, Beseitigung von Umweltbelastungen)<sup>24</sup> dienen, die zwar von Bedeutung für die künftige ökologische Transformation sind, jedoch bereits seit langem unabhängig von ihr bestehen (z.B. Schienen- und Busverkehr, Fahrräder), oder die aufgrund der ökologischen Transformation ihre Produktion oder ihre Produkte anpassen müssen (z.B. Kraftfahrzeugherstellung). Gleichwohl wird eine Studie kurz vorgestellt, die u.a. Berufe identifiziert, die für die ökologische Transformation besonders relevant sind. Nicht berücksichtigt werden auch Studien, die sich ausschließlich auf eine Region beziehen, sofern die Nutzung einer Technologie nicht ohnehin wie die Braunkohlenindustrie entsprechend regional beschränkt ist.

In Abschnitt 4.1 wird zunächst die bereits erwähnte Studie vorgestellt, die Wirtschaftsabschnitte und Berufshauptgruppen identifiziert, die derzeit wesentlich an der ökologischen Transformation beteiligt sind.

Wohl angesichts des politisch und öffentlichkeitswirksam kontrovers diskutierten Ausstiegs aus der Braunkohle gibt es etliche Studien zur bisherigen und künftigen Erwerbstätigkeit aufgrund der Braunkohlenindustrie (Abschnitt 4.2). Der Abschnitt 4.3 befasst sich mit der Erwerbstätigkeit, die aus der 2018 beendeten heimischen Steinkohleförderung resultierte. Abschnitt 4.4 thematisiert die Erwerbstätigkeit aufgrund der Kernenergie, deren Nutzung Ende 2022 beendet werden soll.

In Abschnitt 4.5 wird eine Studie vorgestellt, die die Auswirkungen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 der Bundesregierung auf das Arbeitsvolumen untersucht. In Abschnitt 4.6 wird auf die künftige Erwerbstätigkeit eingegangen, die durch Investitionen in erneuerbare Energien und ihre laufenden Betrieb generiert wird. Eine Studie differenziert die bisherige Erwerbstätigkeit nach Bundesländern. In Abschnitt 4.7 wird eine Studie vorgestellt, die mehrere Szenarien einer verstärkten Elektrifizierung mit einer verstärkten Wasserstoffnutzung jeweils auf Basis erneuerbarer Energien vergleicht. Die Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden und in Produktionsprozessen senken Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen und generieren Erwerbstätigkeit (vgl. Abschnitt 4.8). Abschnitt 4.9 befasst sich mit zwei Studien zu den Beschäftigungseffekten zusätzlicher nationaler Investitionen in den Klimaschutz und zusätzlicher Exporte durch globale Investitionen in die Wasserstofftechnologie.

<sup>24</sup> Vgl. hierzu beispielsweise EDLER und BLAZEJCZAK [2020], die retrospektiv die Beschäftigungseffekte des Umweltschutzes in den Jahren 2016 und 2017 untersuchen.

In Abschnitt 4.10 wird schließlich auf die direkte und indirekte Erwerbstätigkeit durch (nahezu) die gesamte Energiewirtschaft eingegangen, berücksichtigt werden insbesondere Investitionen und laufender Betrieb des konventionellen Energiesektors, erneuerbare Energien, Energiespeicher, Netze und Kohlenbergbau.

## 4.1 Besonders betroffene Branchen und Berufe

Die Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**), das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (**IAB**), das Bundesinstitut für Berufsbildung (**BIBB**) und das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (**IÖW**) haben Wirtschaftsabschnitte und Berufshauptgruppen identifiziert, die derzeit wesentlich an der ökologischen Transformation beteiligt sind (BAUER u.a. [2021]<sup>25</sup>). Ausgewählt wurden Wirtschaftsabschnitte mit vielen Stellenanzeigen mit Bezug zur ökologischen Transformation, bei denen nach der IAB-Stellenerhebung bei der Personalrekrutierung Energieeffizienz bzw. und der „Umweltgedanke“ eine große Rolle spielen, in denen viele Unternehmen nach dem Eco-Management and Audit Scheme (EFAS) für ihr Umweltmanagement zertifiziert sind und die an vielen Transformationsfeldern (Leitmärkten) mitwirken. Berufshauptgruppen wurden ebenfalls anhand der Stellenanzeigen mit Bezug zur ökologischen Transformation und anhand der Umweltanforderungen bei der Stellenbesetzung nach der IAB-Stellenerhebung identifiziert.

Nach den skizzierten Identifikationskriterien sind 7 der 21 Wirtschaftsabschnitte und 9 der 37 Berufshauptgruppen derzeit wesentlich an der ökologischen Transformation beteiligt:

- › Wirtschaftsabschnitte: (1) verarbeitendes Gewerbe, (2) Energieversorgung, (3) Wasserversorgung, Entsorgung und Ähnliche, (4) Baugewerbe, (5) Land- und Forstwirtschaft und (6) sonstige Dienstleister a.n.g. Obwohl nach den Identifikationskriterien auch der Bergbau und die Gewinnung von Steinen und Erden eine hohe Relevanz hat, wird er dennoch nicht einbezogen, weil die Analyse nur auf wenigen Beobachtungen basiert und es dort nur relativ wenige Erwerbstätige gibt. Hingegen werden die (7) Sonstigen Unternehmensdienstleister als relevant angesehen, weil sie einer Vorgängerstudie berücksichtigt wurden und angesichts der hohen Zahl an Stellenanzeigen.
- › Berufshauptgruppen: Bau: (1) Hoch- und Tiefbauberufe, (2) (Innen-) Ausbauberufe, (3) Gebäude- und versorgungstechnische Berufe; Geologie u.a.: (4) Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe, (5) Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe; Fertigungsberufe: (6) Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe, (7) Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe, (8) Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe; Verkehr: (9) Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten.

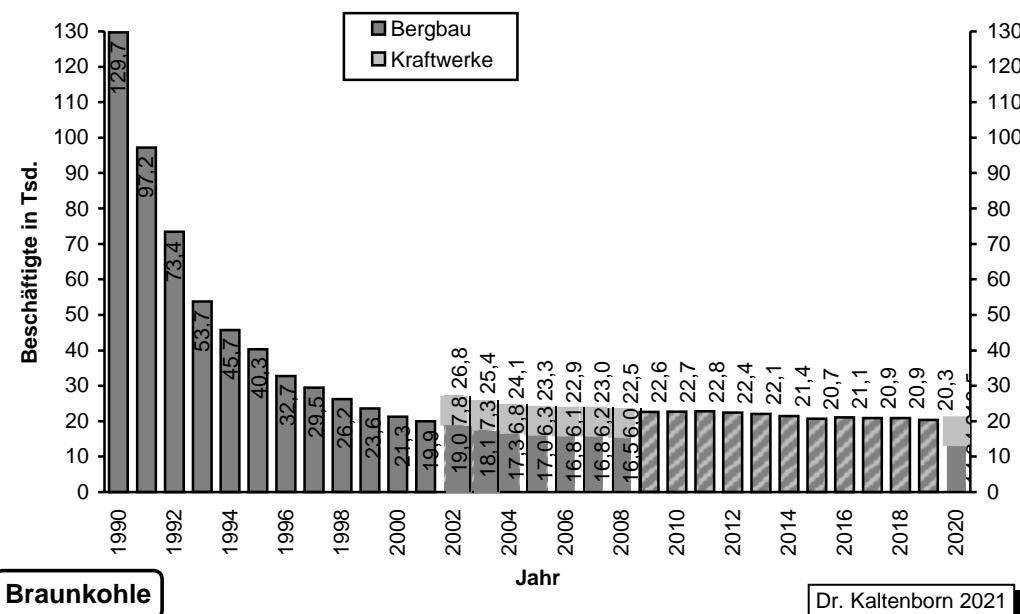
## 4.2 Braunkohlenindustrie

Zunächst zeigt Abbildung 20 statistische Angaben zur Zahl der Beschäftigten (einschließlich Altersteilszeit und Auszubildende) im Braunkohlenbergbau in Deutschland seit 1990, ab 2002 einschließlich der Beschäftigten in den Kraftwerken der allgemeinen Versorgung und der Revitalisierung stillgelegter Förderstätten. Enthalten sind sowohl Beschäftigte aufgrund des lau-

<sup>25</sup> In der Publikation haben zahlreiche Seiten eine identische Paginierung, daher wird hier und im weiteren auf die genaue Angabe von Quellen verzichtet.

fenden Betriebs als auch solche aufgrund von Investitionen. Als Folge der Deutschen Einheit (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 10]) sank die Zahl der Beschäftigten von fast 130.000 Ende 1990 binnen einer Dekade auf gut 21.000 Beschäftigte Ende 2000. In den nächsten beiden Dekaden nahm die Beschäftigung - vor allem als Folge von Rationalisierungen (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 10]) - weiter auf zuletzt knapp 15.000 Beschäftigte ab. Die Zahl der Beschäftigten in Braunkohlekraftwerken sank von 7.800 Ende 2002 auf zuletzt 4.600 Ende 2020.

**Abbildung 20: Beschäftigte im Braunkohlenbergbau in Deutschland von 1990 bis 2020 nach der Kohlenstatistik**



Anmerkung: Jahresende; direkte Beschäftigung aufgrund der laufenden Braunkohleförderung und -veredlung und Rekultivierung stillgelegter Förderstätten sowie durch Investitionen; einschließlich Auszubildende und Altersteilzeit; Kraftwerke: ab 2002 auch Beschäftigte in Kraftwerken der allgemeinen Versorgung (der Braunkohlenunternehmen); 2008 und 2016 Aufgrund von Neustrukturierung der Unternehmen nicht mit dem Vorjahr vergleichbar.

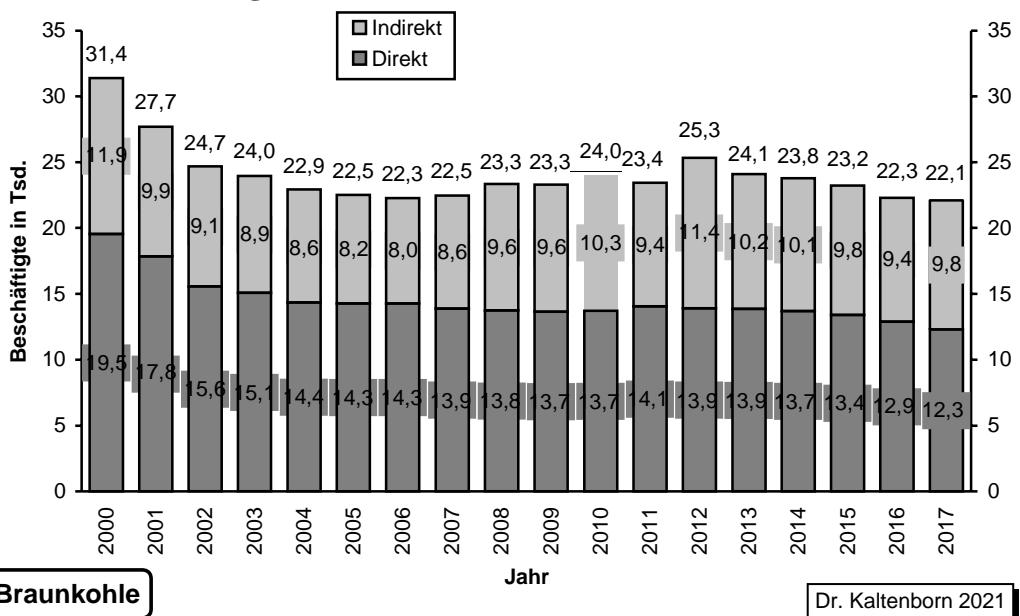
Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., eigene Berechnungen.

Einer Studie des **Öko-Instituts** zufolge (HERMANN u.a. [2017, S. 85f]) waren Ende 2016 von den etwas weniger als 20.000 direkt Beschäftigten etwa 18.000 reguläre Stellen und 1.000 Auszubildende (der Rest vermutlich passive Phase der Altersteilzeit). Von den regulär Beschäftigten und Auszubildenden entfielen danach seinerzeit 12.400 auf die Braunkohleförderung, 1.600 auf Veredlungsbetriebe und 5.000 auf die Kraftwerke zur öffentlichen Versorgung.

Mehrere Studien befassen sich mit der indirekten und induzierten Beschäftigung durch die Braunkohleindustrie. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen [2017, S. 24] gibt einen kurzen kritischen Überblick über seinerzeit vorliegende Studien zu indirekten und induzierten Arbeitsplatzeffekten der Kohlewirtschaft.

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) haben sich mit der direkten und indirekten Beschäftigung des Braunkohlenbergbaus (einschließlich Braunkohlenveredlung) aufgrund des laufenden Betriebs (einschließlich Wartung) befasst (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019]). Die direkt im Braunkohlenbergbau (einschließlich Braunkohlenveredlung) Beschäftigten haben sie den „Energiedaten“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie übernommen (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 6]). Die indirekte Beschäftigung wurde unter Verwendung der jährlichen Input-Output-Tabellen geschätzt (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 7f]). Allerdings enthalten diese keine separaten Angaben für den Braunkohlesektor, so dass angenommen werden musste, dass sich der Braunkohlesektor hinsichtlich der Input-Output-Verflechtungen nicht von dem Aggregat unterscheidet, in dem er enthalten ist (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 8]). Abbildung 21 zeigt die Ergebnisse für die Jahre 2000 bis 2017. In diesem Zeitraum sank die Zahl der direkt Beschäftigten von 19.500 auf 12.300. Die Zahl der indirekt Beschäftigten war etwas stabiler und schwankte den Berechnungen zufolge zwischen 8.200 und 11.900. Auf 100 direkt Beschäftigte kamen 55 bis 82 indirekt Beschäftigte.

**Abbildung 21: Direkt und indirekt Beschäftigte durch den laufenden Betrieb des Braunkohlenbergbaus in Deutschland von 2000 bis 2017 nach Berechnungen des DIW u.a. (2019)**



Anmerkung: Braunkohlenbergbau und -veredlung.

Quelle: O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 10].

O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 94f] haben zudem die Zahl der direkt und indirekt Beschäftigten aufgrund von Investitionen im Braunkohlenbergbau geschätzt. Die Schätzung erfolgt auf Basis der Investitionen und wiederum mit einer Input-Output-Analyse. Im Zeitraum von 2000 bis 2017 schwankte der Schätzung zufolge die Zahl dieser Beschäftigten zwischen 0 (in etlichen Jahren) und 7.300 (2009) (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 138f]).

Das RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung (**RWI**) hat sich mit der direkten, indirekten und induzierten Beschäftigung des Braunkohlesektors in den vier deutschen Braunkohleverieren im Jahr 2016 befasst (FRONDEL u.a. [2018]). Während auf das Lausitzer und das Rheinische Revier jeweils mehr als 40% der bundesweit direkt 19.852 Beschäftigten entfielen, war der Anteil im Mitteldeutschen Revier mit 12% deutlich geringer, im Helmstedter Revier wurde die Kohleförderung am 30. August 2016 eingestellt (FRONDEL u.a. [2018, S. 40, 44]). Ausgangspunkt für die Schätzung der indirekten und induzierten Beschäftigungseffekte sind regionalisierte Input-Output-Tabellen, die anhand von Annahmen bis 2016 fortgeschrieben wurden (FRONDEL u.a. [2018, S. 39]). Die indirekte Beschäftigung durch Vorleistungen (einschließlich Investitionen) sowie die durch Löhne und Gehälter induzierte Beschäftigung belief sich der Studie zufolge auf bundesweit 35.734 Personen, davon entfielen auf die vier Braunkohlereviere 11.911 Beschäftigte (FRONDEL u.a. [2018, S. 40]). Insgesamt sind damit im Jahr 2016 in Deutschland etwa 55.600 Arbeitsplätze vom Braunkohlesektor abhängig gewesen, etwa 0,2% der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten insgesamt (FRONDEL u.a. [2018, S. 40, 212]). Sowohl FRONDEL u.a. [2018, S. 47-194] als auch eine Studie von Arepo Consult (WÖRLEN u.a. [2017]) befassen sich zudem detailliert mit der Lage und den Entwicklungschancen der drei verbliebenen Braunkohleregionen.

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (**IZES**), das Institut für Wirtschaftsforschung Halle (**IWH**) und das **Öko-Institut** haben Szenarien entwickelt, mit denen sich die mit dem Klimaschutzplan angestrebte Reduktion der Kohlendioxidemissionen der Energiewirtschaft für 2030 um 61% bis 62% gegenüber 1990 mit einer reduzierten Kohleverstromung erreichen lassen, welche Konsequenzen dies für die Braunkohleförderung hat und welche gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen bis 2030 eine reduzierte Braunkohleförderung hat (OEI u.a. [2019]).<sup>26</sup> Hierzu werden vier unterschiedliche Ausstiegsszenarien konstruiert (OEI u.a. [2019, S. 93]). Die Szenarien berücksichtigen sowohl die mit (heimischer) Braunkohle als auch die mit (importierter) Steinkohle betriebenen Kraftwerke und modellieren Reihenfolge und Zeitpunkte von Kraftwerksstilllegungen. Die Ausstiegsszenarien werden jeweils mit einem Referenzszenario verglichen (OEI u.a. [2019, S. 93f]):

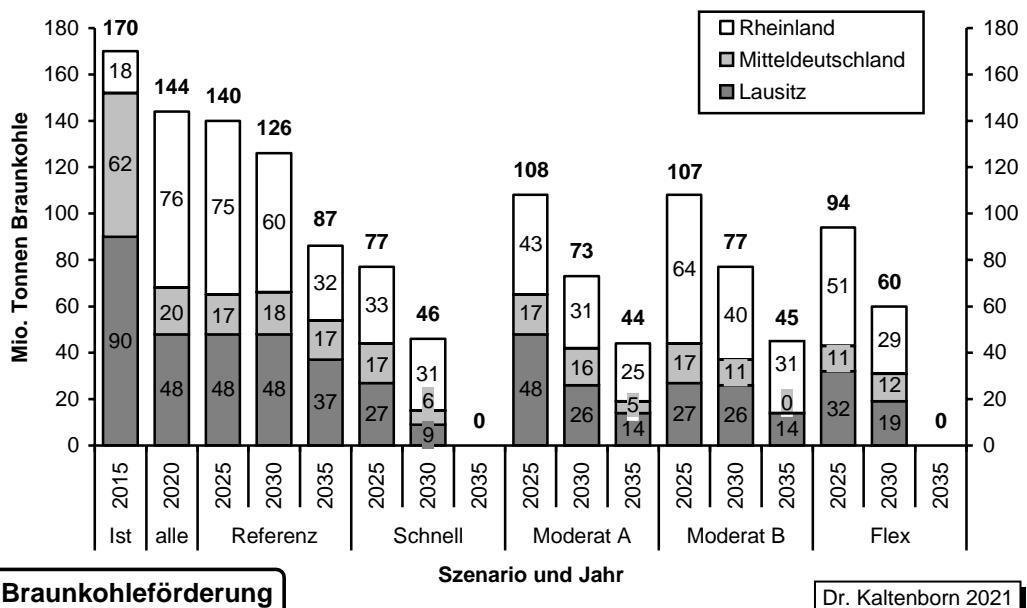
- › Referenzszenario: Das Referenzszenario geht für die Entwicklung ab 2020 von den bis Juli 2016 beschlossenen Maßnahmen aus (OEI u.a. [2019, S. 93, 101]). Die Kapazität der Braunkohlekraftwerke geht von 20,7 GW im Jahr 2015 auf 17,8 GW im Jahr 2020 zurück (OEI u.a. [2019, S. 94, 101]). Anschließend werden Braunkohlekraftwerke stillgelegt, wenn der Betrieb nicht mehr wirtschaftlich ist; Braunkohlekraftwerke werden bereits dann stillgelegt, wenn die Fixkosten des zugehörigen Braunkohletagebaus und des Kraftwerks nicht mehr in vollem Umfang gedeckt werden können.
- › Ausstiegsszenario „Schnell“: Im Ausstiegsszenario „Schnell“ werden vorrangig Kraftwerke mit hohen spezifischen Emissionen stillgelegt. Dadurch werden bis 2030 nahezu alle Braunkohle- und nur wenige Steinkohlekraftwerke stillgelegt.

<sup>26</sup> Darüber hinaus wurden die regionalwirtschaftlichen Auswirkungen eines Ausstiegs aus der Braunkohleförderung und -verstromung untersucht.

- › Ausstiegsszenario „Moderat“: Im Ausstiegsszenario „Moderat“ werden bis 2030 alle Kohlekraftwerke stillgelegt, sobald sie 40 Jahre alt sind. Dabei werden zwei Varianten unterschieden:
  - Variante A: In Variante A wird die Stilllegungsregel strikt umgesetzt.
  - Variante B: In Variante B erfolgt ein regionaler Ausgleich zwischen den Regionen.
- › Ausstiegsszenario „Flex“: Im Ausstiegsszenario „Flex“ werden ab 2020 die Vollnutzungsstunden der Kohlekraftwerke, die bereits 20 Jahre in Betrieb sind, auf 4.000 begrenzt. Ab dem Jahr 2025 werden Kohlekraftwerke stillgelegt, sobald sie 40 Jahre alt sind.

Die aus den Szenarien resultierende Braunkohleförderung zeigt Abbildung 22. Erwartungsgemäß am deutlichsten sinkt die Braunkohleförderung im Ausstiegszenario „Schnell“, gefolgt von den Ausstiegsszenarien „Flex“ und „Moderat“. Die Szenarien „Moderat A“ und „Moderat B“ unterscheiden sich kaum im Niveau, jedoch in der Verteilung auf die Reviere.

**Abbildung 22: Braunkohleförderung nach Revier von 2015 bis 2035 in verschiedenen Szenarien des DIW u.a. (2019)**



Anmerkung: Tabelle 8-8 von OEI u.a. [2019, S. 248f] enthält anders als Abbildung 3-3 von OEI u.a. [2019, S. 99] fehlerhafte Werte und wurde daher hier nicht herangezogen.

Quelle: E-Mail aus dem Autorenteam der Studie von OEI u.a. [2019] vom 4. August 2021.

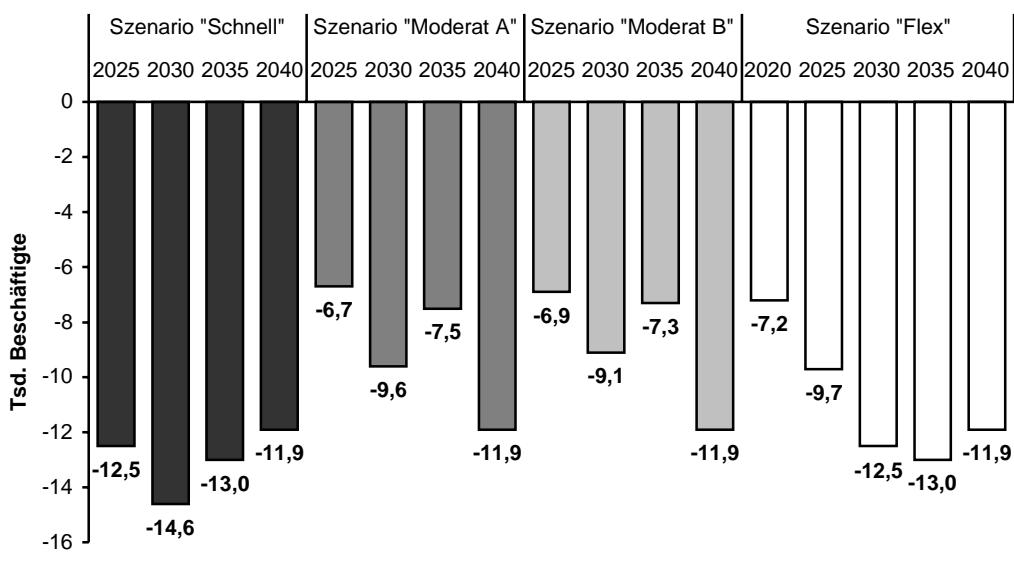
Die gesamtwirtschaftliche Modellierung erfolgt mit einem offenen statischen Input-Output-Modell ohne Berücksichtigung von Änderungen der Preise für Energieträger und Emissionsrechte (OEI u.a. [2019, S. 102, 104, 107]). Grundlage für das Modell ist die Input-Output-Tabelle für 72 Güter- bzw. Produktionsbereiche für das Jahr 2013 (OEI u.a. [2019, S. 109]). Es wird angenommen, dass die darin abgebildete Vorleistungsstruktur im Zeitablauf unverändert bleibt (OEI u.a. [2019, S. 110]). Die Modellierung berücksichtigt lediglich den Ausstieg aus der Braunkohleförderung, geht jedoch implizit von einer unveränderten Verstromung von Braunkohle aus (OEI u.a. [2019, S. 102]). Unberücksichtigt bleiben auch die Effekte, die aus dem Aufbau von Kapazitäten zur Nutzung anderer, insbesondere regenerativer

Energieträger resultieren (OEI u.a. [2019, S. 117]). Ermittelt werden direkte Effekte in der Braunkohleförderung, indirekte Effekte durch den Bezug von Vorleistungen sowie induzierte Effekte, die aus den Einkommen der Erwerbstätigen resultieren, nicht berücksichtigt werden hingegen induzierte Effekte durch Unternehmens- und Vermögenseinkommen (OEI u.a. [2019, S. 107, 117]). Für die Entwicklung der Arbeitsproduktivität werden zwei alternative Annahmen verwendet (OEI u.a. [2019, S. 110]):

- › Produktivitätsannahme „Fortschreibung“: In allen Branchen verändert sich die Arbeitsproduktivität entsprechend der durchschnittlichen Entwicklung von 1995 bis 2014.
- › Produktivitätsannahme „Konstanz“: Abweichend von der Produktivitätsannahme „Fortschreibung“ bleibt ausschließlich im Produktionsbereich Kohle die Arbeitsproduktivität unverändert.

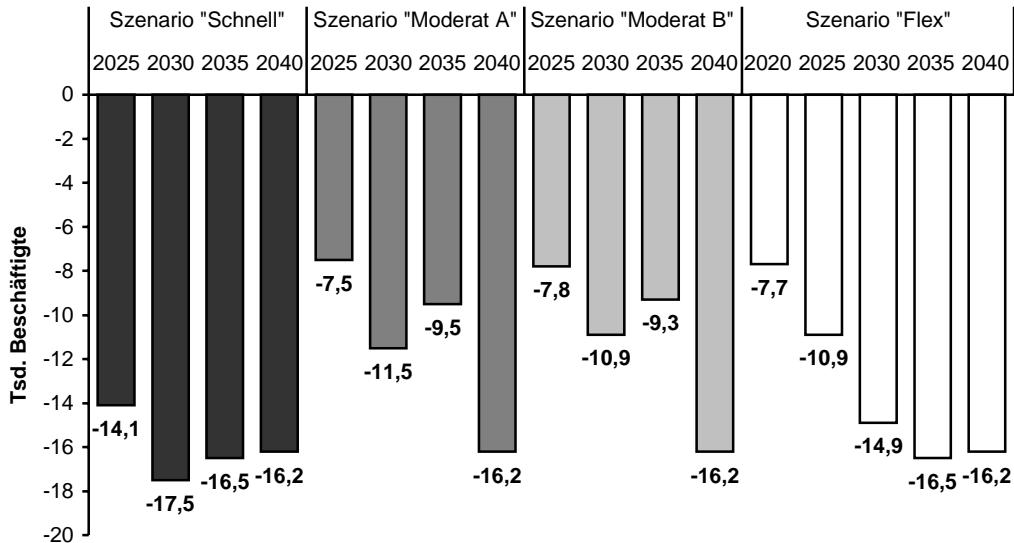
Abbildung 23 zeigt für die verschiedenen Szenarien die projizierten Veränderungen der direkten, indirekten und induzierten Beschäftigung gegenüber dem Referenzszenario. Bis 2040 reduzieren alle Ausstiegszenarien die Zahl der Beschäftigten bei der Produktivitätsannahme „Fortschreibung“ um 11.900 und in der Produktivitätsannahme „Konstanz“ um 16.200. Der deutlichere Beschäftigungsrückgang für die Produktivitätsannahme „Konstanz“ liegt daran, dass hier im Referenzszenario wegen der geringeren Arbeitsproduktivität mehr Beschäftigte zur Förderung einer identischen Braunkohlemenge erforderlich sind als in der Produktivitätsannahme „Fortschreibung“. Entsprechend der Braunkohleförderung in den Szenarien (Abbildung 22) ist im Verlauf vor 2040 der Beschäftigungsrückgang im Ausstiegszenario „Schnell“ am größten, gefolgt von den Ausstiegszenarien „Flex“ und „Moderat“.

**Abbildung 23: Beschäftigungseffekte verschiedener Szenarien der Braunkohleförderung nach Berechnungen des DIW u.a. (2019)**



**Produktivitätsannahme "Fortschreibung"**

Dr. Kaltenborn 2021



**Produktivitätsannahme Konstanz"**

Dr. Kaltenborn 2021

Anmerkung: Dargestellt sind die direkten, indirekten und induzierten Beschäftigungseffekte im Vergleich zum Referenzszenario. Die Beschäftigungseffekte für die Produktivitätsannahme „Fortschreibung“ für das Szenario „Schnell“ in den Jahren 2020, 2025 und 2030 ergeben sich nicht als Differenz jeweils zwischen der Zeile 35 in den Tabellen 8-14 und 8-12 (OEI u.a. [2019, S. 253f, 256]), weil Tabelle 8-14 fehlerhaft ist.

Quelle: OEI u.a. [2019, S. 266f]; E-Mail aus dem Autorenteam der Studie von OEI u.a. [2019] vom 4. August 2021.

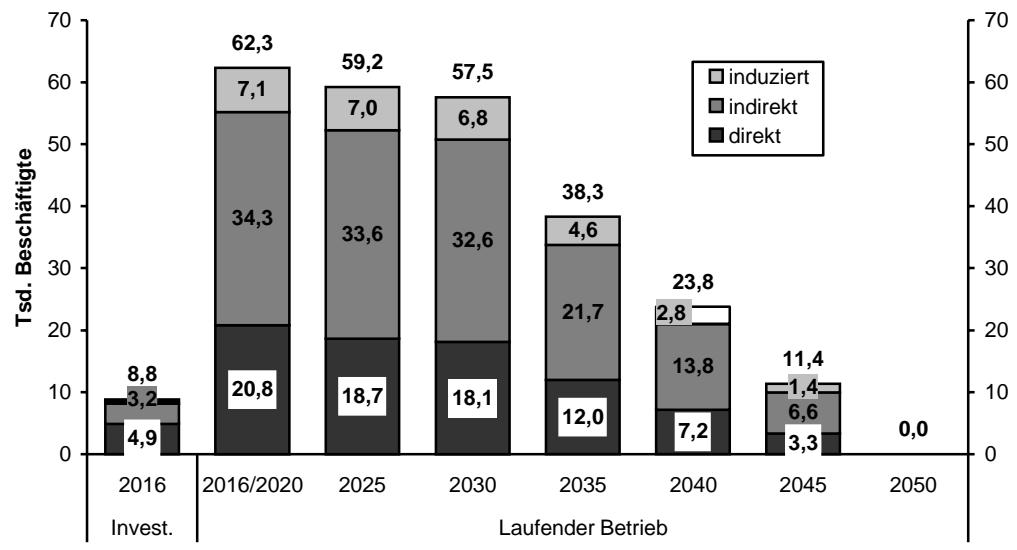
Das Institut der deutschen Wirtschaft Köln (**IW**) hat sich mit der direkten, indirekten und induzierten Bruttowertschöpfung und Beschäftigung durch die Braunkohlenindustrie sowohl retrospektiv für das Jahr 2016 als auch prospektiv befasst (BERTENRATH u.a. [2018]). Im November 2017 wurden im Rahmen einer Befragung der Braunkohleunternehmen Daten zu Produktions- und Vorleistungsstrukturen, Beschäftigung, Umsätzen, Entgelten, Abschreibungen sowie zu Importen und Exporten erhoben (BERTENRATH u.a. [2018, S. 7f]). Diese Daten wurden genutzt, um die nationale Input-Output-Tabelle um ein „Satellitenkonto Braunkohlewirtschaft“ zu ergänzen und damit auszudifferenzieren (BERTENRATH u.a. [2018, S. 8]). Auf dieser Basis wurden direkte, indirekte und induzierte Bruttowertschöpfung und Beschäftigung durch die Braunkohlenindustrie im Jahr 2016 geschätzt. Den Schätzungen zufolge gab es im Jahr 2016 durch den laufenden Betrieb der Braunkohlenindustrie zusätzlich zu den direkt 20.800 Beschäftigten 34.300 indirekt und 7.100 induziert Beschäftigte, mithin gab es durch den laufenden Betrieb der Braunkohlenindustrie insgesamt rund 62.300 Arbeitsplätze (vgl. Abbildung 24). Zudem gab es seinerzeit aufgrund der Investitionen der Branche 4.900 direkt Beschäftigte, 3.200 indirekt Beschäftigte und knapp 700 induziert Beschäftigte, zusammen rund 8.800 Arbeitsplätze.

Zudem vergleichen BERTENRATH u.a. [2018, S. 24] zwei Ausstiegszenarien aus der Braunkohle:

- › Emissionshandel: In diesem Szenario wird angenommen, dass der Ausstieg ausschließlich aufgrund des Europäischen Emissionshandels und bestehender nationaler Maßnahmen erfolgt und keine zusätzlichen klimapolitischen Eingriffe in den deutschen Stromsektor gibt.
- › Klimaschutzplan: In diesem Szenario wird ergänzend zum Szenario Emissionshandel angenommen, dass das sektorale Reduktionsziel des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung für die Energiewirtschaft bis 2030 erreicht wird. Bis 2040 wird ein vollständiger Ausstieg aus der Braunkohle unterstellt.

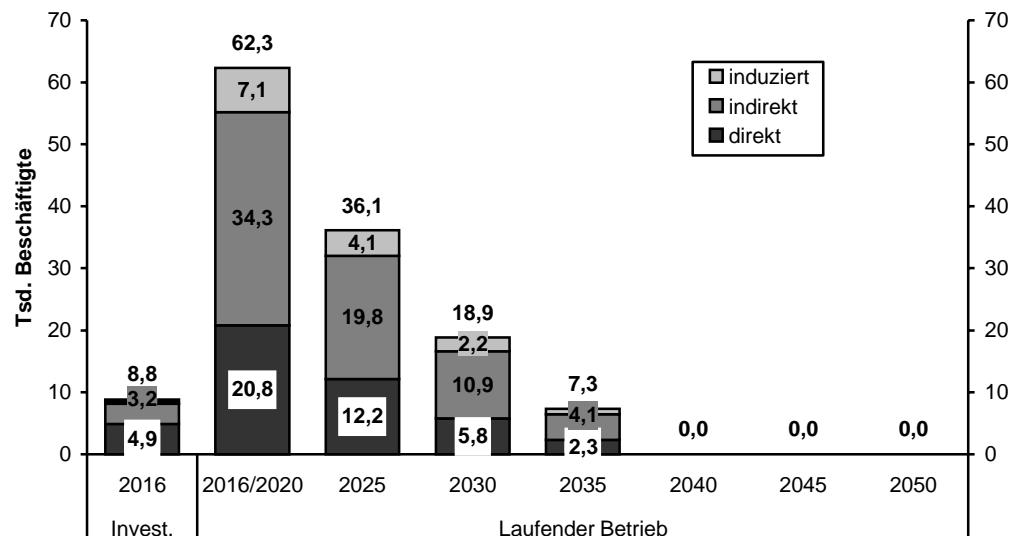
Für das Jahr 2020 wird offenbar davon ausgegangen, dass sich in beiden Szenarien keine Änderung gegenüber 2016 ergibt. Die im weiteren Verlauf projizierte Beschäftigung in der Braunkohlenindustrie zeigt Abbildung 24. Im Szenario Emissionshandel sinkt sie bis 2030 nur moderat, in den folgenden beiden Dekaden weitgehend linear bis auf null im Jahr 2050. Im Szenario Klimaschutzplan hingegen sinkt sie bis 2030 um rund 70%, im weiteren Verlauf dann sukzessive bis 2040 auf null. Die Studie betrachtet zudem differenziert die Entwicklung in den drei verbliebenen deutschen Braunkohlerevier, dem Rheinischen, dem Mitteldeutschen und dem Lausitzer Revier.

**Abbildung 24: Beschäftigungseffekte der Braunkohlenindustrie nach Berechnungen des IW (2018)**



Szenario Emissionshandel

Dr. Kaltenborn 2021



Szenario Klimaschutzplan

Dr. Kaltenborn 2021

Anmerkung: Dargestellt sind die Beschäftigungseffekte der Braunkohlenindustrie durch die Investitionen (Invest.) im Jahr 2016, durch den laufenden Betrieb im Jahr 2016 und ab 2020 durch die Szenarien Emissionshandel und Klimaschutzplan 2050.

Quelle: BERTENRATH u.a. [2018, S. 20, 23, 30].

Das **Öko-Institut** hat die Auswirkungen der sektorspezifischen Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen des „Klimaschutzplans 2050“ der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2016, S. 18]) (vgl. auch Tabelle 7 in Abschnitt 2.4) auf die Beschäftigung in der Braunkohlenindustrie bis zum Jahr 2030 untersucht (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018]). Als Vergleichspunkt dient eine Referenz, in der von den zuvor beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen ausgegangen wird und angenommen wird, dass nicht mehr rentable Braunkohle-

kraftwerke stillgelegt werden (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 22f]). Durch Stilllegungen wird in der Referenz die Kraftwerkskapazität in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre von 17,7 GW auf 15,5 GW reduziert (vgl. Tabelle 8). Auch die Braunkohleförderung geht in der Referenz im gleichen Zeitraum zurück. Um die im „Klimaschutzplan 2050“ für 2030 vorgegebene Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen, wird im Zielpfad von einer deutlicheren Reduktion der Kraftwerkskapazitäten und Fördermengen ausgegangen (vgl. Tabelle 8).

Anhand der Fördermengen und Kraftwerkskapazitäten wird die dafür erforderliche Beschäftigung geschätzt (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 22]). Dabei wird für die Referenz davon ausgegangen, dass die Arbeitsproduktivität bei der Kohleförderung entsprechend der Entwicklung der neun zurückliegenden Jahre weiter zunimmt (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 22, 26]). Für den Zielpfad wird hingegen eine konstante Produktivität ab 2020 angenommen, da wegen der starken Reduktion der Fördermengen keine Produktivitätsfortschritte mehr erreicht würden. Zudem wurde angenommen, dass im Zielpfad zusätzliche Beschäftigte für die Rekultivierung früherer Förderstätten benötigt werden (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 26]). Für die Braunkohlekraftwerke wurden weder in der Referenz noch im Zielpfad Produktivitätsfortschritte berücksichtigt (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 26]). Allerdings wurde offenbar angenommen, dass zuerst die älteren Kraftwerke mit geringerer Arbeitsproduktivität abgeschaltet werden, so dass eine Reduktion der Kraftwerkskapazität zu einer überproportionalen Reduktion der Beschäftigung führt. Die projizierte Beschäftigung für die beiden Szenarien zeigt Tabelle 8. Danach sinkt die Zahl der Beschäftigten in der Braunkohlenindustrie in der Referenz von rund 20.700 im Jahr 2015 um 30% auf rund 14.500 im Jahr 2030, im Zielpfad hingegen um 61% auf rund 8.000.

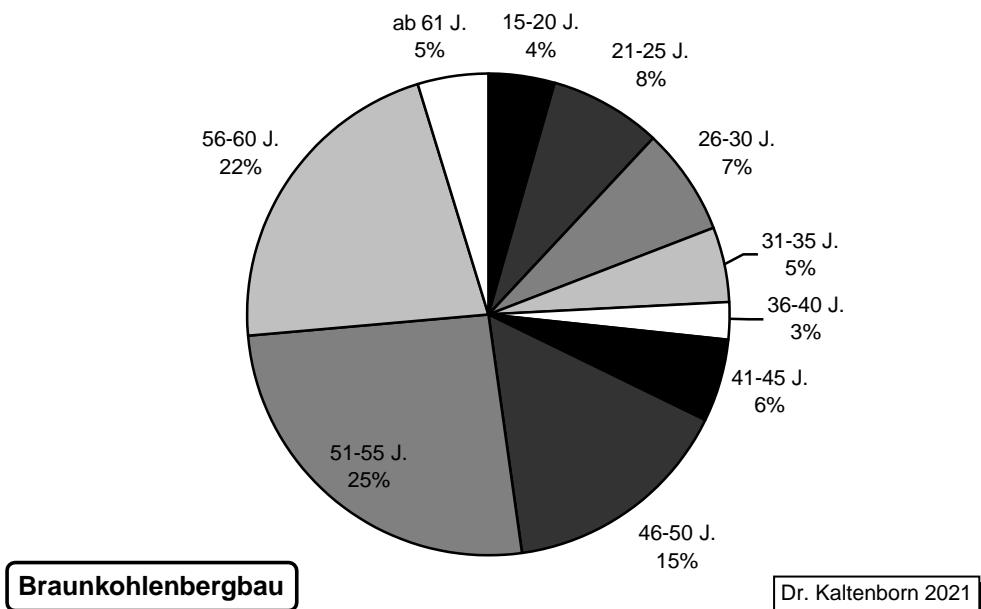
**Tabelle 8: Zentrale Ergebnisse zur künftigen Beschäftigungsentwicklung in der Braunkohlenindustrie nach Berechnungen des Öko-Instituts (2018)**

Szenario	Sektor	Ist 2015	2020	2025	2030
Braunkohleförderung in Mio. Tonnen					
Referenz	Kohleförderung	178	147	150	129
Zielpfad		178	147	108	67
Installierte Leistung in Braunkohlekraftwerken in GW					
Referenz	Kraftwerke	20,7	17,9	17,7	15,5
Zielpfad		20,7	17,9	13,0	9,0
Beschäftigte (Braunkohleförderung einschließlich Braunkohleveredlung und Rekultivierung früherer Förderstätten)					
Referenz	Kohleförderung	15.273	12.267	12.522	10.739
	Kraftwerke	5.423	4.503	4.448	3.733
	<b>insgesamt</b>	<b>20.696</b>	<b>16.770</b>	<b>16.970</b>	<b>14.472</b>
Zielpfad	Kohleförderung	15.273	12.267	9.718	6.388
	Kraftwerke	5.423	4.503	2.924	1.623
	<b>insgesamt</b>	<b>20.696</b>	<b>16.770</b>	<b>12.642</b>	<b>8.011</b>

Quelle: HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 22, 25, 30].

Zudem betrachten HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 18f] die Alterstruktur der Beschäftigten im Braunkohlebergbau. Die Altersstruktur der 15.931 Beschäftigten im Jahr 2014 zeigt Abbildung 25. Seinerzeit waren mehr als die Hälfte bereits über 50 Jahre alt. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Renteneintritte reduziere sich der Beschäftigtenbestand im Braunkohlebergbau bis 2030 auf etwa 6.000 weitgehend analog zum Arbeitskräftebedarf im Zielpfad, für die Referenz hingegen wären zusätzliche Neueinstellungen erforderlich (HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 28]).

**Abbildung 25: Altersstruktur der Beschäftigten im Braunkohlenbergbau in Deutschland 2014 nach Angaben des Öko-Instituts (2018)**



Anmerkung: J.: Jahre; insgesamt 15.931 Beschäftigte.

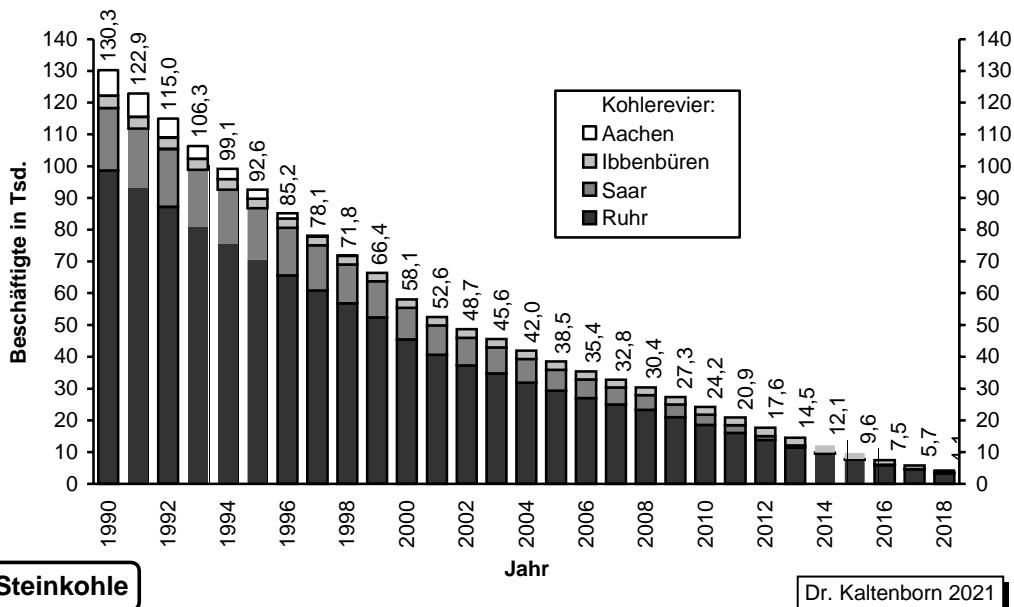
Quelle: HERMANN, SCHUMACHER und FÖRSTER [2018, S. 19].

### 4.3 Ausstieg aus der Steinkohleförderung

Die Subventionierung der heimischen Steinkohleförderung wurde Ende 2018 beendet (§ 1 Abs. 1 Steinkohlefinanzierungsgesetz). Infolgedessen war die inländische Förderung nicht mehr rentabel und wurde im Laufe des Jahres 2018 beendet.

Abbildung 26 zeigt die Zahl der Beschäftigten (einschließlich Altersteilszeit und Auszubildende) im Steinkohlenbergbau und der Rekultivierung stillgelegter Förderstätten in Deutschland von 1990 bis 2018 differenziert nach Kohlerevieren. Enthalten sind sowohl Beschäftigte aufgrund des laufenden Betriebs als auch solche aufgrund von Investitionen. Seit 1990 ist die Zahl der Beschäftigten weitgehend kontinuierlich von gut 130.000 auf zuletzt 4.100 zurückgegangen.

**Abbildung 26: Beschäftigte im Steinkohlenbergbau in Deutschland von 1990 bis 2018 differenziert nach Revieren nach der Kohlenstatistik**



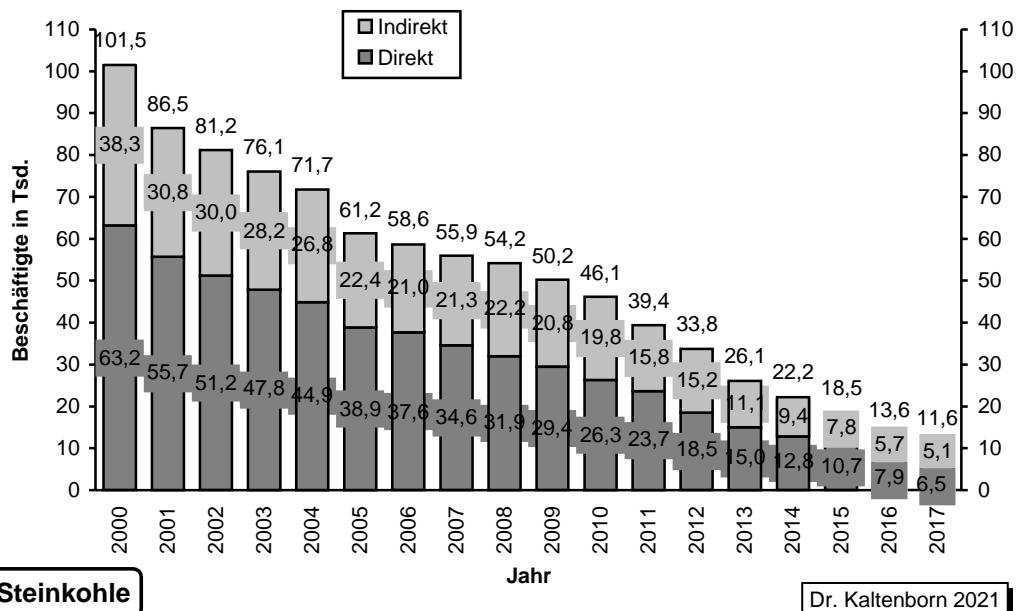
Anmerkung: Jahresende; direkte Beschäftigung aufgrund der laufenden Steinkohleförderung und -veredlung und Rekultivierung stillgelegter Förderstätten sowie durch Investitionen; einschließlich Auszubildende und passive Phase der Altersteilzeit.

Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., eigene Berechnungen.

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) haben sich analog zu ihren Berechnungen zur Braunkohle (vgl. Abschnitt 4.2) mit der direkten und indirekten Beschäftigung aufgrund des laufenden Betriebs (einschließlich Wartung) des Steinkohlenbergbaus (einschließlich Steinkohlenveredlung) befasst (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019]). Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse: Die direkte Beschäftigung sank von 63.200 Beschäftigten im Jahr 2000 weitgehend kontinuierlich auf 6.500 im Jahr 2017. Die Zahl der indirekt Beschäftigten reduzierte sich im gleichen Zeitraum von 38.300 auf 5.100. Wie bei der Braunkohle (vgl. Abschnitt 4.2) kamen im Zeitraum von 2000 bis 2017 auf 100 direkt Beschäftigte im Steinkohlenbergbau zwischen 55 und 82 indirekt Beschäftigte. Die Identität der Ergebnisse liegt daran, dass die verwendeten Input-Output-Tabellen nicht zwischen Braunkohle und Steinkohle differenzieren (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 8]).

Wiederum analog zur Braunkohle (vgl. Abschnitt 4.2) haben O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 94f] auch die Zahl der direkt und indirekt Beschäftigten aufgrund von Investitionen des Steinkohlenbergbaus geschätzt. Ihre Zahl schwankte den Berechnungen zufolge im Zeitraum von 2000 bis 2017 zwischen 0 (2006) und 17.900 (2012), zuletzt waren es noch 2.100 (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 138f]).

**Abbildung 27: Direkt und indirekt Beschäftigte durch den laufenden Betrieb des Steinkohlenbergbaus in Deutschland von 2000 bis 2017 nach Berechnungen des DIW u.a. (2019)**



Anmerkung: Steinkohlenbergbau und -veredlung.

Quelle: O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 9].

#### 4.4 Atomausstieg

In einer Expertise der **DIW Econ** werden Angaben Dritter zur Beschäftigung in der Kernenergie und den Auswirken des Atomausstiegs zitiert (DEHNEN, MATTES und TRABER [2015, S. 17]):

- › Einer Quelle aus dem Jahr 2011 zufolge gab es seinerzeit 8.000 Beschäftigte in deutschen Kernkraftwerken, weitere 32.000 seien in Forschung und Entwicklung bei Herstellern und Zulieferern sowie im Service tätig.
- › Nach der Stilllegung eines Atomkraftwerks bleibe ein Großteil, bis zu drei Vierteln der Arbeitsplätze für Wartung und Außerbetriebnahme bestehen.

#### 4.5 Aktionsprogramm Klimaschutz 2020

PricewaterhouseCoopers (**PwC**) [2016] hat die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2014b]) in den Jahren 2015 bis 2020 projiziert. Einbezogen wurden 107 sehr unterschiedliche Einzelmassnahmen mit Stand zum 29. April 2016, wobei deren Ausgestaltung berücksichtigt wurde, soweit sie bis zu diesem Termin bekannt war. Durch die Maßnahmen sollten nach Schätzung der Bundesregierung im Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen um 62 bis 78 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente vermindert werden, nach der Schätzung von PricewaterhouseCoopers sind es lediglich 56,5 bis 61,2 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (vgl. Tabelle 9). Bezogen auf die Treibhausgasemissionen von 1.248 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente im Jahr 1990 nach damaligem Rechenstand (Deutscher Bundestag [2014b, S. 8]) entspricht dies einer Reduktion von 5,0% bis 6,3% bzw. 4,5% bis 4,9%. Nach PricewaterhouseCoopers

[2016, S. 34] reduziert das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 die kumulierten Treibhausgasemissionen (auch über das Jahr 2020 hinaus) insgesamt um rund 1.000 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente. Die Bruttokosten werden als Barwert ausgewiesen und sind im Standardfall mit einer Diskontrate von 1,5% jährlich berechnet. Er beläuft sich auf 123,5 Mrd. EUR und ist wenig sensitiv gegenüber Änderungen der Diskontrate (vgl. Tabelle 9). Die Bruttokosten fallen zu 98% bis zum Jahr 2020 an und bestehen zu 94% aus Investitionen (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 40f], eigene Berechnungen). Es wird angenommen, dass die entsprechende Nachfrage ausschließlich im Inland wirksam wird (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 52]).

Zur Prognose der Bruttostromerzeugung wurde die Energieriferenzprognose (SCHLESINGER u.a. [2014]) herangezogen (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 51f]). Für 2020 wird lediglich von moderaten Veränderungen der Energiepreise gegenüber dem seinerzeitigen Status quo ausgegangen (Rohöl 13 EUR je GJ, Erdgas 7,10 EUR je GJ, Steinkohle 2,60 EUR je GJ, jeweils real in Preisen von 2015), für ein Emissionszertifikat wird ein Preis von 10 EUR je Tonne Kohlendioxid-Äquivalent angenommen (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 27f; 62]).

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte wurden hauptsächlich mit dem Input-Output-Modell „German Economic Model for Inputs and Outputs“ (GEMIO) von PricewaterhouseCoopers [2016, S. 51] geschätzt. Ermittelt werden direkte, indirekte und induzierte Effekte sowohl von positiven als auch negativen gesamtwirtschaftlichen Stimuli (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 51]). Nicht berücksichtigt werden die Auswirkungen veränderter Preise infolge der Maßnahmen (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 54]) und - angesichts der Verwendung eines Input-Output-Modells - dürften wohl auch keine Verdrängungseffekte berücksichtigt worden sein.

Der Projektion zufolge ist das Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2020 infolge des Aktionsprogramms um 1,1% höher (vgl. Tabelle 9). Infolge der erhöhten Wirtschaftsleistung ist auch das Arbeitsvolumen höher, und zwar zwischen rund 101.000 Personenjahren (2015) und 430.000 Personenjahren (2020) (vgl. Tabelle 9 und Abbildung 28). Vom zusätzlichen Arbeitsvolumen resultieren in allen Jahren etwa 44% unmittelbar aus der erhöhten Güternachfrage („direkt“), 31% durch dafür erforderliche zusätzliche Vorleistungen („indirekt“) und 25% aus zusätzlichen Konsumausgaben („induziert“). Ohne Anpassung der Arbeitszeit würde das zusätzliche Arbeitsvolumen im Jahr 2030 auch 430.000 zusätzliche Beschäftigte bedeuten. Dies entspricht 1,0% aller Erwerbstätigen.

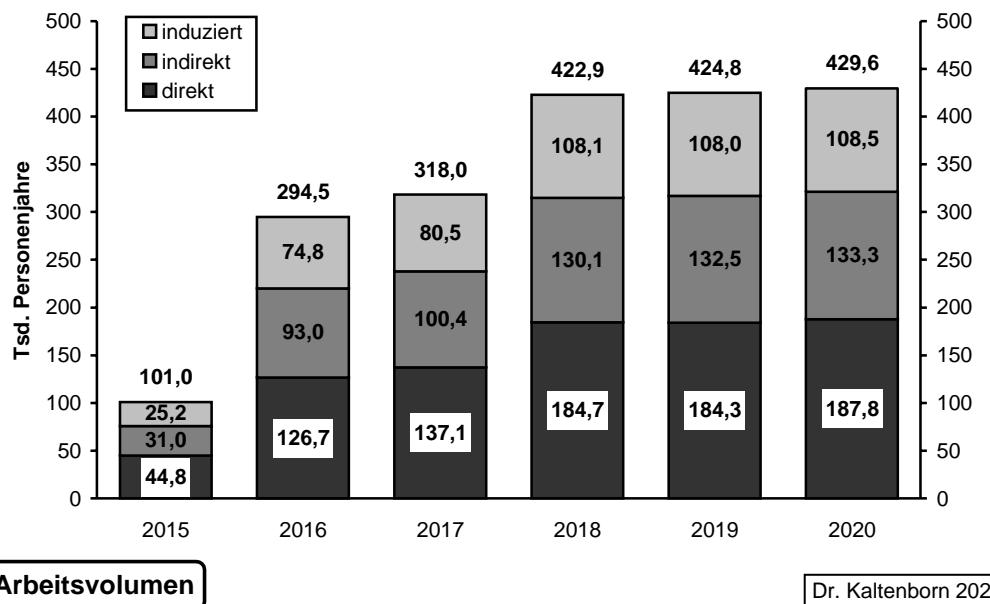
Die größten positiven Beschäftigungseffekte im Zeitraum von 2015 bis 2020 gibt es den Berechnungen zufolge im Bereich der „Baustellen-, Bauinstallations- und sonstiger Ausbauarbeiten“ (19% der Beschäftigungseffekte), „Metallerzeugnisse“ (10% der Beschäftigungseffekte) und der „Einzelhandelsleistungen“ (5% der Beschäftigungseffekte) (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 53]). Aufgrund der geringeren Stromnachfrage sinkt die Beschäftigung in den Bereichen „Kohle“, „Kokerei und Mineralölerzeugnisse“ sowie der „konventionellen Stromerzeugung“ (PricewaterhouseCoopers [2016, S. 53]).

**Tabelle 9: Zentrale Ergebnisse zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 in Deutschland nach Berechnungen von PwC (2016)**

Quelle	2020	2015-2020	2015-∞
Minderung der Treibhausgasemissionen in Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)			
Bundesregierung	62 bis 78	k.A.	k.A.
PricewaterhouseCoopers	56,5 bis 61,2	k.A.	954,9 bis 1.073,2
Bruttokosten (Barwert in Mrd. EUR) (davon ca. 94% Investitionen)			
PricewaterhouseCoopers	k.A.	120,7	123,5 (117,9 - 129,5) <sup>a</sup>
Änderung des Bruttoinlandsprodukts in Mrd. EUR			
PricewaterhouseCoopers	+30,4 (+1,1%)	+141,6	k.A.
Änderung des Arbeitsvolumens in Personenjahren			
PricewaterhouseCoopers	+429.600	+1.990.800	k.A.

<sup>a</sup> Im Standardfall wird ein Diskontfaktor von 1,5% jährlich angenommen, alternativ 0% und 3%.

Quelle: Deutscher Bundestag [2014b, S. 17], PricewaterhouseCoopers [2016, S. 13, 34, 39-41, 50, 53, 55], eigene Berechnungen.

**Abbildung 28: Änderung des Arbeitsvolumens durch das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 in Deutschland nach Berechnungen von PwC (2016)**

Quelle: PricewaterhouseCoopers [2016, S. 53].

Die zusätzliche wirtschaftliche Aktivität ist mit zusätzlichen Treibhausgasemissionen verbunden. Nach den Berechnungen von PricewaterhouseCoopers [2016, S. 57] beläuft sie sich im Jahr 2020 auf 13,0 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente im Inland und auf 13,7 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente im Ausland. Dies reduziert die ursprüngliche Verminde rung der Treibhausgasemissionen um fast die Hälfte.

## 4.6 Erneuerbare Energien

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) haben die Beschäftigung durch den laufenden Betrieb (einschließlich Wartung, Speicherung, Verteilung und Handel) erneuerbarer Energien sowie durch Investitionen hierfür geschätzt (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019], O'SULLIVAN und EDLER [2020]). Neben der direkten Beschäftigung wurde dabei auch die indirekte Beschäftigung durch die Nachfrage nach Vorleistungen berücksichtigt.

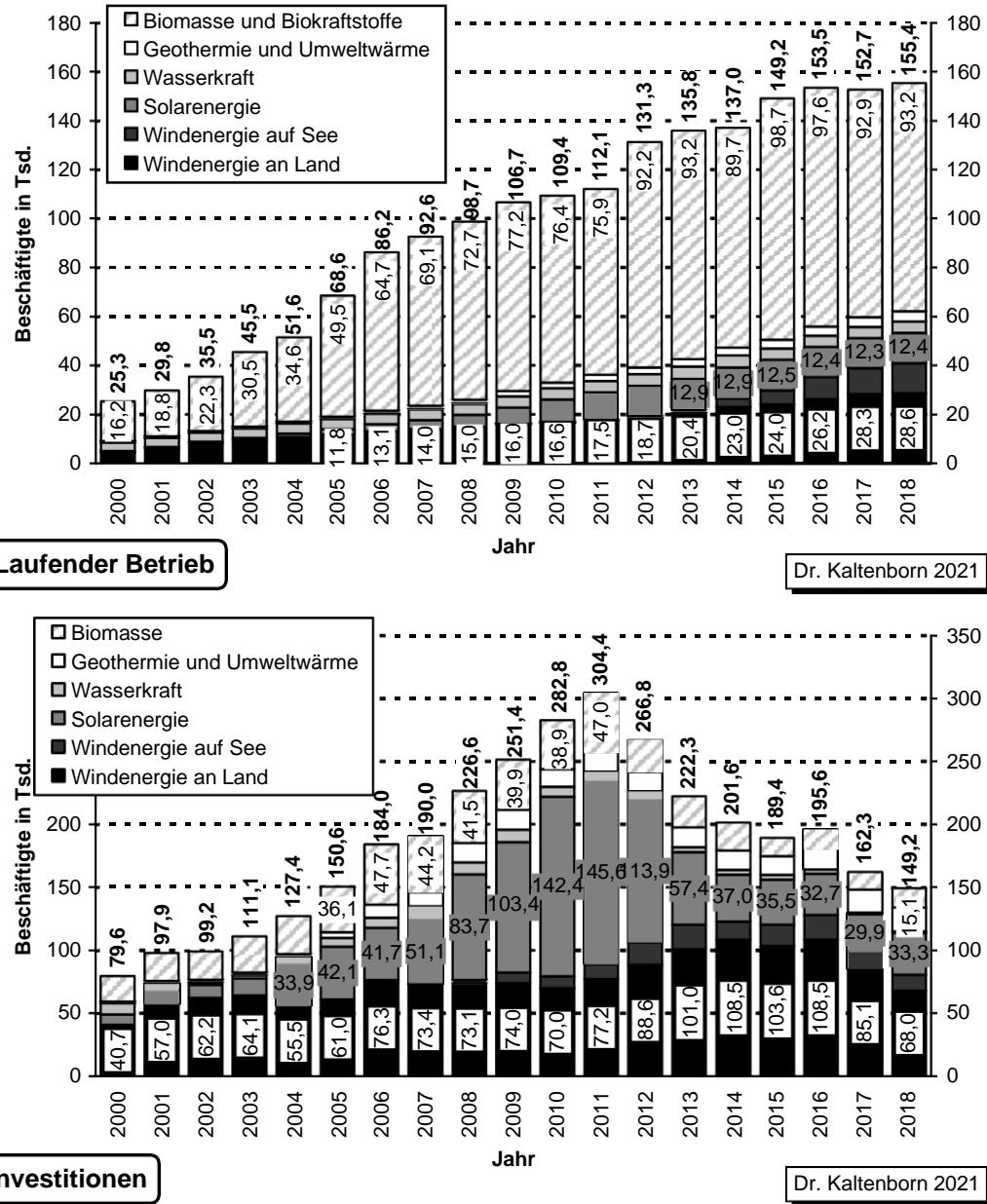
Ausgehend von den Investitionen in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien nach Ergebnissen der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik wurden auf Basis von Ergebnissen von LEHR u.a. [2015] technologiespezifisch die Gesamtkosten für Betrieb und Wartung ermittelt (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 10f]). Zudem wurden für Betrieb und Wartung Ergebnisse zu technologiespezifischen Arbeitsproduktivitäten von LEHR u.a. [2015] und O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2015; 2016] für die Jahre 2012 bis 2015 verwendet und rück- sowie fortgeschrieben (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 11]). Anhand der Gesamtkosten für Betrieb und Wartung sowie den technologiespezifischen Arbeitsproduktivitäten wurde die Zahl der Beschäftigten geschätzt (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 11]). Berücksichtigt wurde neben der direkten auch die indirekte Beschäftigung, die mit Hilfe technologiespezifischer Input-Output-Vektoren (nach Ergebnissen von LEHR u.a. [2015]) geschätzt wurde (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 6]). Mit einer abweichen den Methodik wurde jedoch die Beschäftigung durch die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen geschätzt (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 18f]).

Aus den Investitionen wurde mit dem offenen statischen Mengenmodell der Input-Output-Analyse die Bruttoproduktion und mit nach Produktionsbereichen differenzierten jährlichen Arbeitskoeffizienten schließlich die resultierende direkte und indirekte Beschäftigung abgeleitet (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 93]).

Abbildung 29 zeigt die geschätzte direkte und indirekte Beschäftigung durch den laufenden Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in den Jahren 2000 bis 2018. Die Zahl der Beschäftigten durch den laufenden Betrieb ist weitgehend kontinuierlich von 25.300 im Jahr 2000 auf über 155.000 im Jahr 2018 gestiegen. Auch technologiespezifisch hat die Beschäftigung in diesem Zeitraum weitgehend kontinuierlich zugenommen. Dies dürfte mit dem sukzessiven Ausbau der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien zusammenhängen. Mit leichten Schwankungen im Zeitverlauf entfielen allein auf die Biomasse und Biokraftstoffe (einschließlich Biomasse-Kleinanlagen und Bereitstellung biogener Brenn- und Kraftstoffe) rund zwei Drittel der Beschäftigung. Auf die Beschäftigung durch den Betrieb der Windenergie an Land und auf See entfielen zwischen einem Sechstel und einem Viertel der Beschäftigten, zuletzt waren es 26% im Jahr 2018. Die Bedeutung der Beschäftigung aufgrund

des Betriebs der Solarenergie hat im Zeitverlauf deutlich zugenommen, von 2% im Jahr 2000 auf 8% im Jahr 2018.

**Abbildung 29: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und ihren laufenden Betrieb 2000 bis 2018 nach Berechnungen des DLR u.a. (2019)**



Anmerkung: ohne Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen (in den Jahren 2009 bis 2014 zwischen 21.00 und 11.600 Beschäftigte).

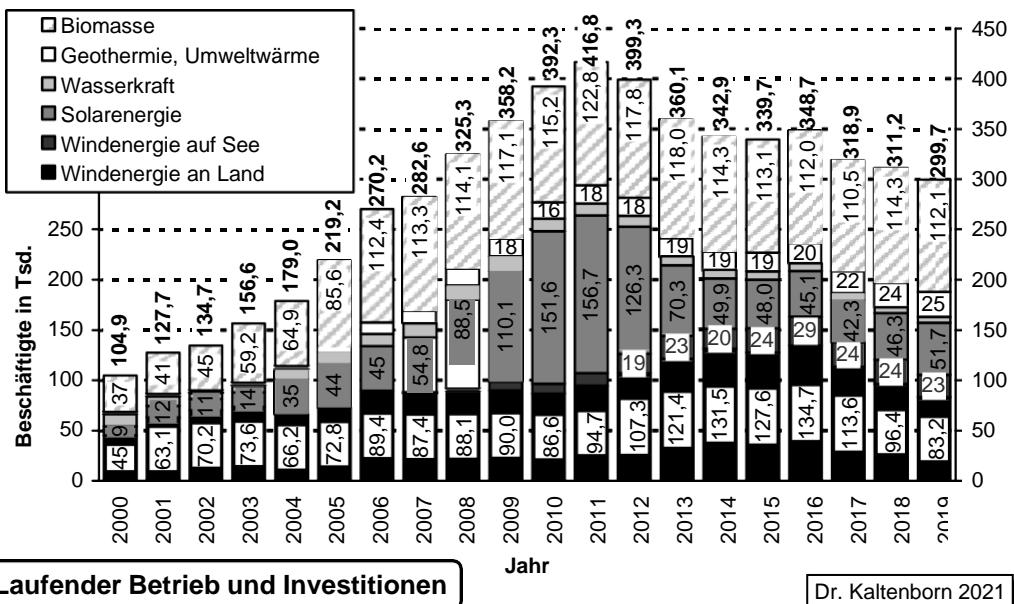
Quelle: O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 136-144], O'SULLIVAN und EDLER [2020, Anhang], eigene Berechnungen.

Deutlich anders ist der Verlauf der direkten und indirekten Beschäftigung aufgrund der Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (vgl. Abbildung 29). Die Zahl der

Beschäftigten stieg zunächst von 80.000 im Jahr 2000 sukzessive auf 304.000 im Jahr 2011, anschließend sank sie um mehr als die Hälfte und betrug zuletzt im Jahr 2018 nur noch 149.000. Der Verlauf ist wesentlich geprägt von der Beschäftigung durch Investitionen in die Solarenergie: Hier nahm die Beschäftigung von 8.000 im Jahr 2000 auf 146.000 im Jahr 2011 zu, um dann auf knapp 30.000 im Jahr 2017 abzunehmen, zuletzt (2018) stieg sie wieder auf gut 33.000. Ihr Anteil an allen Beschäftigten aufgrund von Investitionen in erneuerbare Energien stieg zunächst von 10% im Jahr 2000 auf 50% im Jahr 2010, um dann bis 2016 auf 17% zu sinken, zuletzt (2018) waren es 22%. Ursache für den Einbruch ab dem Jahr 2012 waren die 2011 entstandenen deutlichen globalen Überkapazitäten in der Produktion von Zellen und Modulen für Photovoltaik, wodurch die Preise abrupt fielen (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 97]). Eine große Bedeutung hat außerdem die Windenergie an Land und auf See. Hier stieg die Beschäftigung infolge von Investitionen von 41.000 im Jahr 2000 weitgehend sukzessive auf 128.000 im Jahr 2016, sank allerdings anschließend bis auf 81.000 im Jahr 2018. Die Bedeutung der Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung von Biomasse sank von 26% im Jahr 2000 auf 8% im Jahr 2016, 2018 betrug er 10%. „In grober durchschnittlicher Betrachtung entfallen auf die direkte und die indirekte Beschäftigung jeweils rund 50 Prozent der Gesamtbeschäftigung“ (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 94]).

Zur direkten und indirekten Beschäftigung infolge des laufenden Betriebs erneuerbarer Anlagen und von Investitionen zusammen liegen aktualisierte und rückwirkend geringfügig revisierte Angaben vor (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021]). Die Ergebnisse zeigt Abbildung 30. Die Zahl der Beschäftigten nahm kontinuierlich von 105.000 im Jahr 2000 auf 417.000 im Jahr 2011 zu. Anschließend überwog der Beschäftigungsabbau im Zusammenhang mit den Investitionen den weiteren Zuwachs infolge des Betriebs der Anlagen, so dass die Zahl der Beschäftigten bis 2019 um mehr als ein Viertel auf 300.000 abnahm.

**Abbildung 30: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbare Energien und ihren laufenden Betrieb 2000 bis 2019 nach Angaben des BMWi**



Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021].

Die ähnlichen Ergebnisse zur Beschäftigung durch erneuerbare Energien einer früheren Untersuchung von O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2018] werden in einer Studie der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) für die Jahre 2012 bis 2016 nach Bundesländern differenziert (ULRICH und LEHR [2018]). Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse. Im Vergleich der Bundesländer ist wegen ihrer unterschiedlichen Größe weniger die absolute Zahl der Beschäftigten als vielmehr die Relation zu den Beschäftigten insgesamt von Interesse. 2016 waren im Durchschnitt Deutschlands 8,6 von 1.000 Beschäftigten direkt oder indirekt durch Betrieb oder Aufbau erneuerbarer Energien beschäftigt. Deutlich überdurchschnittliche Anteile gab es insbesondere durch die Nutzung von Windenergie in Norddeutschland, insbesondere in Nordostdeutschland, den höchsten Anteil hatte Sachsen-Anhalt mit 27,1 von 1.000 Beschäftigten. Deutlich unterdurchschnittlich waren hingegen die Anteile in Berlin, im Saarland, in Nordrhein-Westfalen, in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg.

**Tabelle 10: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbare Energien und ihren laufenden Betrieb in den Bundesländern 2012 bis 2016 nach Angaben der GWS (2018)**

Land / Region	2012	2013	2014	2015	2016						
	insg.					Wind-energie	Solar-energie	Wasser-kraft	Geo-thermie	Bio-masse <sup>a</sup>	
	Anzahl					je 1.000 <sup>b</sup>	Anzahl				
SH	15.900	16.180	18.610	18.770	<b>19.010</b>	<b>15,5</b>	12.890	790	40	350	4.940
HH	8.670	9.280	9.310	9.320	<b>10.270</b>	<b>9,3</b>	7.930	550	30	250	1.510
NI	54.630	53.930	54.270	52.780	<b>56.460</b>	<b>15,5</b>	36.600	2.710	200	2.680	14.270
HB	5.550	5.930	5.060	4.990	<b>5.690</b>	<b>14,4</b>	5.330	100	20	60	180
NW	56.740	50.230	46.340	45.000	<b>45.590</b>	<b>5,4</b>	20.570	7.310	670	4.500	12.540
HE	23.180	19.940	17.540	17.320	<b>17.630</b>	<b>5,8</b>	5.590	4.210	260	1.630	5.940
RP	13.320	11.610	10.740	10.030	<b>10.450</b>	<b>5,8</b>	3.950	1.400	260	730	4.110
BW	43.450	37.100	33.540	32.580	<b>32.710</b>	<b>5,9</b>	10.880	6.220	2.330	2.520	10.760
BY	65.350	57.450	52.470	50.810	<b>50.650</b>	<b>7,7</b>	12.920	8.740	2.810	4.910	21.270
SL	2.510	2.420	2.300	2.290	<b>2.310</b>	<b>4,8</b>	1.210	290	120	120	570
BE	6.940	5.450	4.800	4.530	<b>4.550</b>	<b>2,7</b>	2.560	1.280	30	170	510
BB	23.000	18.100	17.530	17.620	<b>18.640</b>	<b>19,3</b>	7.970	2.450	40	550	7.630
MV	14.280	14.710	14.270	14.340	<b>14.870</b>	<b>22,2</b>	8.080	960	20	190	5.620
SN	20.470	16.720	15.120	14.640	<b>15.140</b>	<b>8,3</b>	6.170	3.170	200	870	4.730
ST	26.610	24.660	24.020	24.170	<b>24.850</b>	<b>27,1</b>	14.550	2.320	100	360	7.520
TH	15.200	11.290	9.580	9.410	<b>9.680</b>	<b>10,3</b>	3.000	2.700	170	310	3.500

Land / Region	2012	2013	2014	2015	2016						
	insg.					Wind-energie	Solar-energie	Wasser-kraft	Geo-thermie	Bio-masse <sup>a</sup>	
	Anzahl				je 1.000 <sup>b</sup>	Anzahl					
West	289.300	264.070	250.180	243.890	<b>250.770</b>	<b>7,8</b>	117.870	32.320	6.740	17.750	76.090
Ost	106.500	90.930	85.320	84.710	<b>87.730</b>	<b>12,6</b>	42.330	12.880	560	2.450	29.510
insg.	395.800	355.000	335.500	328.600	<b>338.500</b>	<b>8,6</b>	160.200	45.200	7.300	20.200	105.600

<sup>a</sup> Biomasse und Biokraftstoffe.<sup>b</sup> Je 1.000 Beschäftigte.

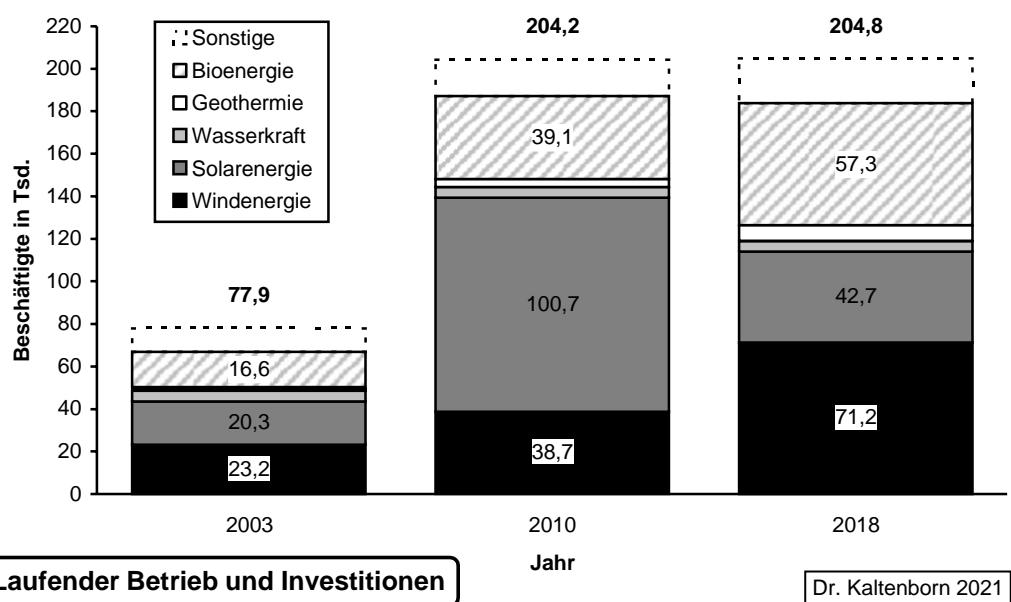
Anmerkung: SH: Schleswig-Holstein; HH: Hamburg; NI: Niedersachsen; HB: Land Bremen; NW: Nordrhein-Westfalen; HE: Hessen; RP: Rheinland-Pfalz; BW: Baden-Württemberg; BY: Bayern; SL: Saarland; BE: Berlin; BB: Brandenburg; MV: Mecklenburg-Vorpommern; SN: Sachsen; ST: Sachsen-Anhalt; TH: Thüringen; West: Westdeutschland ohne Berlin; Ost: Ostdeutschland einschließlich Berlin.

Quelle: ULRICH und LEHR [2018, S. 14, 46-50], eigene Berechnungen.

Eine Studie von **Prognos** schätzt ebenfalls die direkte und indirekte Beschäftigung erneuerbarer Energien einschließlich Beratung und Forschung (HOCH u.a. [2019, S. 6-12]). Die Untersuchung basiert auf dem Umweltwirtschaftsmodell Model for environmental industry, goods and services (envigos) von Prognos. Berücksichtigt werden die direkte und indirekte Beschäftigung durch Bau und Betrieb von Anlagen, durch Vorleistungen für die Herstellung der Anlagen (Komponenten) und die Installation von Anlagen (Bautätigkeit, Projektplanung), nicht jedoch durch unspezifische Vorleistungen (mit unspezifischem Einsatzzweck) sowie Vorleistungen der Vorleistungen (z.B. Rohmaterialien) (HOCH u.a. [2019, S. 6]).

Der Studie zufolge waren 2003 etwa 78.000 Personen durch Bau und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien beschäftigt, in den Jahren 2010 und 2018 waren es jeweils mehr als 204.000 (vgl. Abbildung 31). Im Jahr 2010 entfiel fast die Hälfte davon auf die Solarenergie, 2018 war es nur noch gut ein Fünftel. Im Gegenzug hat sich die Bedeutung der Windenergie für die Beschäftigung deutlich auf 35% erhöht, ebenso ist die Bedeutung der Bioenergie deutlich auf 28% gestiegen.

**Abbildung 31: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbare Energien und ihren laufenden Betrieb 2003, 2010 und 2018 nach Berechnungen von Prognos (2019)**



Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

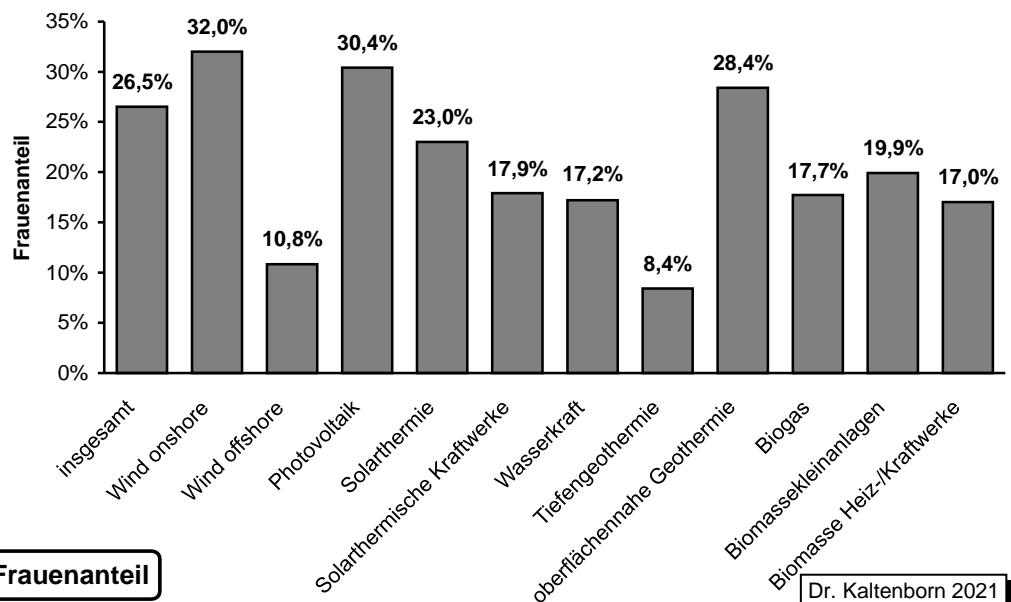
Quelle: HOCH u.a. [2019, S. 10].

Damit ist das von HOCH u.a. [2019] ausgewiesene Niveau der Beschäftigung im Bereich erneuerbarer Energien für die Jahre 2010 und 2018 deutlich geringer als nach Angaben von O'SULLIVAN und EDLER [2020] (vgl. Abbildung 29; vgl. auch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021] und Abbildung 30). Der Unterschied dürfte ganz oder teilweise dadurch bedingt sein, dass HOCH u.a. [2019] anders als O'SULLIVAN und EDLER [2019] unspezifische Vorleistungen sowie Vorleistungen der Vorleistungen nicht berücksichtigen. Die Struktur der Unterschiede im Zeitvergleich sind nach den beiden Studien ähnlich, allerdings

gab es nach den Ergebnissen von HOCH u.a. [2019] anders als nach den Schätzungen von O'SULLIVAN und EDLER [2020] keinen Anstieg bei der Zahl der Beschäftigten im Bereich Biomasse bzw. Bioenergie.

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**), das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**), **Prognos** und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (**ZSW**) schätzen die Zahl der Mitarbeiter/innen bei den Herstellern von Produktionsanlagen für Technik im Zusammenhang mit erneuerbaren Technologien (LEHR u.a. [2015, S. 153-156]). Der Schätzung zufolge waren dort 2013 direkt 10.100 Mitarbeiter/innen beschäftigt, davon 4.300 im Kontext von Biokraftstoffen und 3.700 im Zusammenhang mit Photovoltaik. Dabei haben die Mitarbeiter/innen Produktionsanlagen sowohl für das In- als auch das Ausland gefertigt. Der deutsche Weltmarktanteil der deutschen Hersteller von Produktionsanlagen zur Herstellung von Technik für erneuerbare Energien belief sich seinerzeit auf rund ein Drittel (LEHR u.a. [2015, S. 158]).

**Abbildung 32: Frauenanteil an den Beschäftigten im Bereich erneuerbare Energien 2012 nach Befragungsergebnissen der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: Auswertung von 585 befragten Unternehmen.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 13, 27].

Zudem haben LEHR u.a. [2015, S. 12f, 35] von Mai bis November 2013 eine Befragung von Unternehmen durchgeführt, die im Bereich erneuerbare Energien als Hersteller, Zulieferer oder Händler tätig sind. In die Auswertung wurden 585 Unternehmen einbezogen. In der Unternehmensbefragung wurden auch Angaben zur Beschäftigtenstruktur in der Branche im Jahr 2012 erhoben. Der Befragung zufolge waren 2012 knapp 27% der Beschäftigten im Bereich erneuerbare Energien Frauen (vgl. Abbildung 32), damit lag der Anteil höher als bei früheren Befragungen 2004 (19%) und 2007 (23%). Deutlich geringer war der Frauenanteil 2012 bei der Windenergie auf See (11%) und der Tiefengeothermie (8%). Bei jeweils 70% der befrag-

ten Unternehmen waren Frauen in der Forschung und Entwicklung sowie in der Produktion unterrepräsentiert (LEHR u.a. [2015, S. 24]). In jeweils der Hälfte der befragten Unternehmen waren Frauen im technischen Vertrieb und Service unterrepräsentiert und in der Verwaltung überrepräsentiert. Damit entspricht die Verteilung auf die Tätigkeitsfelder der generellen Verteilung in Unternehmen (LEHR u.a. [2015, S. 25]).

## 4.7 Elektrifizierung und Wasserstoff

Die ludwig bölkow systemtechnik hat die Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von grünem Wasserstoff<sup>27</sup> im Vergleich zu einer verstärkten Elektrifizierung in den Jahren 2030 und 2050 auf die Zahl der benötigten Arbeitskräfte untersucht (MICHALSKI u.a. [2019]).

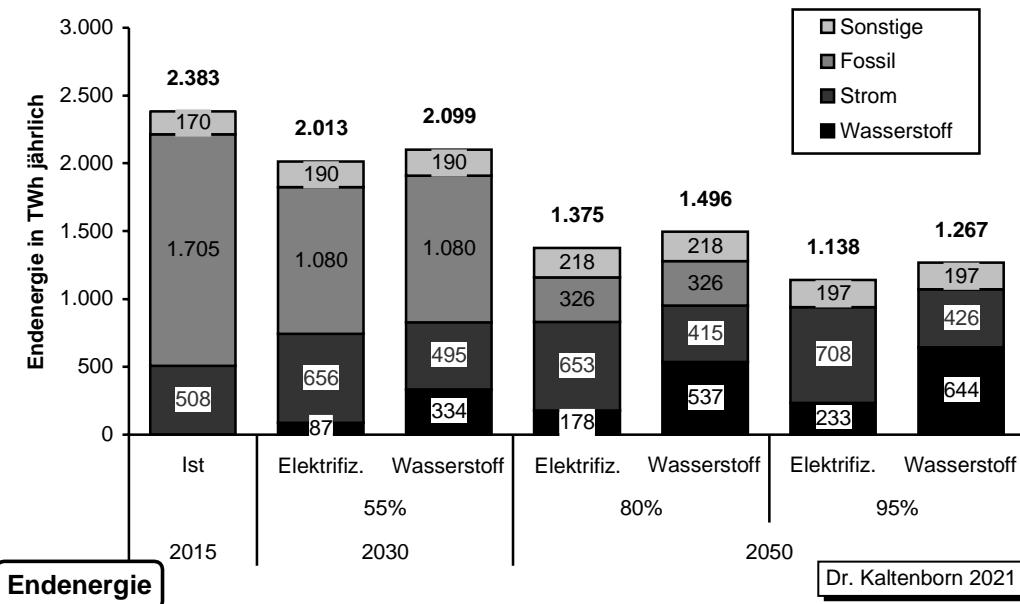
MICHALSKI u.a. [2019, S. 30-59] hat drei Szenarien einer verstärkten Nutzung von grünem (aus erneuerbaren Energien mit Elektrolyse erzeugten) Wasserstoff und jeweils ein Vergleichsszenario einer verstärkten Elektrifizierung konstruiert. Die Ausgestaltung der jeweiligen Szenarien-Paare ist mit Ausnahme der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger jeweils identisch. Mit einem Szenarien-Paar sollen bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 55% gegenüber 1990 gesenkt werden und darüber hinaus auch die Sektorziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2016]; vgl. auch Abschnitt 2.4) erreicht werden (MICHALSKI u.a. [2019, S. 35]). Die übrigen Szenarien beziehen sich auf 2050, mit einem Szenarien-Paar sollen die Treibhausgasemissionen um 80% (80%-Szenarien) und mit dem anderen um 95% (95%-Szenarien) jeweils gegenüber 1990 reduziert werden. Auch hier sind sektorale Ziele vorgegeben, die durch Fortschreibung des Klimaschutzplans 2050 bis 2050 generiert wurden (MICHALSKI u.a. [2019, S. 35]). Den Szenarien liegen zahlreiche Annahmen zur Entwicklung etwa von Bevölkerung, Wirtschaft, Branchen, Verkehr und Energiepreisen zugrunde. Bis 2050 werden alle Kohle- und Ölkarfwerke abgeschaltet, jenseits der 95%-Szenarien werden jedoch fossile Gaskraftwerke betrieben (MICHALSKI u.a. [2019, S. 51]). Für die beiden 95%-Szenarien wird eine höhere Effizienzsteigerung als in den beiden 80%-Szenarien angenommen (MICHALSKI u.a. [2019, S. 34]).

Abbildung 33 zeigt den Endenergiebedarf 2030 und 2050 in den verschiedenen Szenarien. Die dargestellten Unterschiede beim gesamten Endenergiebedarf zwischen 2030 und 2050 sowie zwischen den 80%- und den 95%-Szenarien dürften maßgeblich durch die angenommene Entwicklung zur Energieeffizienz beeinflusst sein. Auch in den Elektrifizierungs-Szenarien gibt es einen relevanten Wasserstoffbedarf. Dies liegt unter anderem daran, dass für bestimmte Industrieprozesse keine elektrische Alternative zur Verfügung steht, so dass hier Wasserstoff eingesetzt werden muss (MICHALSKI u.a. [2019, S. 61]). So wird etwa für die Primärstahlproduktion angenommen, dass sie nach 2030 bis 2050 generell auf die wasserstoffbasierte Direktreduktion umgestellt wird, und zwar in den 80%-Szenarien zur Hälfte, in den 95%-Szenarien vollständig (MICHALSKI u.a. [2019, S. 40]). Zudem wird auch in den Elektrifizierungs-Szenarien eine Nutzung von Wasserstoff im Verkehrs- und Gebäudesektor in begrenztem Umfang unterstellt (MICHALSKI u.a. [2019, S. 61]).

---

<sup>27</sup> In Abschnitt 4.9 wird zudem eine Studie vorgestellt, die sich mit den Exportchancen durch eine globale Nutzung der Wasserstofftechnologie befasst.

**Abbildung 33: Endenergiebedarf 2030 und 2050 bei einer verstärkten Elektrifizierung bzw. Wasserstoffnutzung nach Szenarien der ludwig bölkow systemtechnik (2019)**



Quelle: MICHALSKI u.a. [2019, S. 61].

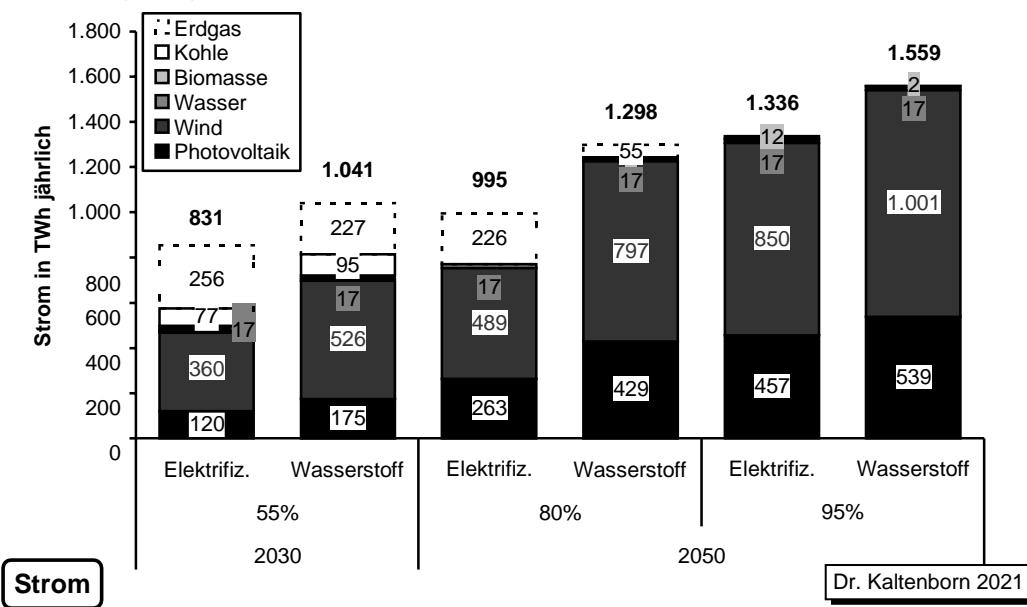
Die Annahmen zur Entwicklung der Preise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle basieren auf dem New Policies Scenario der International Energy Agency [2017, S. 52] (MICHALSKI u.a. [2019, S. 36]), das sich auf reale Importpreise in Dollar (Basisjahr: 2016) bezieht, nur bis 2040 reicht und darüber hinaus bis 2050 offenbar von MICHALSKI u.a. [2019, S. 37] linear fortgeschrieben und in Euro umgerechnet wurde. Danach steigen die realen Rohölpreise (Basisjahr: 2019) bis 2030 auf ca. 54 EUR und bis 2050 auf ca. 73 EUR je MWh, Erdgas verteuert sich bis 2030 real auf ca. 30 EUR und bis 2050 auf ca. 37 EUR je MWh (MICHALSKI u.a. [2019, S. 37]; E-Mail aus dem Autorenteam vom 5. August 2021). Die Preise für Steinkohle bleiben nahezu unverändert bei real ca. 10 EUR je MWh.

Unter Beachtung der vorgegebenen Treibhausgasemissionen in den einzelnen Sektoren wird jeweils eine kostenoptimale Auslegung und Betriebsweise des Energiesystems berechnet (MICHALSKI u.a. [2019, S. 36]). Dabei wird davon ausgegangen, dass der gesamte Strom ebenso wie der Wasserstoff im Inland erzeugt werden (MICHALSKI u.a. [2019, S. 70-78, 114]). In den Elektrifizierungsszenarien wird der geringe Bedarf an Wasserstoff durch Elektrolyse-Anlagen in der Nähe des Verbrauchs realisiert (MICHALSKI u.a. [2019, S. 30f, 51]). In den Wasserstoff-Szenarien hingegen erfolgt die Elektrolyse in der Nähe von Anlagen zur Nutzung erneuerbaren Energien, hier wird der Wasserstoff durch dedizierte Rohrleitungen transportiert (MICHALSKI u.a. [2019, S. 30, 51f]). Aufgrund des höheren Endenergiebedarfs an Strom (vgl. Abbildung 33) und der dezentralen Wasserstofferzeugung werden in den Elektrifizierungs-Szenarien mehr Stromleitungen als in den Wasserstoff-Szenarien benötigt, während ausschließlich in den Wasserstoff-Szenarien Gasleistungen für den Transport von Wasserstoff erforderlich sind (MICHALSKI u.a. [2019, S. 30, 98]).

Abbildung 34 zeigt die Stromeinspeisung aus Photovoltaik, Wind und Wasser sowie die Strombereitstellung durch Kohle, Erdgas und Biomasse in den verschiedenen Szenarien. Der Strom wird auch zur Herstellung von grünem Wasserstoff benötigt, zudem wird berücksichtigt, dass Strom aus erneuerbaren Energien teilweise wegen überlasteter Netze nicht genutzt werden kann (Abregelung). Erkennbar ist vor allem der deutliche Anstieg der Nutzung von Photovoltaik und Wind gegenüber 2015: Je nach Szenario wird 2050 bis zu viereinhalb Mal so viel Strom aus Photovoltaik eingespeist wie 2015, Windkraftwerke speisen fast die dreifache Strommenge ein. Im Paar-Vergleich sind bei den Wasserstoff-Szenarien die Stromkosten und die Wasserstoffkosten jeweils etwas geringer als in den Elektrifizierungs-Szenarien, deutlich geringer sind die Wasserstoffkosten bei einer angestrebten Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% gegenüber 1990 im Wasserstoff-Szenario (ca. 100 EUR je MWh) im Vergleich zum Elektrifizierungs-Szenario (ca. 180 EUR je MWh) (MICHALSKI u.a. [2019, S. 113]). Die Diskrepanzen sind der Studie zufolge dadurch bedingt, dass in den Wasserstoff-Szenarien sowohl mehr Strom als auch mehr Wasserstoff benötigt werden, wobei die niedrigeren Stromkosten auch die Kosten für die Wasserstofferzeugung reduzieren (MICHALSKI u.a. [2019, S. 113f]).

Mit dem 80%-Wasserstoffszenario werden 2050 die Treibhausgasemissionen um 85% gegenüber 1990 reduziert, die übrigen fünf Szenarien erreichen jeweils exakt die vorgegebene Reduktion.

**Abbildung 34: Stromeinspeisung 2030 und 2050 bei einer verstärkten Wasserstoffnutzung nach Szenarien der ludwig bölkow systemtechnik (2019)**



Anmerkung: Stromeinspeisung aus Photovoltaik, Wind und Wasser sowie Strombereitstellung durch Kohle, Erdgas und Biomasse, jedoch ohne Öl (sehr geringfügig) und dem bereits aus Strom erzeugten Wasserstoff (11 bzw. 72 TWh Rückverstromung in den beiden 95%-Szenarien); Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

Quelle: MICHALSKI u.a. [2019, S. 71, 74, 76].

Ausgehend von kostenoptimal konstruierten Energiesystemen für die sechs Szenarien projizieren MICHALSKI u.a. [2019, S. 140-152] die Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung durch den erforderlichen Ausbau erneuerbarer Energien sowie die Produktion, Speicherung und den Transport von Wasserstoff. Die Ermittlung der Wertschöpfung erfolgt anhand der Kosten (ohne Berücksichtigung von Gewinnen) für Errichtung und Betrieb der erforderlichen Anlagen (MICHALSKI u.a. [2019, S. 140]). Anders als die zusätzlich erforderlichen Gasleitungen in den Wasserstoff-Szenarien werden dabei die insbesondere in den Elektrifizierungs-Szenarien zusätzlich erforderlichen Stromleitungen nicht berücksichtigt (E-Mail aus dem Autorenteam von MICHALSKI u.a. [2019] vom 5. August 2021). Auf Basis der Literatur wird abgeschätzt, welcher Anteil der Wertschöpfung jeweils auf das Inland entfällt. Auf Basis branchenspezifischer Beschäftigungsintensitäten werden die Beschäftigungseffekte geschätzt. Dabei basieren die Beschäftigungsintensitäten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf den Input-Output-Rechnungen von O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2018] und enthalten daher neben den direkten Beschäftigungseffekten auch indirekte Beschäftigungseffekte durch den Bezug von Vorleistungen (so auch MERTEN u.a. [2020, S. 110]), ansonsten sind jedoch keine indirekten Beschäftigungseffekte enthalten (E-Mail aus dem Autorenteam von MICHALSKI u.a. [2019] vom 5. August 2021).

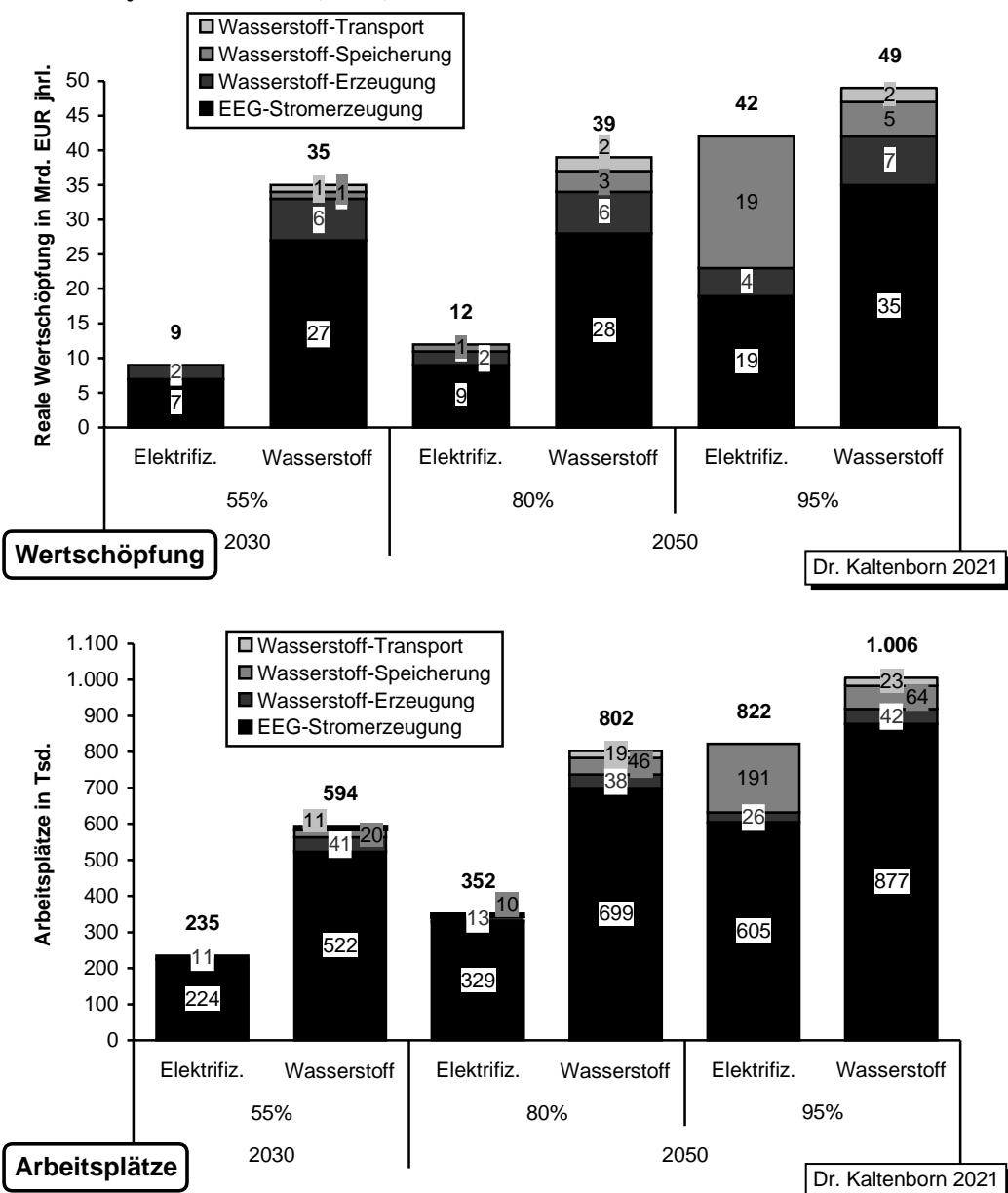
Der Projektion zufolge ist die generierte reale Wertschöpfung in den Wasserstoff-Szenarien jeweils höher als in den jeweiligen Vergleichsszenarien, die auf Elektrifizierung setzen (vgl. Abbildung 35). Dabei resultiert die Wertschöpfung insgesamt ebenso wie die Unterschiede zwischen den Szenarien ganz wesentlich aus der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Im 95%-Elektrifizierungs-Szenario entfallen hierauf 45%, ansonsten zwischen 71% und 78% der generierten Wertschöpfung. Aufgrund erforderlicher Wasserstoffspeicher erreicht das 95%-Elektrifizierungs-Szenario fast die Wertschöpfung des 95%-Wasserstoff-Szenarios. Die im Vergleich zu den 80%-Szenarien erforderlichen zusätzlichen Anstrengungen der 95%-Szenarien führen jeweils auch zu höherer Wertschöpfung.

Die generierten Arbeitsplätze sind näherungsweise proportional zur generierten Wertschöpfung, es sind je nach Szenario 2030 rund 235.000 bzw. 594.000 und 2050 etwa 352.000 bis 1 Mio. (vgl. Abbildung 35). Etwa 30% bis 50% der Arbeitsplätze resultieren aus der Anlegerrichtung und 40% bis 60% aus dem Betrieb der Anlagen, auf Planung und Engineering entfallen hingegen weniger als 10% (MICHALSKI u.a. [2019, S. 148f]).

Generierte Wertschöpfung und Arbeitsplätze berücksichtigen nicht den Rückgang bei der Nutzung konventioneller Energien, insoweit sind es Bruttoeffekte. Bei einem unmittelbaren Vergleich der drei Wasserstoff-Szenarien mit ihrem jeweiligen Elektrifizierungs-Pendant ist folgendes zu beachten:

- › Der insbesondere in den Elektrifizierungs-Szenarien erforderliche Ausbau des Stromnetzes ist nicht berücksichtigt. Dadurch dürften Wertschöpfung und Zahl der Arbeitsplätze insbesondere in den Elektrifizierungs-Szenarien leicht höher und dementsprechend die Diskrepanz zwischen Wasserstoff- und Elektrifizierungs-Szenarien etwas geringer sein.

**Abbildung 35: Reale Wertschöpfung und Arbeitsplätze 2030 und 2050 durch eine verstärkte Wasserstoffnutzung nach Szenarien der ludwig bölkow systemtechnik (2019)**



Anmerkung: EEG-Stromerzeugung: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, ausschließlich diese einschließlich indirekter Beschäftigungseffekte durch Bezug von Vorleistungen; Preisbasis für reale Wertschöpfung: 2019.  
Quelle: MICHALSKI u.a. [2019, S. 148, 150], E-Mail aus dem Autorenteam von MICHALSKI u.a. [2019] vom 5. August 2021.

- › Die Wasserstoff-Szenarien berücksichtigen nicht die Produktion von Anwendungstechnologien wie Fahrzeuge im Straßen- und Schienenverkehr mit Brennstoffzellen oder Heizungstechnologien sowie spezifische Infrastruktur wie Wasserstoftankstellen (MICHALSKI u.a. [2019, S. 152-155]). Dadurch könnten sich zusätzliche Wertschöpfung und Arbeitsplätze in den Wasserstoff-Szenarien, in begrenztem Umfang auch in den Elektrifizierungs-Szenarien ergeben.
- › Die Projektion basiert auf dem gesamtwirtschaftlichen Bedarf an reinem Wasserstoff und berücksichtigt nicht wasserstoffbasierte Energieträger, wodurch sich zusätzliche Wertschöpfung und Arbeitsplätze insbesondere in den Wasserstoff-Szenarien ergeben könnten (MERTEN u.a. [2020, S. 112]).
- › Die Wasserstoff-Szenarien berücksichtigen keine zusätzlichen Chancen für den Export von Wasserstofftechnologie, die sich vermutlich ergäben, wenn diese Technologie im Inland intensiv genutzt und produziert würde (MERTEN u.a. [2020, S. 113]).

Eine Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie (**Wuppertal-Institut**) und der **DIW Econ** sieht die Annahme einer ausschließlich heimischen Produktion des benötigten grünen Wasserstoffs insbesondere wegen des hohen Bedarfs an Strom aus erneuerbaren Energien als sehr ambitioniert an (MERTEN u.a. [2020, S. 112]). Aufbauend auf den beiden Elektrifizierungs-Szenarien für 2030 und für 2050 mit einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80% gegenüber 1990 von MICHALSKI u.a. [2019] gehen MERTEN u.a. [2020, S. 113-116, 130f] davon aus, dass der benötigte Wasserstoff zu unterschiedlichen Anteilen importiert wird. Dabei nehmen sie an, dass die erforderlichen Kapazitäten für Wasserstoffspeicherung und -transport unabhängig vom Importanteil sind, und gehen für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien und von Wasserstoff davon aus, dass die hier auftretenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte proportional zur inländischen Produktion sind (MERTEN u.a. [2020, S. 113]). Dabei sei die Proportionalitätsannahme kritisch zu sehen, weil die Optimierung des gesamten Energiesystems bei MICHALSKI u.a. [2019] für eine vorgegebene Energiemenge simultan erfolgt sei (MERTEN u.a. [2020, S. 114]). Abweichend von MICHALSKI u.a. [2019] gehen MERTEN u.a. [2020, S. 114] für 2030 von einem Wasserstoffbedarf von 90 bis 110 TWh und für 2050 von 200 bis 450 TWh aus. Für 2030 resultiert für eine vollständig inländische Produktion ein Beschäftigungseffekt von 218.000 (90 TWh) bis 300.000 (110 TWh) und für 2050 von 402.000 (200 TWh) bis 905.000 (450 TWh) (MERTEN u.a. [2020, S. 131]). Sofern Wasserstoff importiert wird, reduzieren sich die Beschäftigungseffekte entsprechend der Annahmen weitgehend proportional zur Importquote.

## 4.8 Energieeffizienz

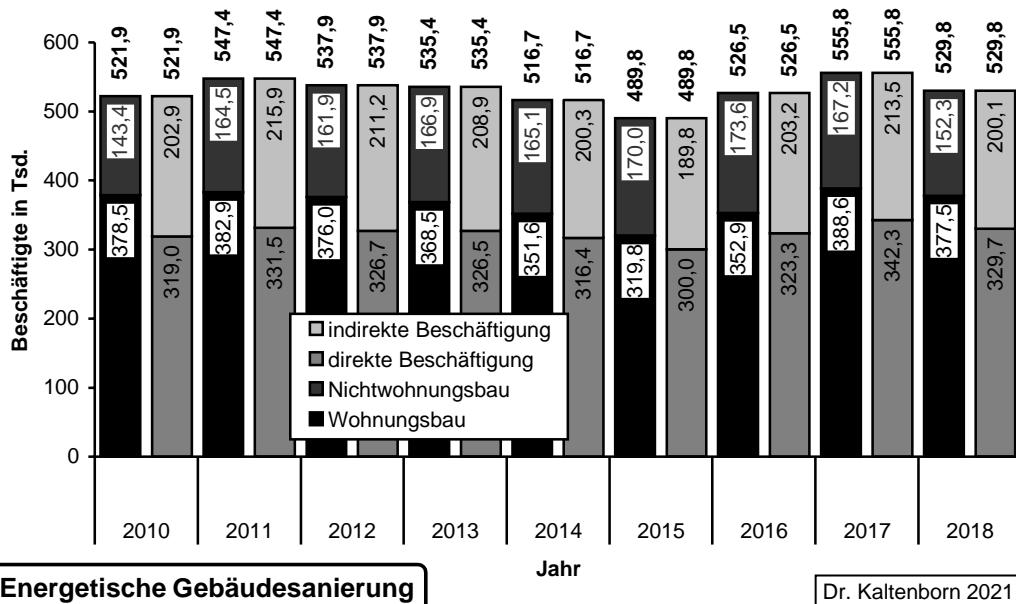
Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**) und das Center für Wirtschaftspolitische Studien (**CWS**) des Instituts für Wirtschaftspolitik der Leibniz Universität Hannover befassen sich mit Umsatz und direkter Beschäftigung durch verschiedene Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von 2015 bis 2018 (BLAZEJCZAK u.a. [2021]). BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 24f] weisen darauf hin, dass es Lücken bei der Erfassung der ökonomischen Bedeutung der Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz gibt. Daher sind die im Folgenden berichteten Ergebnisse unvollständig. BLAZEJCZAK u.a. [2021] schätzen die direkte und indirekte Beschäftigung, die aus Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (a) im Gebäudebestand und (b) im Produzierenden Gewerbe (ohne Baugewerbe) resultiert sowie (c)

die direkte Beschäftigung durch Dienstleistungen zugunsten einer verbesserten Energieeffizienz.

Für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebestand und im Produzierenden Gewerbe (ohne Baugewerbe) erfolgt die Schätzung der direkten und indirekten Beschäftigung anhand des jeweils maßgeblichen inländischen Investitionsvolumens mit dem offenen statischen Mengenmodell der Input-Output-Analyse. Dabei wird auch berücksichtigt, dass ein Teil der Investitionsnachfrage unmittelbar durch Importe gedeckt wird.

Einer Schätzung von BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 29f] zufolge entfiel von 2010 bis 2018 jeweils rund ein Viertel des Investitionsvolumens im Gebäudebestand (Wohnungs- und Nichtwohnungsbau) auf energetische Sanierungsmaßnahmen (Wärmedämmung, Austausch von Fenstern und Außentüren, Erneuerung der Heizung). Für die energetische Sanierung wurden demnach im genannten Zeitraum zwischen 43,0 Mrd. EUR und 53,3 Mrd. EUR jährlich aufgewendet, zuletzt (2018) 51,4 Mrd. EUR (BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 30]). Die im Inland wirksame Nachfrage ist jeweils geringfügig geringer (BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 32]).<sup>28</sup> Getrennt für den Wohnungs- und den Nichtwohnungsbau wird daraus die resultierende direkte und indirekte Zahl an Beschäftigten abgeleitet. In den Jahren von 2010 bis 2018 schwankte sie zwischen 489.800 (2015) und 555.800 (2017) (vgl. Abbildung 36). Zuletzt (2018) belief sie sich auf 529.800, davon entfielen 71% auf den Wohnungs- und 29% auf den Nichtwohnungsbau, 62% auf die direkte und 38% auf die indirekte Beschäftigung.

**Abbildung 36: Direkte und indirekte Beschäftigung durch energetische Sanierung des Gebäudebestandes nach Berechnungen des DIW u.a. (2021)**



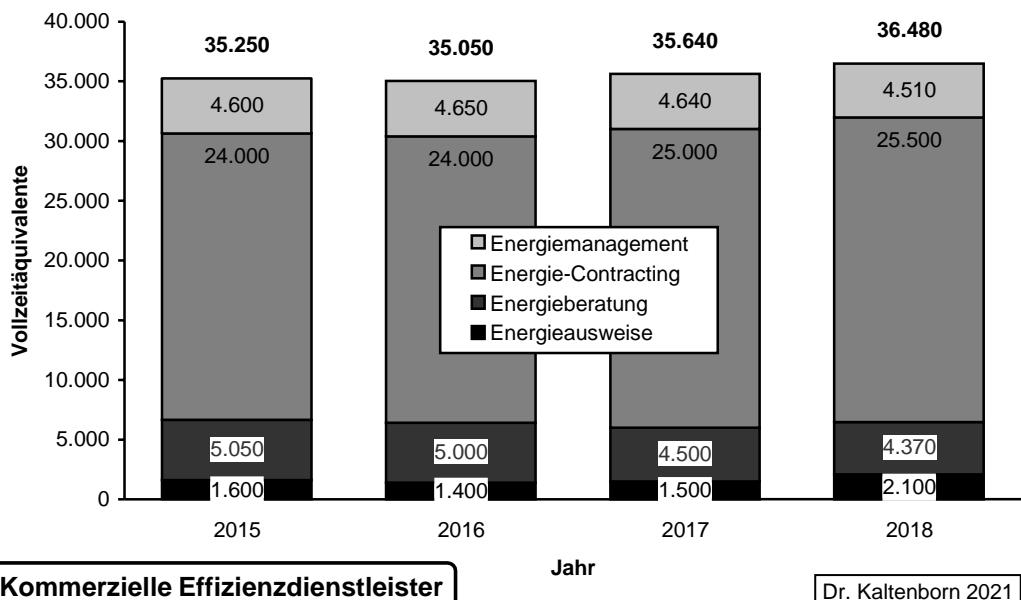
Quelle: BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 34f].

<sup>28</sup> Dies bezieht sich auf einen Vergleich von Investitionen und im Inland wirksamer Nachfrage jeweils zu Herstellungskosten. Die Herstellungskosten der Investitionen sind jeweils um rund ein Fünftel geringer als das Investitionsvolumen.

Die Investitionen des Produzierenden Gewerbes (ohne Baugewerbe) in Energieeffizienz zu Herstellungskosten sind BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 38] zufolge von 2006 bis 2010 kontinuierlich von 0,135 Mrd. EUR auf 0,974 Mrd. EUR gestiegen, im weiteren Verlauf bis 2017 schwankte der Betrag zwischen 0,647 Mrd. EUR (2011) und 1,025 Mrd. EUR (2016), zuletzt (2017) waren es 0,972 Mrd. EUR. Die im Inland wirksame Nachfrage war nach Schätzung von BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 38] jeweils etwas geringer. Die dafür erforderliche direkte und indirekte Zahl an Beschäftigten stieg von 1.400 im Jahr 2006 kontinuierlich auf über 6.000 in den Jahren 2009 bis 2011, zwischen 2012 und 2017 betrug sie zwischen 7.800 (2014) und 9.100 (2016), zuletzt (2017) waren es 8.400 (BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 39]).

Für kommerzielle Energieeffizienzdienstleistungen greifen BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 65-70] auf Marktanalysen der Bundesstelle für Energieeffizienz zurück.<sup>29</sup> Ausgehend von der Zahl der ausgestellten Energieverbrauchs- und -bedarfsausweise für Gebäude und den Umsätzen mit Energieberatung, Energie-Contracting und Energiemanagement wird die Zahl der damit jeweils direkt Beschäftigten in Vollzeitäquivalenten geschätzt. Der Schätzung zufolge waren in den Jahren 2015 bis 2018 mit kommerziellen Energieeffizienzdienstleistungen insgesamt zwischen 35.300 und 36.500 Vollzeitäquivalente beschäftigt (vgl. Abbildung 37). Davon entfielen jeweils zwischen 68% und 70% auf das Energie-Contracting.

**Abbildung 37: Beschäftigung in Vollzeitäquivalenten durch kommerzielle Energieeffizienzdienstleistungen nach Berechnungen des DIW u.a. (2021)**



Quelle: BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 75].

Auf Basis unterschiedlicher Datengrundlagen schätzen BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 70-74] zudem überschlägig die Beschäftigten, die mit nicht-kommerziellen Energieeffizienzdienstleistungen befasst sind. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 11.

<sup>29</sup> Die Marktanalysen werden jährlich durchgeführt, zuletzt SEEFELDT u.a. [2021].

**Tabelle 11: Beschäftigung durch Energieeffizienzdienstleistungen außerhalb kommerzieller Bereiche nach Berechnungen des DIW u.a. (2021)**

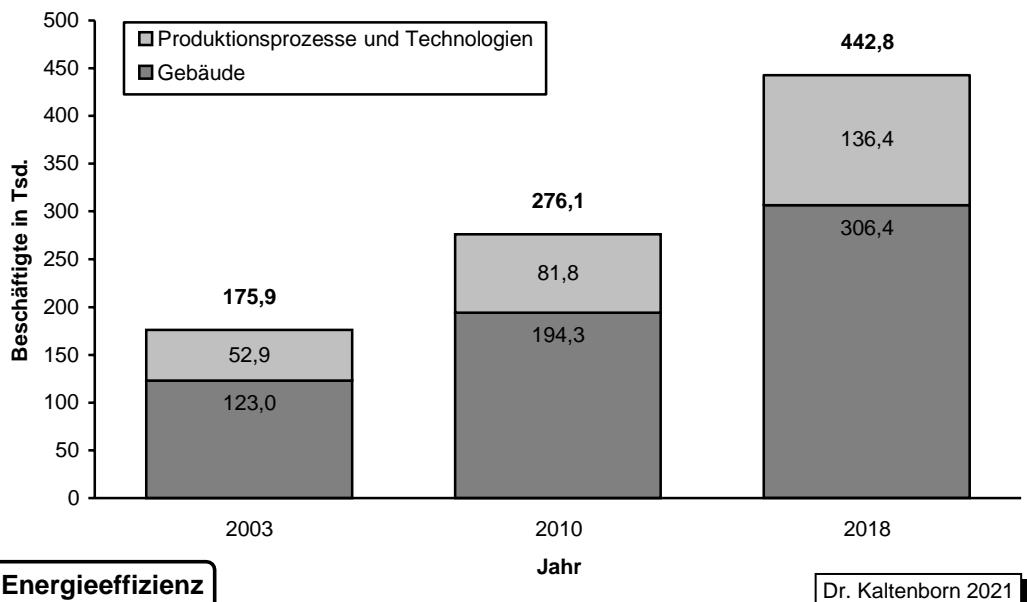
Art der Dienstleistung	Wirtschaftssektoren	Beschäftigung
Unentgeltliche Energieeffizienzdienstleistungen	Öffentliche Verwaltung	Einige Tausend
	Energieagenturen	Einige Hundert bis Eintausend
	Verbände	Einige Tausend
Förderprogramm Stromsparcheck	Arbeitsmarktpolitische Maßnahme	Rund Eintausend
Beratung, Bildung, Finanzdienstleistungen, Forschung	Erziehungs- und Unterrichtswesen, Finanz- und Versicherungsdienstleistungen, Forschung und Entwicklung	Zehn- bis Fünfundzwanzigtausend
Interne Energieeffizienzdienstleistungen	Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe	Knapp Zwei- bis gut Dreitausend

Quelle: BLAZEJCZAK u.a. [2021, S. 77].

Eine Studie von **Prognos** befasst sich ebenfalls mit den direkten und indirekten Beschäftigungseffekten von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Gebäudesektor und in Produktionsprozessen (HOCH u.a. [2019, S. 6-12]). Die Untersuchung basiert auf dem Umweltwirtschaftsmodell Model for environmental industry, goods and services (envigos) von Prognos. Im Zusammenhang mit Beschäftigungseffekten von erneuerbaren Energien weisen HOCH u.a. [2019, S. 6] darauf hin, dass bei der Schätzung der direkten und indirekten Beschäftigung Bau und Betrieb von Anlagen berücksichtigt werden, ebenso Vorleistungen für die Herstellung der Anlagen (Komponenten) und die Installation von Anlagen (Bautätigkeit, Projektplanung), nicht jedoch unspezifische Vorleistungen (mit unspezifischem Einsatzzweck) sowie Vorleistungen der Vorleistungen (z.B. Rohmaterialien). **Vermutlich** gilt dies analog auch für die hier betrachtete Energieeffizienz.

Der Studie zufolge ist die Zahl der direkt und indirekt Beschäftigten durch Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Gebäudesektor (Bau- und Installationsleistungen, Dämmstoffe und Gebäudetechnik) von 123.000 im Jahr 2003 über 194.300 im Jahr 2010 auf 306.400 im Jahr 2018 gestiegen (vgl. Abbildung 38). Durch energieeffizientere Produktionsprozesse und Technologien (Abwärmennutzung, Druckluft- und Pumpsysteme, Installations- und Beratungsleistungen, Prozessleit- sowie Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik resultieren der Studie zufolge stieg die Zahl der direkt und indirekt Beschäftigten von 52.900 im Jahr 2003 auf 136.400 im Jahr 2018.

**Abbildung 38: Direkte und indirekte Beschäftigung durch Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie von Produktionsprozessen und Technologien 2003, 2010 und 2018 nach Berechnungen von Prognos (2019)**



Quelle: HOCH u.a. [2019, S. 11], eigene Berechnungen.

HOCH u.a. [2019] kommen für die Verbesserung der Energieeffizienz im Gebäudesektor für 2010 und 2018 zu wesentlich geringeren Beschäftigungseffekten als BLAZEJCZAK u.a. [2021], zudem sind sie nicht weitgehend konstant, sondern weisen einen starken Anstieg auf (vgl. Abbildung 36 und 38). Eine gewisse Diskrepanz im Niveau dürfte sich daraus ergeben, dass HOCH u.a. [2019] die indirekten Beschäftigungseffekte *wohl* nur teilweise, während BLAZEJCZAK u.a. [2021] sie vollständig berücksichtigen. Allerdings sind selbst die von BLAZEJCZAK u.a. [2021] ermittelten direkten Beschäftigungseffekte größer als die von HOCH u.a. [2019] ausgewiesenen direkten und indirekten Beschäftigungseffekte zusammen.

Umgekehrt sind die HOCH u.a. [2019] geschätzten Beschäftigungseffekte durch energieeffiziente Produktionsprozesse und Technologien (vgl. Abbildung 38) deutlich höher als die von BLAZEJCZAK u.a. [2021] ausgewiesenen Beschäftigungseffekte durch energieeffiziente Produktionsprozesse (vgl. oben). Eine wesentliche Ursache für diese Diskrepanz dürfte in der weiteren Abgrenzung der von HOCH u.a. [2019] einbezogenen Maßnahmen liegen.

## 4.9 Nationale und globale Investitionen in Klimaschutz

BLAZEJCZAK und EDLER [2021] projizieren den (Brutto-) Arbeitskräftebedarf bis 2045, der aus dem Investitionsbedarf für das 95%-Zielszenario von GERBERT u.a. [2018] resultiert (vgl. Abschnitt 5.8).<sup>30</sup> Für die mit Zielszenario angestrebte kostenoptimale Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% gegenüber 1990 sind nach GERBERT u.a. [2018, S. 32, 87] im Zeitraum von 2015 bis 2050 Investitionen von insgesamt 2.300 Mrd. EUR (real in

<sup>30</sup> Eine weitere Studie, die sich mit den

Preisen von 2015) erforderlich (vgl. Tabelle 26 in Abschnitt 5.8). Darin enthalten sind auch 530 Mrd. EUR, die bereits im Referenzszenario für nicht-wirtschaftliche Klimaschutzmaßnahmen angenommen sind (GERBERT u.a. [2018, S. 32]). Angaben zur genauen zeitlichen Verteilung der erforderlichen Investitionen machen GERBERT u.a. [2018] nicht, im Durchschnitt der Jahre 2015 bis 2050 ergeben sich 63,9 Mrd. EUR jährlich. BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 6f, 35] gehen demgegenüber von einem kumulierten Investitionsbedarf von 2.150 Mrd. EUR (real in Preisen von 2015) und einem Durchschnittswert von 70 Mrd. EUR jährlich aus. Sie nehmen an, dass der Schwerpunkt des Investitionsbedarfs zwischen 2025 und 2040 liegt, bis 2035 auf 121 Mrd. EUR ansteigt und anschließend bis 2050 auf 14 Mrd. EUR zurückgeht (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 37f]) (vgl. Tabelle 12).

Der aus dem Investitionsbedarf resultierende (inländische) Arbeitskräftebedarf wird mit einer offenen statischen Input-Output-Analyse auf Basis einer Input-Output-Tabelle für 2017 differenziert nach 72 Produktionsbereichen projiziert (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 39f, 46]). Dadurch wird neben der direkten Beschäftigung auch die indirekte Beschäftigung berücksichtigt, die aus dem Bezug von Vorleistungen resultiert. Differenziert nach 33 Einzelmaßnahmen wird berücksichtigt, dass ein Anteil zwischen 4% und 60% der Investitionsgüter unmittelbar durch Importe gedeckt wird (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 41]). 2035 werden im Durchschnitt 23% der benötigten Investitionsgüter unmittelbar importiert, im Verkehrssektor ist der Anteil mit 38,6% deutlich höher (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 42f]). Die im Inland wirksame Investitionsgüternachfrage beläuft sich im Jahr 2035 dementsprechend auf 93 Mrd. EUR (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 44]). Mit 26,0% entfällt über ein Viertel dieser Nachfrage auf den Maschinenbau, 20,9% entfallen auf das Ausbaugewerbe, 14,7% auf elektrische Ausrüstungen und 11,6% auf Kraftwagen und Kraftwagenteile (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 47]).

Für die Projektion des Arbeitskräftebedarfs wird von einer jährlichen Steigerung der Arbeitsproduktivität von durchschnittlich 1% jährlich ausgegangen. Der direkte und indirekte Arbeitskräftebedarf ist der Projektion zufolge 2035 mit 767.000 am höchsten (vgl. Tabelle 12). Im Jahr 2035 entfallen jeweils rund die Hälfte auf den direkten und den indirekten Arbeitskräftebedarf (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 57]). Für 2035 wird der Arbeitskräftebedarf zudem differenziert nach ausgewählten der 72 Produktionsbereiche, vier Anforderungsniveaus und ausgewählten Berufsgruppen. Im Jahr 2035 benötigt allein das Ausbaugewerbe 203.100 Arbeitskräfte, auf den Maschinenbau entfallen 84.100 und auf elektrische Ausrüstungen 53.900 (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 51]). Vom Arbeitskräftebedarf im Jahr 2035 entfallen auf Helfer 19%, auf Fachkräfte 58%, auf Spezialistinnen und Spezialisten 13% und auf Expertinnen und Experten 10% (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 54]). Allein ein Drittel des Arbeitskräftebedarfs im Jahr 2035 entfällt auf fünf Berufsgruppen, nämlich Büro- und Sekretariatstätigkeiten (7,9%), Berufe der Maschinenbau- und Betriebstechnik (7,5%), Hochbauberufe (6,7%), Unternehmensorganisation und -strategie (5,7%) und Lagerwirtschaft, Post und Zustellung, Güterumschlag (5,4%) (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 55f]).

Zudem befassen sich BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 59f] mit möglichen Fachkraftengässen. Der Studie zufolge hat die Bundesagentur für Arbeit für 2019 bei 52 der insgesamt 700 Berufsuntergruppen einen Mangel an Fachkräften, bei 27 Berufsuntergruppen einen Mangel an Spezialistinnen und Spezialisten und bei 12 Berufsuntergruppen einen Mangel an Experten.

tinnen und Experten festgestellt. In der Analyse von Berufsgruppen betrachten BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 60] solche als Engpassberufe, in denen in mindestens einer Berufsuntergruppe im Jahr 2019 ein Engpass bestand. Danach entfallen von den im Jahr 2035 benötigten 767.200 Arbeitskräften 306.800 bzw. 40% auf Engpassberufe (BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 60]). Davon wiederum sind 81% Fachkräfte, 11% Spezialistinnen und Spezialisten und 8% Expertinnen und Experten. Darüber hinaus vergleichen BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 63-66] ihren für 2040 projizierten Arbeitskräftebedarf mit den ebenfalls für 2040 projizierten Berufsgruppen mit einem Engpass von MAIER u.a. [2020] (vgl. Abschnitt 2.3). Danach entfallen 2040 von den 445.100 benötigten Arbeitskräften rund 78.000 auf Engpassberufe. Die deutliche Diskrepanz zwischen den Anteilen der benötigten Arbeitskräfte in Engpassberufen für 2035 und 2040 dürfte auch daran liegen, dass 2035 anders als 2040 bereits dann für eine Berufsgruppe ein Engpass angenommen wird, wenn er für eine Berufsuntergruppe besteht.

**Tabelle 12: Zentrale Ergebnisse zum Arbeitskräftebedarf durch Investitionen in den Klimaschutz in Deutschland nach Berechnungen von BLAZEJCZAK und EDLER [2021]**

2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investitionsbedarf in Mrd. EUR (real in Preisen von 2015)					
57	72	121	79	47	14
Arbeitskräftebedarf (direkt und indirekt)					
k.A.	439.100	767.200	445.100	246.300	k.A.

Anmerkung: Es sind weder der reduzierte Arbeitskräftebedarf infolge geringerer Investitionen in klimaschädliche Aktivitäten noch eine Verdrängung anderer Investitionen berücksichtigt.

Quelle: BLAZEJCZAK und EDLER [2021, S. 17, 38, 49].

**Frontier Economics** und das Institut der deutschen Wirtschaft Köln (IW) haben die Auswirkungen erhöhter Exporte von Anlagen im Fall einer globalen Nutzung der Wasserstofftechnologie bis 2050 untersucht (PERNER u.a. [2018]). Zunächst projizieren sie den globalen Investitionsbedarf für Anlagen zur Elektrolyse, Umwandlungsanlagen und Anlagen zur Kohlendioxidabscheidung bis 2050 in drei Varianten. Da sie lediglich für die mittlere Variante Beschäftigungseffekte projizieren, wird hier lediglich auf diese eingegangen. PERNER u.a. [2018, S. 34f] gehen für 2050 davon aus, dass global 20.000 TWh synthetische Kraftstoffe erzeugt werden. Dies erfordere Elektrolyseanlagen mit einer Kapazität von 6.000 GW und Umwandlungsanlagen mit einer Kapazität von 2.000 GW. Zudem würden Anlagen zur Kohlendioxidabscheidung aus der Luft mit einer Kapazität von 3 bis 4 Mrd. Tonnen Kohlendioxid benötigt. Insgesamt resultiere daraus ein globaler Investitionsbedarf von durchschnittlich 215 Mrd. EUR jährlich, davon 157 Mrd. EUR für Elektrolyseanlagen (73%), 42 Mrd. EUR für Umwandlungsanlagen (20%) und 16 Mrd. EUR (7%) für Abscheideanlagen (PERNER u.a. [2018, S. 36f]). Hinzu kämen noch 450 bis 500 Mrd. EUR jährlich an Investitionen für den Ausbau erneuerbarer Energien, die allerdings im Weiteren nicht berücksichtigt werden (PERNER u.a. [2018, S. 36]).

Der Studie zufolge war Deutschland 2016 der weltweit größte Exporteur von Elektrolyseanlagen und hatte einen Weltmarktanteil von 19,0% (PERNER u.a. [2018, S. 38]). Der Anteil habe im Zeitablauf geschwankt, jedoch auch 2000 bereits 19,7% betragen. Da Umwandlungs- und Abscheideanlagen in der Außenhandelsstatistik nicht separat erfasst werden, greift die Studie hierfür auf den Export von Investitionsgütern des Anlagenbaus zurück, hier habe Deutschland einen Weltmarktanteil von 16% (PERNER u.a. [2018, S. 38f]). Auch hier gebe es leichte Schwankungen im Zeitablauf, 2000 habe der Anteil 17,4% betragen. Mit „Weltmarktanteil“ wird üblicherweise der Anteil eines Landes am weltweiten Exportvolumen aller Länder bezeichnet. Unberücksichtigt bleiben somit Produkte, die im gleichen Land hergestellt und verwendet werden.

Unter der Annahme konstanter Weltmarktanteile Deutschlands projiziert die Studie die zu erwartenden Exporte von Elektrolyseanlagen mit durchschnittlich 29,8 Mrd. EUR jährlich und für Umwandlungs- und Abscheideanlagen mit durchschnittlich 9,3 Mrd. EUR jährlich bis 2050, zusammen ergeben sich 39,1 Mrd. EUR (PERNER u.a. [2018, S. 41]). Dabei gehen PERNER u.a. [2018, S. 39] davon aus, dass das jährliche Investitionsvolumen und damit die deutschen Exporte erheblich schwanken werden. Bei der Projektion der deutschen Exporte geht die Studie offenbar implizit davon aus, dass weltweit alle Länder ihren Investitionsbedarf durch Importe betriebsbereiter Anlagen (einschließlich Planung, Genehmigungsverfahren und Montage) decken.<sup>31</sup> Dies erscheint unrealistisch.

Auf Basis einer Input-Output-Analyse projizieren PERNER u.a. [2018, S. 42f] die direkten, indirekten und induzierten gesamtwirtschaftlichen Effekte der erhöhten Exporte. Dabei gehen sie davon aus, dass sich die seinerzeitigen „Marktverhältnisse“ künftig nicht verändern (PERNER u.a. [2018, S. 42]), sie gehen also offenbar von unveränderten Vorleistungsstrukturen aus.

Der Projektion zufolge erhöht sich das Bruttoinlandsprodukt um 1,1% (PERNER u.a. [2018, S. 42]) durch die zusätzliche Wertschöpfung bis 2050 um durchschnittlich 36,4 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 39). Davon entfallen direkt auf die betreffenden Anlagenhersteller 15,4 Mrd. EUR jährlich, durch deren Bezug von Vorleistungen wird eine weitere indirekte Wertschöpfung von 16,3 Mrd. EUR jährlich generiert. Durch die aus der Produktion zusätzlich generierten Einkommen resultiert zusätzliche Nachfrage, die zu weiterer 4,7 Mrd. EUR jährlich induzierter Wertschöpfung führt. Wie auch beim projizierten zusätzlichen Exportvolumen entfallen auch von der zusätzlichen Wertschöpfung rund drei Viertel auf die Elektrolyseanlagen.

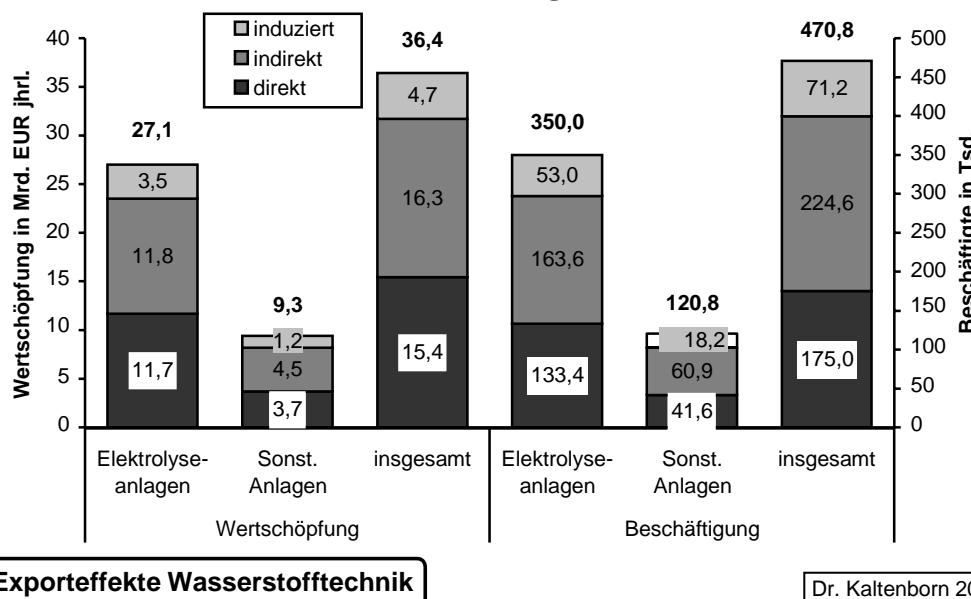
Auf Basis der zusätzlichen Wertschöpfung wird auch die zusätzliche direkte, indirekte und induzierte Beschäftigung projiziert (vgl. Abbildung 39). Sie beläuft sich der Projektion zufolge auf insgesamt 471.000 Beschäftigte, davon 175.000 direkt bei den Herstellern der Anlagen,

---

<sup>31</sup> Der zugrunde liegende Weltmarktanteil Deutschlands bezieht sich lediglich auf das weltweite Exportvolumen. Investitionsbedarf, der nicht durch Importe gedeckt wird, sondern durch eigene Leistung erbracht wird, darf bei der Projektion der deutschen Exporte anhand des Weltmarktanteils daher nicht berücksichtigt werden.

225.000 durch den Bezug von Vorleistungen und 71.000 induziert durch Einkommenseffekte. Wiederum wird rund drei Viertel der zusätzlichen Beschäftigung durch die zusätzlichen Exporte von Elektrolyseanlagen verursacht.

**Abbildung 39: Wertschöpfung und Beschäftigung durch Exporte von Wasserstofftechnik bis 2050 nach Berechnungen von Frontier Economics u.a. (2018)**



Anmerkung: Jährliche Durchschnittswerte bis 2050, ggf. erhebliche Schwankungen im Zeitverlauf; Sonst. Anlage: Umwandlungs- und Abscheideanlagen.

Quelle: PERNER u.a. [2018, S. 43].

#### 4.10 Energiewirtschaft insgesamt

In einer Studie von **Prognos** werden Bruttowertschöpfung und die Zahl der Erwerbstätigen der Querschnittsbranche „Energiewirtschaft“ geschätzt (BÖHMER u.a. [2015]). Hierzu wird für die 88 Wirtschaftsabteilungen der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) wird jeweils der Anteil an der Bruttowertschöpfung und der Erwerbstätigkeit geschätzt, der auf die Energiewirtschaft entfällt (BÖHMER u.a. [2015, S. 57f]). Der Studie zufolge entfielen 2,9% bzw. 68 Mrd. EUR der Bruttowertschöpfung im Jahr 2011 auf die Energiewirtschaft (BÖHMER u.a. [2015, S. 50]). Zudem gab es in der Energiewirtschaft seinerzeit 537.000 Erwerbstätige, davon mit 253.000 knapp die Hälfte im Wirtschaftszweig „Energieversorgung“ (BÖHMER u.a. [2015, S. 53f]). 19% der Erwerbstätigen in der Energiewirtschaft waren im Bereich erneuerbarer Energien tätig, 26% im Bereich konventioneller Energien und bei 55% war eine eindeutige Zuordnung nicht möglich (BÖHMER u.a. [2015, S. 53f]).

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) geben einen Überblick über die Entwicklung von Niveau und Struktur der Beschäftigung in der

Energiewirtschaft von 2000 bis 2017 (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019]).<sup>32</sup> Aus den Ergebnissen dieser Studie ist die Beschäftigung in Abbildung 40 wie folgt berücksichtigt:

- › Laufender Betrieb (einschließlich Wartung, Speicherung, Verteilung und Handel):
  - Energiesektor (ohne erneuerbare Energien): direkte und indirekte Beschäftigung durch den Braunkohlenbergbau (einschließlich Braunkohlenveredlung) (vgl. Abschnitte 4.2 und 4.3) sowie die direkte Beschäftigung<sup>33</sup> durch die Gewinnung von Erdöl und Erdgas, die Mineralölverarbeitung, die Gasversorgung und die Elektrizitäts- und FernwärmeverSORGUNG;
  - Erneuerbare Energien (ohne Biomasse / -kraftstoffe) (vgl. Abschnitt 4.6): direkte und indirekte Beschäftigung durch Wind- und Solarenergie, Wasserkraft, Geothermie und Umweltwärme, jedoch ohne Biomasse und Biokraftstoffe;
  - Biomasse und Biokraftstoffe (vgl. Abschnitt 4.6): Biomasse und Biokraftstoffe einschließlich Biomasse-Kleinanlagen und Bereitstellung biogener Brenn- und Kraftstoffe;
- › Investitionen:
  - Konventionelle Stromerzeugung: direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus Braunkohle (vgl. Abschnitte 4.2 und 4.3), Erd- und Grubengas, Mineralölprodukte und Abfall;
  - Erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugung (vgl. Abschnitt 4.6): direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Wind- und Solarenergie, Wasserkraft, Geothermie und Umweltwärme sowie Biomasse;
  - Energiespeicher: direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Energiespeicher;
  - Netze: direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in Strom- und Wärmenetze, Gasnetze, Ölpipelines sowie Tankstellen und Tanklastwagen;
  - Kohlenbergbau (vgl. Abschnitte 4.2 und 4.3): direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in den Braunkohlenbergbau.

Nur für einzelne Jahre liegen Angaben zur direkten und indirekten Beschäftigung durch den Betrieb von Tankstellen (zuletzt für 2014: 8.200 Beschäftigte) sowie durch Investitionen in die Gewinnung von Erdöl- und Erdgas (zuletzt für 2017: 1.400 Beschäftigte), in Kokerei und Mineralölverarbeitung (zuletzt für 2017: 8.600 Beschäftigte) und in die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen (zuletzt für 2009: 7.100 Beschäftigte) vor (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 136-144]). Angaben zur indirekten Beschäftigung durch die Gewinnung von Erdöl und Erdgas, die Mineralölverarbeitung, die Gasversorgung und die Elektrizitäts- und FernwärmeverSORGUNG sowie zur Beschäftigung insgesamt durch Investitionen in die konventionelle Wärmeerzeugung sind nicht vorhanden.

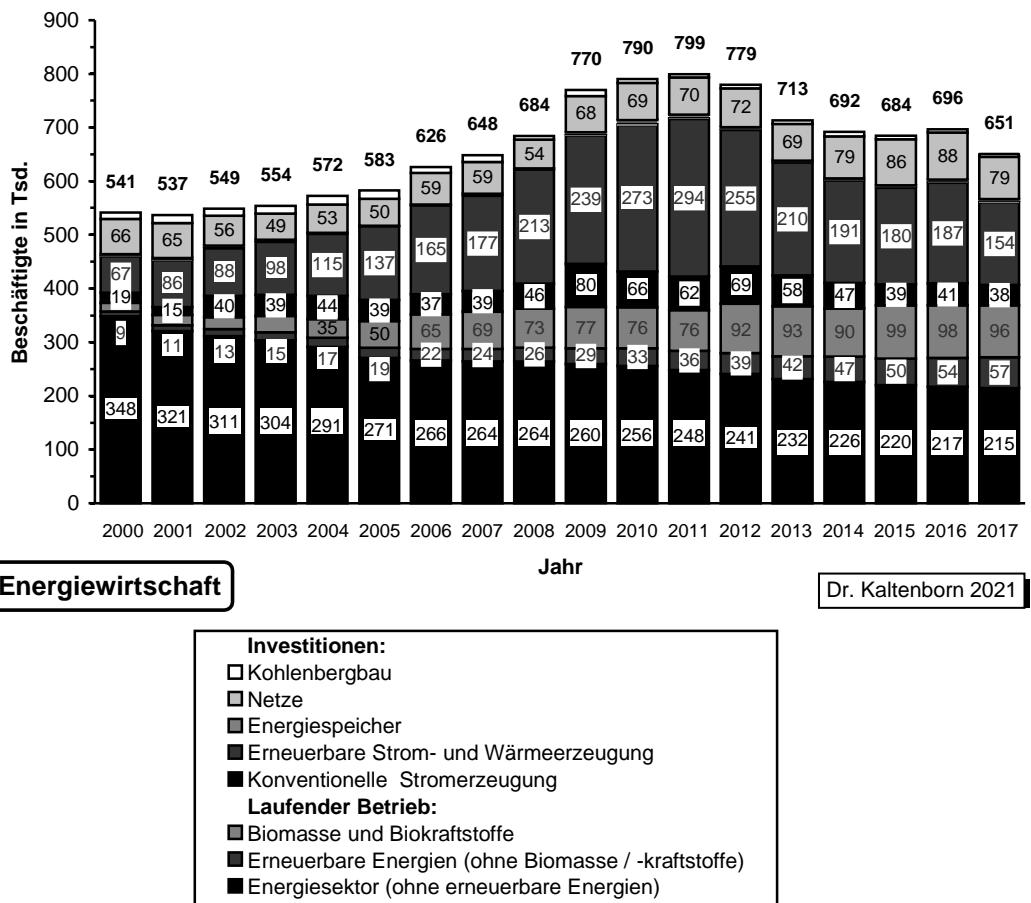
<sup>32</sup> Die geringfügig aktualisierten Ergebnisse von O'SULLIVAN und EDLER [2020, Anhang] (Abbildung 29 in Abschnitt 4.6) wurden hier nicht berücksichtigt, weil dort keine Angaben zur konventionellen Energiewirtschaft enthalten sind.

<sup>33</sup> Die indirekte Beschäftigung in diesen Bereichen ist gering in Relation zur direkten Beschäftigung und schwankt im Zeitverlauf offenbar deutlich (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 8f]).

Der Studie zufolge stieg die Zahl der Beschäftigten in der Energiewirtschaft von gut 540.000 im Jahr 2010 weitgehend kontinuierlich bis auf fast 800.000 im Jahr 2011, um dann bis 2017 ebenfalls weitgehend kontinuierlich auf gut 650.000 zu sinken. Dabei resultieren die Veränderungen ganz überwiegend aus den Investitionen, während die Beschäftigung durch den laufenden Betrieb lediglich zwischen 340.000 und 374.000 schwankte. Trotz der weitgehenden Konstanz der Beschäftigung durch den laufenden Betrieb gab es erheblich Verschiebungen von konventionellen Anlagen zu erneuerbaren Anlagen, insbesondere zugunsten von Biomasse und Biokraftstoffen (vgl. auch Abschnitt 4.6). Zudem ist zu berücksichtigen, dass zwar die direkte, nicht jedoch die indirekte Beschäftigung durch den laufenden Betrieb bei bestimmten konventionellen Energieträgern enthalten ist. Diese direkte Beschäftigung war hier leicht rückläufig (2000: 215.000; 2017: 181.000), während die indirekte Beschäftigung in Relation zur direkten Beschäftigung gering war und im Zeitverlauf offenbar deutlich schwankte (O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 8f]). Gleichwohl dürfte insgesamt die Beschäftigung durch den laufenden Betrieb der Energiewirtschaft insgesamt weitgehend konstant geblieben sein.

Der kontinuierliche Aufwuchs der Beschäftigung infolge von Investitionen von 168.000 Beschäftigten im Jahr 2000 auf 439.000 im Jahr 2011 und der anschließend weitgehend kontinuierliche Rückgang auf 282.000 im Jahr 2017 wurde wesentlich durch die erneuerbaren Energien verursacht (vgl. Abschnitt 4.6). Allerdings stieg auch die Beschäftigung durch Investitionen in konventionelle Stromerzeugung von 19.000 Beschäftigten im Jahr 2000 auf 80.000 im Jahr 2009, um dann auf 38.000 im Jahr 2017 zurückzugehen. Die Beschäftigung durch Investitionen in Netze schwankte zwischen 49.000 Beschäftigten (2003) und 88.000 (2016). Vergleichsweise geringe Bedeutung hatte die Beschäftigung durch Investitionen in den Kohlebergbau, die zwischen 5.700 Beschäftigten (2017) und 15.600 Beschäftigten (2004) schwankte (vgl. auch vgl. Abschnitte 4.2 und 4.3), und in Energiespeicher (1.100 bis 9.600 Beschäftigte).

**Abbildung 40: Beschäftigte durch Aktivitäten der Energiewirtschaft 2000 bis 2017 nach Berechnungen des DIW u.a. (2019)**



Anmerkung: Angaben zur direkten und indirekten Beschäftigung durch den Betrieb von Tankstellen (zuletzt für 2014: 8.200 Beschäftigte) sowie durch Investitionen in die Gewinnung von Erdöl- und Erdgas (zuletzt für 2017: 1.400 Beschäftigte), in Kokerei und Mineralölverarbeitung (zuletzt für 2017: 8.600 Beschäftigte) und in die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen (zuletzt für 2009: 7.100 Beschäftigte) sind nicht durchgehend verfügbar und daher nicht enthalten; Angaben zur indirekten Beschäftigung durch die Gewinnung von Erdöl und Erdgas, die Mineralölverarbeitung, die Gasversorgung und die Elektrizitäts- und FernwärmeverSORGUNG sowie zur Beschäftigung insgesamt durch Investitionen in die konventionelle Wärmeerzeugung sind nicht vorhanden. laufenden Betrieb erneuerbarer Energien ohne Biomasse und Biokraftstoffe; Biomasse und Biokraftstoffe einschließlich Biomasse-Kleinanlagen und Bereitstellung biogener Brenn- und Kraftstoffe.

Quelle: O'SULLIVAN, EDLER und LEHR [2019, S. 136-144].

## 5 Nettoeffekte

Dieses Kapitel befasst sich mit Studien, die die Nettoeffekte ökologischer Maßnahmen insbesondere zugunsten einer Reduktion der Treibhausgasemissionen und damit des Klimaschutzes auf die Erwerbstätigkeit untersuchen. Nettoeffekte berücksichtigen neben den direkten und indirekten Effekten einer Maßnahme, auch die aus einem veränderten Einkommen induzierten Effekte auf Nachfrage und Produktion sowie Rückkoppelungen durch veränderte Löhne und Preise (vgl. auch Kapitel 3).

Abschnitt 5.1 befasst sich mit der Stahlindustrie. Hier wird eine Studie vorgestellt, die als Folge erhöhter Emissionspreise - den wohl hypothetischen Fall - einer vollständigen Stilllegung der Stahlindustrie in Deutschland untersucht. In Abschnitt 5.2 werden drei Studien vorgestellt, die sich mit den künftigen Effekten der Verkehrswende befassen. Eine Studie untersucht zwei Szenarien zur vollständigen Dekarbonierung des Verkehrs bis 2050, eine Studie untersucht je ein Szenario einer verstärkten Steigerung der Effizienz aller Verkehrsmittel und eines verstärkten Ausbaus des Schienenverkehrs bis 2035. Eine weitere Studie untersucht eine verstärkte Elektrifizierung von PKW bis 2035.

In Abschnitt 5.3 wird eine ältere Studie aus dem Jahr 2011 vorgestellt, die sich mit den Auswirkungen eines Atomausstiegs bis 2030 befasst. Gegenstand von Abschnitt 5.4 ist eine Studie zu den Auswirkungen der Energieeffizienzstrategie Gebäude der Bundesregierung aus dem Jahr 2015 bis 2050. Untersucht werden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Hauptmaßnahmen, in einem Szenario wird vorrangig auf eine Reduktion des Energieverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen, insbesondere die energetische Gebäudesanierung gesetzt, im anderen auf den Einsatz erneuerbarer Energien.

In Abschnitt 5.5 wird eine ältere Studie aus dem Jahr 2015 vorgestellt, die die Effekte des verstärkten Ausbaus erneuerbarer Energien retrospektiv ab 1996 und prospektiv bis 2050 untersucht. Die Studie trifft für unterschiedliche Varianten eines globalen Klimaschutzes differenzierte Exportannahmen und untersucht auch deren Auswirkungen auf die Erwerbstätigkeit. Abschnitt 5.6 befasst sich ebenfalls mit einer älteren Studie aus dem Jahr 2014, die ausgehend vom Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 ein Szenario mit einer Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80% gegenüber 1990 untersucht.

Gegenstand von Abschnitt 5.7 ist eine Studie, die retrospektiv ab 2000 und prospektiv bis 2050 die Auswirkungen eines verstärkten Klimaschutzes mit einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80% bis 85% gegenüber 1990 untersucht, wobei vorrangig die Energieeffizienz verbessert und nachrangig erneuerbare Energien eingesetzt werden. Eine weitere Studie separiert die retrospektiven Beschäftigungseffekte von 2000 bis 2015.

Im umfangreichen Abschnitt 5.8 werden insgesamt sechs Studien vorgestellt, die sich mit den künftigen Effekten eines verstärkten nationalen Klimaschutzes befassen. Eine Studie befassen sich mit den Auswirkungen bestimmter Einzelmaßnahmen bis 2035, während sich fünf Studien mit den Konsequenzen der politisch angestrebten Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 bzw. 2050 befassen. Dabei ist auch eine Studie, die bereits das neue Ziel einer Reduktion der Emissionen bis 2030 um 65% gegenüber 1990 berücksichtigt.

Gegenstand von Abschnitt 5.9 ist eine Studie, die sich mit den Auswirkungen eines verstärkten globalen Klimaschutzes auf die Exporte Deutschlands und den daraus resultierenden Effekt auf die heimische Erwerbstätigkeit bis 2030 befasst.

In Abschnitt 5.10 wird eine Studie vorgestellt, die die Auswirkungen zahlreicher Einzelmaßnahmen für eine verbesserte Klimaresilienz untersucht.

In Abschnitt 5.11 wird eine Studie vorgestellt, die drei ökologische Szenarien jenseits des Klimaschutzes analysiert (Verbesserte Effizienz; Nachhaltigere Mobilität; Ökologische Landwirtschaft und Neubesiedlungsabgabe). Gleichwohl reduzieren auch diese Szenarien teilweise die Treibhausgasemissionen.

Sensitivitätsanalysen zu den Auswirkungen spezifischer Annahmen auf die Ergebnisse gibt es nur vereinzelt (vgl. hierzu auch Kapitel 3). Daher werden neben den ohnehin berücksichtigten Studien weitere Quellen mit Sensitivitätsanalysen nicht nur für Deutschland, sondern punktuell auch für die Europäische Union in Abschnitt 5.12 skizziert.

Abschnitt 5.13 enthält schließlich eine vergleichende tabellarische Zusammenfassung.

## 5.1 Stahlindustrie

**Prognos** hat die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Klimazielen für die deutsche Stahlindustrie bis 2035 untersucht, die mit einer Bepreisung von Treibhausgasemissionen durchgesetzt werden (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020]).

In Deutschland wurden im Jahr 2018 etwa 42,4 Mio. Tonnen Stahl hergestellt, davon 70% in einem der 15 koksbetriebenen Hochöfen aus Eisenerz (Primärstahlerzeugung) und etwa 30% durch Einschmelzen von Stahlschrott (Sekundärstahlerzeugung) (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 13, 18]). Seinerzeit gab es in der Stahlindustrie 121.000 Erwerbstätige (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 12]). Die Treibhausgasemissionen je Tonne Stahl sind beim Primärstahl ungefähr 18 Mal so hoch wie beim Sekundärstahl (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 13, 16]). Insgesamt beliefen sich die Treibhausgasemissionen der deutschen Stahlerzeugung im Jahr 2018 auf 56,9 Mio. Tonnen, davon entfielen auf den Primärstahl 55,6 Mio. Tonnen und auf den Sekundärstahl 1,3 Mio. Tonnen (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 13]). Im Jahr 2018 gab es in der Stahlindustrie<sup>34</sup> 121.000 Erwerbstätige (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 12]).

Eine Ausweitung der vergleichsweise emissionsarmen Sekundärstahlerzeugung ist begrenzt durch die Verfügbarkeit von Schrott. Eine treibhausgasarme Primärstahlerzeugung ist technisch möglich, jedoch sehr teuer (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 5]). In Betracht kommt beispielsweise die Nutzung von Wasserstoff zur Direktreduktion von Eisenerz. Hierfür würden zudem große Mengen Stroms benötigt, der aus erneuerbaren Energien erzeugt wurde.

---

<sup>34</sup> Neben der „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Folgelegierungen“ sind darin auch „Herstellung von Stahlrohren und Rohrstücken aus Stahl“ sowie „Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl“ enthalten.

In der Studie werden zwei Szenarien miteinander verglichen:

- › Referenzszenario: Das Referenzszenario geht davon aus, dass weltweit die Stahlproduzenten nicht mit Kosten für ihre Treibhausgasemissionen belastet werden (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 6]). Es gibt auch ansonsten keine Notwendigkeit oder Anreize zur Reduktion der Treibhausgasemissionen.
- › Belastungsszenario: Im Belastungsszenario wird angenommen, dass die Treibhausgasemissionen der heimischen Stahlindustrie so bepreist werden, dass eine vorgegebene Reduktion der Treibhausgasemissionen durch einzelwirtschaftliche Entscheidungen erreicht wird (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 6]).<sup>35</sup> Die Vorgabe ist aus dem KSG a.F. abgeleitet, das eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der Industrie bis 2030 um 51% gegenüber 1990 vorsieht. Für die Stahlindustrie wird diese Vorgabe übernommen, bis 2035 fortgeschrieben (Reduktion um 55% gegenüber 1990 bzw. um 54% gegenüber 2018), in den dazwischen liegenden Jahren werden die Vorgaben linear interpoliert.

Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der beiden Szenarien werden auf Basis von Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung und dem Wirtschaftswachstum im Referenzszenario (1,2% jährlich) mit zwei einander ergänzenden Modellen projiziert (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 6-9]):

- › VIEW: Das Weltwirtschaftsmodell VIEW von Prognos wird zunächst zur Projektion der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung für das Referenzszenario verwendet. Es umfasst 37 einzelne Länder, in denen mehr als 90% der globalen Wirtschaftsleistung erbracht werden, sowie den Rest der Welt als Aggregat. Es differenziert nach 32 Wirtschaftsbereichen, berücksichtigt Input-Output-Tabellen und internationale Handelsströme.
- › LABS: Zudem wird das agentenbasierte Simulationsmodell Large Agent Based Simulation (LABS) von Prognos verwendet. Es erlaubt die Abbildung von Entscheidungen auf der Mikroebene idealtypischer Akteure (Unternehmen, Haushalte). Dabei werden in LABS lediglich vier Sektoren modelliert: Primärstahlerzeugung, Sekundärstahlerzeugung, übrige Industrie sowie Dienstleistungen. Zunächst wurde LABS so kalibriert, dass es die Ergebnisse von VIEW für das Referenzszenario näherungsweise reproduziert. Anschließend wurden mit LABS die Auswirkungen der steigenden Emissionskosten im Belastungsszenario projiziert. Im Hinblick auf die Stahlproduktion geht es offenbar vor allem um die Entscheidung, einen Hochofen nach 16 Jahren Nutzungsdauer still zu legen oder ihn für weitere 16 Jahre durch Investitionen zu ertüchtigen (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 16]). Berücksichtigt werden auch Beschränkungen bei der Kreditvergabe für Investitionen aufgrund unzureichender Bonität der Stahlproduzenten (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 19]). Schließlich werden die relativen Unterschiede zwischen den beiden LABS-Szenarien auf die Absolutgrößen des VIEW-Referenzszenarios bezogen.

---

<sup>35</sup> Das Szenario sieht eigentlich eine Bepreisung in Europa vor, dies wird jedoch nicht explizit modelliert (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 8, 16]). Es wird argumentiert, dass sich die Ergebnisse für die deutschen Stahlproduzenten nicht entscheidend veränderten.

Der Projektion zufolge sind im Referenzszenario am Ende des Projektionszeitraums im Jahr 2035 noch alle 15 Hochöfen in Betrieb (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 14]). Gegenüber 2018 gibt es bei Produktionsmengen und Treibhausgasemissionen kaum Änderungen: Im Jahr 2035 werden weiterhin knapp 30 Mio. Tonnen Primärstahl produziert, die Sekundärstahlproduktion ist mit 13,4 Mio. Tonnen leicht höher, die Treibhausgasemissionen der Stahlindustrie gehen bis 2030 gegenüber 2018 nicht und bis 2035 um 2% zurück (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 15]).

Im Belastungsszenario steigt der Projektion zufolge der Emissionspreis für die Stahlindustrie bis 2035 auf 105 EUR (real in Preisen von 2020) je Tonne, wodurch die Emissionskosten gut 30% des durchschnittlichen Stahlprixes betragen (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 20]). Eine Primärstahlerzeugung durch Wasserstoffreduktion erfolgt nicht, da deren angenommene Mehrkosten (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 5]) die Emissionskosten übersteigen. Aufgrund der globalen Konkurrenz werden Hochöfen stillgelegt, 2035 verbleiben hier noch knapp 40% der ursprünglichen Kapazitäten (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 22f]). Allerdings würden diese in den Folgejahren ebenfalls stillgelegt werden. Die Produktionswerte der Stahlproduktion insgesamt wären 2035 um 40% geringer als im Referenzszenario, wobei sich die Verluste wegen der deutlich größeren Emissionsintensität auf die Primärstahlerzeugung konzentrieren. Die Sekundärstahlerzeugung wäre lediglich um rund 3% geringer. Die Treibhausgasemissionen wären 2030 um etwa 24% und 2035 um etwa 61% geringer als 2018<sup>36</sup>.

LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 31f] projizieren zudem die Bruttowertschöpfung und die Zahl der Erwerbstätigen differenziert nach etwa 32 Wirtschaftsbereichen für das Referenz- und das Belastungsszenario im Jahr 2035. Der Projektion zufolge wäre die Bruttowertschöpfung im Belastungsszenario um 0,5% geringer als im Referenzszenario, die Zahl der Erwerbstätigen um 199.300 (0,5%) niedriger. In allen betrachteten Wirtschaftsbereichen wäre die Zahl der Erwerbstätigen geringer, verlieren würde insbesondere die Stahlindustrie (-43.100 bzw. -40%), daneben auch Handel und Reparatur von Kraftfahrzeugen (-25.200 bzw. -0,5%), Verkehr und Lagerei (-17.200 bzw. -0,8%), Gesundheits- und Sozialwesen (-12.800 bzw. -0,2%) und das Baugewerbe (-11.800 bzw. -0,5%).

Im Kontext der ökologischen Transformation dürfte es sich sowohl beim Referenz- als auch beim Belastungsszenario um kontrafaktische Szenarien handeln: Im Referenzszenario werden die Treibhausgasemissionen der Stahlindustrie bis 2035 nicht entscheidend reduziert, im Belastungsszenario werden die Emissionen lediglich ins Ausland verlagert. LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 27] zufolge würden die Emissionen im Belastungsszenario global möglicherweise sogar höher sein, weil in anderen Ländern die Stahlproduktion mit mehr Emissionen als in Deutschland verbunden ist.

---

<sup>36</sup> Werte ungenau, da teilweise aus Abbildungen abgelesen (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020, S. 15, 23]) und umgerechnet.

## 5.2 Künftige Effekte der Verkehrswende

Deutschland exportiert rund drei Viertel der produzierten PKW und Nutzfahrzeuge bis 6 Tonnen,<sup>37</sup> knapp zwei Drittel der im Inland neu zugelassenen PKW mit Verbrennungsmotor werden importiert (MÖNNIG u.a. [2018, S. 25]). Insoweit kommt den Auswirkungen der nationalen Verkehrswende auf die Im- und Exporte von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen besondere Bedeutung zu.

Das **Öko-Institut**, das Institut für Verkehrsorschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**), das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (**ifeu**) und **INFRAS** haben die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer vollständigen Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis 2050 untersucht (ZIMMER u.a. [2016]). Die Entwicklung von Bruttoinlandsprodukt, Wertschöpfung, Bevölkerung und Rohölpreisen werden bis 2030 aus der seinerzeitigen Verkehrsprognose 2030 übernommen und darüber hinaus bis 2050 in Anlehnung an eine vorliegende Projektion (REPENNING u.a. [2015]) auf Basis von Klimaschutzmaßnahmen, die bis Oktober 2012 ergriffen wurden (ZIMMER u.a. [2016, S. 28f]). Für 2030 wird von einem Rohölpreis von 120 US-Dollar je Barrel und für 2050 von 195 US-Dollar je Barrel ausgegangen (BERLEMANN u.a. [2016, S. 17f], ZIMMER u.a. [2016, S. 28], REPENNING u.a. [2015, S. 91]).<sup>38</sup>

Die Studie vergleicht zwei Szenarien<sup>39</sup> einer vollständigen Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis 2050 mit einem Basisszenario (ZIMMER u.a. [2016, S. 20-27]):

- › Basisszenario: Das Basisszenario geht von den seinerzeit aktuellen Maßnahmen aus. So bleiben etwa die Mineralölsteuersätze real konstant, die Kraftstoffpreise bleiben niedrig, für PKW gilt ein unveränderter Grenzwert für Kohlendioxidemissionen von 95 g/km und es werden (demzufolge) weiterhin konventionelle Kraftstoffe eingesetzt.
- › Szenario „Effizienz“: Im Szenario „Effizienz“ wird eine Dekarbonisierung der Kraftstoffe mit einer maximal möglichen Fahrzeugeffizienz kombiniert, der Fokus liegt insoweit auf dem technisch Machbaren, es ist nicht als ökonomisch optimales Szenario konstruiert. Im Unterschied zum Basisszenario werden Mineralölsteuersätze und Kraftstoffpreise erhöht, für PKW wird der Grenzwert für Kohlendioxidemissionen auf 60 g/km 2030 und auf 10 g/km 2050 gesenkt. Dies bewirkt eine deutliche Effizienzsteigerung bei konventionellen PKW und einen zunehmenden Anteil elektrischer Fahrzeuge. Rund zwei Drittel des Straßengüterverkehrs werden 2050 elektrisch zurückgelegt. Der Anteil strombasierter Kraftstoffe steigt auf 5% im Jahr 2030 und auf 95% im Jahr 2050. Zudem wird (offenbar bis 2050) für das Transportaufkommen im Güterverkehr von einer generellen Dekarbonisierung ausgegangen. Die für den Verkehrssektor benötigten strombasierten Kraftstoffe werden vollständig auf Basis erneuerbarer Energien hergestellt, und zwar im Ausland, weil dort die Stromgestehungskosten geringer seien.

<sup>37</sup> Vgl. <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/export.html>.

<sup>38</sup> BERLEMANN u.a. [2016, S. 13] gehen von einem Wechselkurs von 1,36 US-Dollar je Euro bis 2030 aus, ZIMMER u.a. [2016, S. 28] von 1,32 US-Dollar je Euro bis 2050.

<sup>39</sup> Darüber hinaus werden Varianten („Szenaretten“) der beiden Szenarien untersucht, allerdings nicht hinsichtlich ihrer Beschäftigungseffekte. Daher werden sie hier nicht berücksichtigt.

- › Szenario „Effizienz plus“: Im Szenario „Effizienz plus“ wird ergänzend zum Szenario „Effizienz“ durch verschiedene Maßnahmen die Lebensqualität in Innenstädten erhöht (verbesserte Nahraumversorgung, innerstädtische Zufahrtsbeschränkungen für Fahrzeuge mit Emissionen, zusätzliche Carsharing-Angebote, Regelgeschwindigkeit von 30 km/h innerorts abseits von Hauptstraßen, Steigerung der Attraktivität von öffentlichem Verkehr und Radverkehr) und die Attraktivität des Schienengüterverkehrs verbessert.

In den beiden Szenarien „Effizienz“ und „Effizienz plus“ sind PKW-Bestand und -Neuzulassungen im Jahr 2030 etwas geringer als im Basisszenario, im Jahr 2050 insbesondere im Szenario „Effizienz plus“ deutlich geringer (ZIMMER u.a. [2016, S. 102f, 105, 107]). Die projizierte Personenverkehrsleistung insgesamt und des motorisierten Individualverkehrs ist insbesondere im Szenario „Effizienz plus“, aber auch im Szenario „Effizienz“ in den Jahren 2030 und 2050 deutlich geringer als im Basisszenario, die Personenverkehrsleistung des Öffentlichen Personenverkehrs hingegen etwas höher (ZIMMER u.a. [2016, S. 127, 132]).

Zumindest der projizierte Bestand an leichten Nutzfahrzeugen unterscheidet sich nicht zwischen den Szenarien (ZIMMER u.a. [2016, S. 114f]). Insbesondere im Szenario „Effizienz plus“, aber auch im Szenario „Effizienz“ ist die Güterverkehrsleistung in den Jahren 2030 und 2050 sowohl insgesamt als auch auf der Straße geringer als im Basisszenario (ZIMMER u.a. [2016, S. 155, 157]). Die Transportleistung im Seeverkehr und die Verkehrsleistung im Luftverkehr sind zumindest im Szenario „Effizienz“ in den Jahren 2030 und 2050 deutlich geringer als im Basisszenario (ZIMMER u.a. [2016, S. 168, 170]). Der Unterschied beim Seeverkehr ist wesentlich auf den geringeren Bedarf an fossilen Brennstoffen zurückzuführen.

Bis 2050 erreichen beide Szenarien zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors dessen Treibhausgasneutralität (vgl. Tabelle 13). Im Basisszenario reduzieren sich die Kohlendioxidemissionen im nationalen Verkehr um 38% und unter Berücksichtigung des internationalen Luft- und Seeverkehrs um 24%. Bis 2030 erreichen die beiden Szenarien zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors eine Reduktion der Kohlendioxidemissionen zwischen 17% und 38%, das Basisszenario 13% bzw. 1%. Nicht berücksichtigt sind dabei die Emissionen aus der Produktion der Energieträger und der Fahrzeugherrstellung.

Die gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen der Dekarbonisierung des Verkehrssektors wurden mit dem Input-Output-Simulationsmodell VEDIOM und dem dynamischen allgemeinen Gleichgewichtsmodell FARM EU projiziert (ZIMMER u.a. [2016, S. 86-95, 233-235]). Basis von VEDIOM ist eine Input-Output-Tabelle für Deutschland 2008, die auf die Jahre 2030 und 2050 ohne Änderung der Produktionsstrukturen fortgeschrieben wurde. Die Analyse erfolgt für 45 Branchen, wobei der Verkehrssektor stark ausdifferenziert und die restlichen Branchen aggregiert wurden. Wichtige Ausgangsgrößen für die Projektion sind die Produktionskosten, die sich insbesondere aufgrund unterschiedlicher Energiepreise unterscheiden, Investitionen in Fahrzeuge und Infrastruktur (insbesondere Stromnetze und Schieneninfrastruktur), Nutzernpreise für den Verkehr sowie die Importanteile strombasierter Treibstoffe und der Fahrzeugnachfrage. Angesichts des rückläufigen Personen- und Güterverkehrs insgesamt und insbesondere des motorisierten Individualverkehrs dürfte der Investitionsbedarf insbesondere im Szenario „Effizienz plus“, aber auch im Szenario „Effizienz“ geringer als im Basisszenario sein.

**Tabelle 13: Zentrale Ergebnisse einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors in Deutschland nach Berechnungen des Öko-Instituts u.a. (2016)**

Merkmal	Basisszenario		Szenario „Effizienz“		Szenario „Effizienz plus“	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Minderung der Kohlendioxidemissionen des Verkehrssektors <sup>a</sup> gegenüber 1990						
Nationaler Verkehr <sup>b</sup>	13%	33%	30%	100%	38%	100%
Insgesamt <sup>c</sup>	1%	17%	18%	100%	24%	100%
Veränderung der Wertschöpfung gegenüber dem Basisszenario						
	±0	±0	-0,3%	+0,0%	-0,1%	+0,1%
Veränderung der Zahl der Beschäftigten gegenüber dem Basisszenario						
	±0	±0	-121.000 (-0,3%)	-51.000 (-0,1%)	-66.000 (-0,2%)	+19.000 (+0,1%)

<sup>a</sup> Kohlendioxidemissionen ohne Berücksichtigung der Produktion der Energieträger und der Fahrzeugherstellung; unter Berücksichtigung einer höheren Gewichtung der Emissionen des Flugverkehrs in Flughöhen von mehr als 9 km wird bis 2050 im Basisszenario eine Reduktion der Kohlendioxidemissionen lediglich um 6% und in den beiden Szenarien einer Dekarbonisierung um 88% gegenüber 1990 erreicht.

<sup>b</sup> Ohne internationalen Flug- und Seeverkehr.

<sup>c</sup> Einschließlich internationaler Flug- und Seeverkehr.

Quelle: ZIMMER u.a. [2016, S. 221, 225, 227, 240f].

Der Projektion zufolge ist im Szenario „Effizienz“ die Wertschöpfung im Jahr 2030 gegenüber dem Basisszenario um 0,3% geringer und im Jahr 2050 identisch (vgl. Tabelle 13). Wichtige Treiber sind die stark erhöhte Nachfrage nach Strom und die geringeren Konsumausgaben für Mobilität, wodurch sich anderweitige Konsummöglichkeiten ergeben (ZIMMER u.a. [2016, S. 239]). Im Vergleich dazu ist im Szenario „Effizienz plus“ die Wertschöpfung höher geringfügig höher. Hier ist die Wirtschaftsleistung von PKW-nahen Branchen stark reduziert, die Reduktion ist 2050 um gut 50% stärker als im Szenario „Effizienz“ (ZIMMER u.a. [2016, S. 239]). Dies wird jedoch stark überkompensiert durch zusätzliche anderweitige Konsumausgaben infolge der stark reduzierten Nachfrage nach Personenstraßenverkehr.

Die Zahl der Beschäftigten ist der Projektion zufolge im Szenario „Effizienz“ um 0,3% im Jahr 2030 und um 0,1% im Jahr 2050 geringer als im Basisszenario (vgl. Tabelle 13). Im Szenario „Effizienz plus“ ist die Zahl der Beschäftigten jeweils höher, 2030 ist sie um 0,2% geringer und 2050 um 0,1% höher als im Basisszenario. Die Studie weist die Beschäftigungseffekte für 2030 und 2050 differenziert nach 13 Branchen aus (ZIMMER u.a. [2016, S. 243, 248]). Beschäftigungsgewinne gibt es vor allem bei Personenbeförderungsleistungen (stärker 2030 als 2050 und stärker im Szenario „Effizienz plus“ als im Szenario „Effizienz“), anderen Dienstleistungen im Jahr 2050 (stärker im Szenario „Effizienz plus“ als im Szenario „Effizienz“) sowie im Stromsektor (vor allem 2050). Die absolut stärksten Beschäftigungsverluste gibt es im Handel (2030 stärker als 2050), relativ starke Beschäftigungsverluste in der Mine-

ralölverarbeitung, die 2050 nahezu bedeutungslos ist, und im Luftverkehr mit einem Beschäftigungsrückgang von rund einem Viertel bis 2050.

Bei der Interpretation der projizierten gesamtwirtschaftlichen Effekte ist zu berücksichtigen, dass diese aufgrund der Konstruktion der Szenarien tendenziell ungünstig ausfallen:

- › Die beiden Szenarien „Effizienz“ und „Effizienz plus“ sind nicht als ökonomisch optimale Szenarien konstruiert, sondern der Fokus liegt teilweise auf dem technisch Machbaren.
- › Gleichwohl werden aus ökonomischen Gründen die benötigten strombasierten Kraftstoffe in vollem Umfang importiert. Mithin wird durch deren Produktion weder Wertschöpfung noch Beschäftigung im Inland generiert.
- › Die beiden Szenarien „Effizienz“ und „Effizienz plus“ gehen - im Gegensatz zum Basis-szenario - von einem geringeren Güterverkehrsaufkommen infolge einer generellen Dekarbonisierung aus, berücksichtigen jedoch nicht die übrigen, vermutlich ökonomisch stimulierenden Effekte dieser generellen Dekarbonisierung.
- › Die beiden Szenarien „Effizienz“ und „Effizienz plus“ berücksichtigen offenbar nicht die vermutlich verbesserten Exportchancen der Fahrzeugindustrie infolge der beschleunigten technologischen Weiterentwicklung im Vergleich zum Basisszenario.

**M-Five** und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (**Fraunhofer ISI**) haben die Beschäftigungseffekte von 2019 bis 2035 einer nachhaltigen Mobilität zu Lande projiziert (BERTHOLD u.a. [2020]). Hierzu vergleichen sie zwei Szenarien einer nachhaltigen Mobilität mit einem Referenzszenario (BERTHOLD u.a. [2020, S. 50-52, 55]):<sup>40</sup>

- › Referenzszenario: Das Referenzszenario berücksichtigt die bis Ende 2018 ergriffenen zentralen Instrumente.
- › Szenario „E-Straße-2035“: Das Szenario „E-Straße-2035“ geht von einer Effizienzsteigerung aller Verkehrsmittel aus. Ausgehend von 550 PKW je 1.000 Einwohner/innen im Jahr 2015 sinkt die Relation auf 430 im Jahr 2035, wobei die Verkehrsleistung bis 2035 um 5% zunimmt.
- › Szenario „Multi-Modalität-2035“: Das Szenario „Multi-Modalität-2035“ geht von einem Ausbau des Schienenverkehrs aus. Die Zahl der PKW sinkt stärker auf 300 je 1.000 Einwohner/innen im Jahr 2035, wobei die Verkehrsleistung bis 2035 um 15% abnimmt.

Dabei wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung in Europa dem jeweiligen Szenario für Deutschland ähnlich ist (BERTHOLD u.a. [2020, S. 129]). Der Fokus liegt auf dem Personenverkehr, der Güterverkehr wurde lediglich „kurzfristig mitbetrachtet“ (BERTHOLD u.a. [2020, S. 51]). Im Vergleich zum Status quo geht in beiden Szenarien einer nachhaltigen Mobilität der Anteil des motorisierten Individualverkehrs von 76% zugunsten von Bahn, Bus sowie Fuß

---

<sup>40</sup> Ursprünglich wurden die beiden Szenarien einer nachhaltigen Mobilität von SCHADE, MADER und WAGNER [2017] entwickelt, zwischenzeitlich jedoch modifiziert. Darüber hinaus untersuchen M-Five und Fraunhofer ISI die Auswirkungen der beiden Szenarien auch mit einer Input-Output-Analyse (SIEVERS, GRIMM und DOLL [2019]) sowie regionalisiert (BERTHOLD u.a. [2019]). Allerdings erfolgt kein Vergleich zu einem Referenzszenario, sondern zum Status quo. Mithin sind die Unterschiede nicht allein oder vorrangig Resultat einer nachhaltigen Mobilität, sondern sind auch Ergebnis verschiedener anderer Entwicklungen (Demographie, Produktivität, Wirtschaftswachstum u.a.). Daher wird hier nicht darauf eingegangen.

und Rad im Jahr 2035 zurück, im Szenario „Multi-Modalität-2035“ deutlicher auf 47% als im Szenario „E-Straße-2035“ auf 59% (BERTHOLD u.a. [2020, S. 52]). In beiden Szenarien wird zudem eine verstärkte Digitalisierung angenommen (BERTHOLD u.a. [2020, S. 52]). Die Exporte der deutschen Automobilindustrie sind in beiden Szenarien einer nachhaltigen Mobilität in den Jahren 2030 und 2035 höher als im Referenzszenario, der Inlandsabsatz ist im Szenario „E-Straße-2035“ höher und im Szenario „Multi-Modalität-2035“ hingegen geringer als im Referenzszenario (BERTHOLD u.a. [2020, S. 116]).

Zur Umsetzung des Szenarios „E-Straße-2035“ sind im Zeitraum von 2019 bis 2035 kumulierte Investitionen von 1.573 Mrd. EUR erforderlich, davon für Straßenfahrzeuge 885 Mrd. EUR und für weitere Maßnahmen (Stromversorgung des Verkehrs, Fahrzeuge und Haltestellen für Öffentlichen Verkehr, Verkehrsnetz, Batteriezellen und Halbleiter) 688 Mrd. EUR (jeweils real in Preisen von 2010) (BERTHOLD u.a. [2020, S. 95]). Für das Szenario „Multi-Modalität-2035“ wären 1.182 Mrd. EUR erforderlich, davon für Straßenfahrzeuge 485 Mrd. EUR und für weitere Maßnahmen 697 Mrd. EUR (jeweils real in Preisen von 2010) (BERTHOLD u.a. [2020, S. 97]). Im Szenario „E-Straße-2035“ wären also rund 400 Mrd. EUR (real in Preisen von 2010) mehr Investitionen für Straßenfahrzeuge als im Szenario „Multi-Modalität-2035“ erforderlich. Nach Einschätzung von BERTHOLD u.a. [2020, S. 95, 97] ist der genannte Investitionsbedarf eher eine untere Grenze.

Die Wirkungen auf Treibhausgasemissionen und Gesamtwirtschaft wurden mit dem makroökonomischen Modell ASTRA-HBS projiziert, das auch Module für Verkehr und Umwelt enthält (BERTHOLD u.a. [2020, S. 18-49, 196-198]). Die zugrunde liegende Input-Output-Rechnung mit 57 Sektoren basiert auf den Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamts (BERTHOLD u.a. [2020, S. 34]). In dem Modell wird das Bruttoinlandsprodukt von der Angebots- und Nachfrageseite bestimmt (BERTHOLD u.a. [2020, S. 23]).

Im Referenzszenario belaufen sich die Kohlendioxidemissionen aus dem Personenverkehr in den Jahren 2019 bis 2035 kumuliert auf 1.694 Mio. Tonnen, im Szenario „E-Straße-2035“ sind sie mit 1.092 Mio. Tonnen um 36% geringer und im Szenario „Multi-Modalität-2035“ mit 970 Mio. Tonnen um 43% geringer (BERTHOLD u.a. [2020, S. 72]).<sup>41</sup>

Tabelle 14 zeigt die projizierten gesamtwirtschaftlichen Wirkungen. In beiden Szenarien einer nachhaltigen Mobilität sind die Investitionen von 2019 bis 2025 geringer als im Referenzszenario (BERTHOLD u.a. [2020, S. 104]). Dies liegt wesentlich an der geringeren gewerblichen Käufen von PKW, bei denen es sich um Investitionen handelt (BERTHOLD u.a. [2020, S. 103]). Im weiteren Verlauf sind vor allem im Szenario „E-Straße-2035“ die Investitionen höher als im Referenzszenario, im Szenario „Multi-Modalität-2035“ sind sie zum Schluss in den Jahren 2034 und 2035 geringfügig geringer als im Referenzszenario.

<sup>41</sup> Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Emissionen von Biokraftstoffen oder Strom, die zum Antrieb genutzt werden, entsprechend den Konventionen in der Klimaberichterstattung nicht dem Verkehr, sondern den herstellenden Sektoren zugerechnet werden, also den Raffinerien (Industrie) bzw. der Energiesektor (BERTHOLD u.a. [2020, S. 72]).

Der Projektion zufolge ist das Bruttoinlandsprodukt im Szenario „E-Straße-2035“ bis 2028 um bis 0,7% geringer als im Referenzszenario, anschließend bis 2035 um bis zu 0,9% höher (BERTHOLD u.a. [2020, S. 99]). Hingegen ist den Berechnungen zufolge die Wirtschaftsleistung im Szenario „Multi-Modalität-2035“ durchgehend geringer als im Referenzszenario und zwar um bis zu 1,4%.

**Tabelle 14: Zentrale Ergebnisse der Szenarien einer nachhaltigen Mobilität in Deutschland nach Berechnungen von M-Five u.a. (2020)**

Szenario	2020	2025	2030	2035
Zusätzliche Investitionen <sup>a</sup> gegenüber dem Referenzszenario in Mrd. EUR (real in Preisen von 2010)				
E-Straße-2035 (kumuliert: 1.573 Mrd. EUR)	-5	-5	+53	+46
Multi-Modalität-2035 (kumuliert: 1.182 Mrd. EUR)	-16	-5	+17	-7
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Referenzszenario				
E-Straße-2035	-0,2%	-0,7%	+0,6%	+0,8%
Multi-Modalität-2035	-0,5%	-1,4%	-0,6%	-0,9%
Änderung des Arbeitsvolumens (Vollzeitäquivalente) gegenüber dem Referenzszenario				
E-Straße-2035	-139.000	-256.000	+626.000	+112.000
Multi-Modalität-2035	-230.000	-240.000	+500.000	-233.000

<sup>a</sup> Anders als bei der Darstellung der Ergebnisse anderer Untersuchungen ist nicht der zusätzliche Investitionsbedarf ausgewiesen, vielmehr wurden Rückwirkungen auf andere Investitionen bereits berücksichtigt.

Quelle: BERTHOLD u.a. [2020, S. 99, 102, 104].

Gleichwohl ist in beiden Szenarien das Arbeitsvolumen ab 2027 bzw. 2028 höher als im Referenzszenario, in der Spitze um 762.000 Vollzeitäquivalente im Jahr 2031 im Szenario „E-Straße-2035“ bzw. um 500.000 Vollzeitäquivalente im Jahr 2030 im Szenario „Multi-Modalität-2035“ (BERTHOLD u.a. [2020, S. 102]). Zuvor ist das Arbeitsvolumen geringer als im Referenzszenario, im Szenario „E-Straße-2035“ um 256.000 (2025) und im Szenario „Multi-Modalität-2035“ um 383.000 (2023).<sup>42</sup> Dabei folgen die Unterschiede zwischen den Szenarien hinsichtlich des Arbeitsvolumens weitgehend den Unterschieden bei den Investitionen.

Eine Studie der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**), des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (**IAB**) und des Bundesinstituts für Berufsbildung (**BIBB**)

<sup>42</sup> BERTHOLD u.a. [2020] gehen auch auf die sektorale Entwicklung der Erwerbstätigkeit in den beiden Szenarien einer nachhaltigen Mobilität ein, allerdings nicht im Vergleich zum Referenzszenario, sondern im Vergleich zum Status quo. Mithin sind die Unterschiede nicht allein oder vorrangig Resultat einer nachhaltigen Mobilität, sondern sind auch Ergebnis verschiedener anderer Entwicklungen (Demographie, Produktivität, Wirtschaftswachstum u.a.). Daher wird hier nicht darauf eingegangen.

untersucht die Auswirkungen einer verstärkten Elektrifizierung von PKW auf Wirtschaftsleistung und Arbeitskräftebedarf von 2018 bis 2035 (MÖNNIG u.a. [2018]). Hierzu wird insbesondere von einer sukzessiven Erhöhung des Anteils der Elektro-PKW an den Neuzulassungen bis 2035 auf 23% bzw. 600.000 jährlich ausgegangen (MÖNNIG u.a. [2018, S. 19, 36]), wobei der Motorisierungsgrad dadurch nicht beeinflusst wird (MÖNNIG u.a. [2018, S. 17]). Für den Fall einer verstärkten Elektrifizierung von PKW wird angenommen, dass der Anteil importierter Elektro-PKW von 4,2% im Jahr 2017 auf 66% im Jahr 2035 steigt (MÖNNIG u.a. [2018, S. 25]). Begründet wird dies damit, dass „(wie bei Verbrennern auch) die Inlandsproduktion abzüglich der Exporte nicht ausreicht, um den steigenden Bedarf zu decken“ (MÖNNIG u.a. [2018, S. 25]). Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass eine verstärkte Elektrifizierung von PKW keinen Einfluss auf das Exportvolumen von PKW insgesamt hat (MÖNNIG u.a. [2018, S. 20]). Berücksichtigt wird außerdem, dass eine verstärkte Elektrifizierung von PKW dazu führt, dass weniger Mineralölprodukte und mehr Strom benötigt wird (MÖNNIG u.a. [2018, S. 20, S. 32-34]). Zur Erzeugung des zusätzlich benötigten Stroms werden keine spezifischen Annahmen getroffen, vermutlich wird ein unveränderter Strommix unterstellt.

Die Analyse der Maßnahmen erfolgt im Modellrahmen der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen (MAIER u.a. [2018]; insbesondere zur aktuellen sechsten Welle vgl. Abschnitt 2.3) durch Vergleich mit der dortigen Basisprojektion (MÖNNIG u.a. [2020, S. 14]). Im Vergleich zur Basisprojektion erfordert eine verstärkte Elektrifizierung von PKW in den Jahren von 2018 bis 2035 jeweils höhere Investitionen der Automobilindustrie, anfangs 13,3 Mrd. EUR jährlich, ab 2021 sukzessive weniger (MÖNNIG u.a. [2018, S. 21]). Zusätzliche Investitionen in Höhe von insgesamt 5 Mrd. EUR sind zudem für öffentliche Ladestationen erforderlich (MÖNNIG u.a. [2018, S. 22]). Vermutlich resultieren für eine verstärkte Elektrifizierung von PKW durchgehend zusätzliche Investitionen im Vergleich zur Basisprojektion, wobei der Unterschied im Zeitablauf abnehmen dürfte.

Der Projektion zufolge führt die Umstellung von 2018 bis 2021 zunächst zu einem höheren Bruttoinlandsprodukt, jedoch ist es ab 2022 geringer als in der Basisprojektion, die Verluste werden immer größer bis auf 20 Mrd. EUR (real) bzw. 0,6% im Jahr 2035 (MÖNNIG u.a. [2020, S. 36]). Der projizierte Arbeitskräftebedarf folgt der Entwicklung der Wirtschaftsleistung, im Jahr 2035 werden fast 114.000 bzw. 0,3% weniger Arbeitskräfte benötigt (MÖNNIG u.a. [2020, S. 39]). Dieser Saldo ergibt sich aus einem verminderten Arbeitskräftebedarf von 130.000 und 16.000 neuen Arbeitsplätzen, die Arbeitsplatzfluktuation beträgt mithin 146.000 (MÖNNIG u.a. [2020, S. 42]).<sup>43</sup> Aufgrund der angenommen hohen Produktivitätssteigerung in der Autoindustrie infolge der Elektrifizierung des Antriebs gibt es dort mit 83.000 den größten Rückgang (MÖNNIG u.a. [2020, S. 35, 40]). Zusätzlichen Arbeitskräftebedarf wird es hingegen im Maschinenbau, in der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie bei Energieversorgern geben, zeitweise auch im Baugewerbe (MÖNNIG u.a. [2020, S. 40]).

<sup>43</sup> Dabei werden wegfallende und neue Arbeitsplätze bezogen auf 63 Wirtschaftszweige und 144 Berufsgruppen ohne Berücksichtigung der vier Anforderungsniveaus (MÖNNIG u.a. [2020, S. 43]). Mit zunehmender Gliederungstiefe nimmt die ermittelte Arbeitsplatzfluktuation zu.

Zudem enthält die Studie Angaben zum veränderten Arbeitskräftebedarf in den zehn Berufsaggregaten mit den größten Abweichungen im Jahr 2035. Langfristig werden weniger Arbeitskräfte insbesondere in Berufen der Maschinenbau- und Betriebstechnik, der Unternehmensorganisation und -strategie, der Technischen Produktionsplanung und -steuerung, der Lagerwirtschaft, Post, Zustellung und des Güterumschlags, der Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik sowie der Metallbearbeitung benötigt (MÖNNIG u.a. [2020, S. 41]). In allen vier Anforderungsniveaus ist der Arbeitskräftebedarf bis 2021 höher, ab 2023 geringer, perspektivisch werden aufgrund der geringeren Komplexität des Elektroantriebs insbesondere weniger Spezialistinnen und Spezialisten sowie Expertinnen und Experten benötigt (MÖNNIG u.a. [2020, S. 42]).

### 5.3 Künftige Effekte des Atomausstiegs

**Prognos**, das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (**EWI**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) haben die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eines beschleunigten Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie bis 2025 untersucht (SCHLESINGER u.a. [2011]). Das Ausstiegsszenario wird mit einem Referenzszenario verglichen. Beide Szenarien berücksichtigen als Zielvorgabe eine Reduktion der (energiebedingten) Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% gegenüber 1990, eine Steigerung der Energieeffizienz um 2,3% bis 2,5% jährlich sowie einen Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf mindestens 18% im Jahr 2020 (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 1]).

Beiden Szenarien liegen die gleichen Annahmen zur Entwicklung von Bevölkerung und internationalen Energiepreisen (vgl. Tabelle 15) zugrunde (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 2f]). Zu den Annahmen hinsichtlich der Preise für Emissionszertifikate machen SCHLESINGER u.a. [2011, S. 3, 14] **widersprüchliche** Angaben (vgl. Tabelle 15). Die Annahmen zu erneuerbaren Energien sind in beiden Szenarien identisch (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 15]).

Die Bruttostromerzeugung durch Kernenergie unterscheidet sich zwischen den beiden Szenarien deutlich (vgl. Tabelle 15): Im Jahr 2015 ist sie im Ausstiegsszenario um 61% geringer als im Referenzszenario, im Jahr 2020 um 74% und 2025 wird im Ausstiegsszenario Kernenergie nicht mehr zur Stromerzeugung genutzt. Die verminderte Stromerzeugung wird kompensiert durch eine erhöhte Stromproduktion durch bestehende fossile Kraftwerke, vor allem nach 2020 durch zusätzliche Gaskraftwerke sowie durch zusätzliche Nettostromimporte (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 10f]). Im Zeitraum bis 2030 resultieren dadurch kumuliert Mehrkosten in Höhe von 16,5 Mrd. EUR (real in Preisen von 2008) (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 15]). Nicht berücksichtigt wurden ggf. unterschiedliche Anforderungen an den Netzausbau (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 1]). Infolge der zusätzlichen fossilen Stromerzeugung sind die Treibhausgasemissionen im Ausstiegsszenario höher als im Szenario „Laufzeitverlängerung“ (vgl. Tabelle 15): Die Differenz beläuft sich auf rund drei bis fünf Prozentpunkte bezogen auf die Emissionen im Jahr 1990.

**Tabelle 15: Zentrale Annahmen und Ergebnisse zum Atomausstieg in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2011)**

Szenario bzw. Merkmal	Ist 2008	2015	2020	2025	2030
Grenzübergangspreise für Energieträger (real in Preisen von 2008)					
Rohöl in EUR je Tonne	484	495	554	619	675
Erdgas in Cent je kWh	2,7	2,4	2,3	2,5	2,6
Kraftwerkssteinkohle in tSKE	112	82	77	81	83
Emissionszertifikat in EUR je Tonne Kohlendioxid-Äquivalent <sup>a</sup> (real in Preisen von 2008)					
generell		15,00	20,00	29,00	38,00
Szenario „Laufzeitverlängerung“	22,00	17,50	22,50	30,10	39,50
Szenario „Ausstieg“		18,70	23,90	32,20	41,30
Bruttostromerzeugung durch Kernkraft in TWh (ohne Kraftwerk Mülheim-Kärlich)					
Szenario „Laufzeitverlängerung“	148,8	240,0	120,7	102,4	89,7
Szenario „Ausstieg“		93,6	31,3	0,0	0,0
Minderung energiebedingter Treibhausgasemissionen gegenüber 1990					
Szenario „Laufzeitverlängerung“	21,9%	33,7%	43,9%	54,9%	65,3%
Szenario „Ausstieg“		30,8%	40,1%	50,2%	61,9%
Änderung gesamtwirtschaftlicher Größen im Szenario „Ausstieg“ gegenüber dem Szenario „Laufzeitverlängerung“					
Bruttoinlandsprodukt	-	-0,1%	-0,2%	-0,2%	-0,3%
Erwerbstätige	-	-26.600 (-0,1%)	-23.400 (-0,1%)	-38.700 (-0,1%)	-44.200 (-0,1%)
Beschäftigte	-	-23.600 (-0,1%)	-20.500 (-0,1%)	-34.000 (-0,1%)	-39.300 (-0,1%)

<sup>a</sup> Die Angaben zur Preisentwicklung der Emissionszertifikate sind *widersprüchlich*.

Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

Quelle: SCHLESINGER u.a. [2011, S. 3, 14, 28, 33, 39].

Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen wurden mit dem energie- und umweltökonomischen Modell PANTA RHEI der GWS untersucht. Dämpfende gesamtwirtschaftliche Effekte resultieren der Studie zufolge aus höheren Strompreisen, höheren Nettostromimporten (anstelle heimischer Wertschöpfung) und höheren Importen fossiler Energieträger, die durch geringere Uranimporte nur partiell ausgeglichen werden (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 31f]). Die zusätzlichen Investitionen in die fossile Stromerzeugung wirken zunächst gesamtwirtschaft-

lich stimulierend, später überwiegt jedoch die dämpfende Wirkung der daraus resultierenden zusätzlichen Abschreibungen (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 31f]). Insgesamt ist das Bruttoinlandsprodukt der Projektion zufolge in den Jahren 2015 bis 2030 im Ausstiegsszenario um 0,1% bis 0,3% geringer als im Szenario „Laufzeitverlängerung“ (vgl. Tabelle 15). Diese Änderungen bei der Wirtschaftsleistung haben abgeschwächt analoge Auswirkungen auf Erwerbstätigkeit und Beschäftigung, die in den betrachteten Jahren im Ausstiegsszenario jeweils um 0,1% geringer als im Szenario „Laufzeitverlängerung“ sind (vgl. Tabelle 15). Die Beschäftigungseffekte werden nach sechs Wirtschaftssektoren ausgewiesen (SCHLESINGER u.a. [2011, S. 34]). Der Gesamteffekt resultiert ganz überwiegend aus dem Dienstleistungssektor.

## 5.4 Künftige Effekte der Energieeffizienzstrategie Gebäude

Prognos, Ecofys, die Deutsche Energie-Agentur (**dena**) und PricewaterhouseCoopers (**PwC**) haben die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Energieeffizienzstrategie Gebäude der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2015]) bis 2050 untersucht, mit dem bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden soll (THAMLING u.a. [2017]). Grundlage sind die einer früheren Studie von Prognos, dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) und dem Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) entwickelten Zielszenarien (SEEFELDT u.a. [2015]). Mit ihnen sollen bis 2050 für Raumwärme, Raumkühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung in Gebäuden sowie Beleuchtung in Nicht-Wohngebäuden 80% weniger nicht erneuerbarer Energien als 2008 benötigt werden (THAMLING u.a. [2017, S. 10]; SEEFELDT u.a. [2015, S. 34]). Das Ziel ist mit sehr unterschiedlichen Gewichtungen von Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien erreichbar (THAMLING u.a. [2017, S. 11]). Für die beiden äußeren Ränder des daraus resultierenden Kombinationskorridors haben SEEFELDT u.a. [2015, S. 34] (vgl. auch THAMLING u.a. [2017, S. 11]) zwei Zielszenarien konstruiert:

- › Zielszenario Effizienz: Hauptmaßnahme ist die Reduktion des Energieverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen, insbesondere die energetische Sanierung der Gebäudehülle unter Berücksichtigung bekannter Dämmrestriktionen.
- › Zielszenario Erneuerbare Energien: Hauptmaßnahme ist der Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien unter Berücksichtigung von deren begrenzter Verfügbarkeit.

Die beiden Zielszenarien werden verglichen mit einem Referenzszenario, das das bis Ende 2013 vorhandene energie- und klimaschutzpolitische Instrumentarium ohne weitere Verschärfung und einen moderaten, autonomen technischen Fortschritt unterstellt. Im Referenzszenario sinken die energiebedingten Treibhausgasemissionen (einschließlich Vorketten) bis 2050 um 62% gegenüber 1990, in den beiden Zielszenarien sind es 81% bzw. 82% (vgl. Tabelle 17).

Für beide Szenarien sind zusätzliche Investitionen erforderlich. In beiden Szenarien erhöht sich in den ersten Jahren der zusätzliche Investitionsbedarf sukzessive und ist im Zielszenario „Effizienz“ dann recht konstant 5% höher als im Referenzszenario (knapp 2% des Bruttoinlandsprodukts) und im Zielszenario „Erneuerbare Energien“ ebenfalls konstant um 3% höher als im Referenzszenario (gut 1% des Bruttoinlandsprodukts) (THAMLING u.a. [2017, S. S. 24f]). Kumuliert beläuft sich der zusätzliche Investitionsbedarf bis 2050 im Szenario „Effizienz“ auf 373 Mrd. EUR und im Szenario „Erneuerbare Energien“ auf 208 Mrd. EUR (vgl. Tabelle 17).

Ausgangspunkt für die Projektion der gesamtwirtschaftlichen Effekte waren die energiewirtschaftlichen und sozio-demographischen Annahmen mit Ausnahme der Energiepreisentwicklung der Energieriferenzprognose (SCHLESINGER u.a. [2014]; vgl. Abschnitt 5.6) (THAMLING u.a. [2017, S. 13]). Die Energiepreise wurden an den Ölpreisverfall im Winter 2014/15 an den seinerzeit aktuellen Rand angepasst (vgl. Tabelle 16) (THAMLING u.a. [2017, S. 13]). Die Projektion der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung bis 2050 erfolgte mit dem globalen makroökonomischen Prognosemodell VIEW von Prognos, wobei die projizierte Entwicklung für das Referenzszenario an die seinerzeit aktuelle Basisprognose von Prognos „angelehnt“ war (THAMLING u.a. [2017, S. 13-15]). VIEW berücksichtigt 42 Länder und enthält Input-Output-Tabellen differenziert nach 72 Branchen (THAMLING u.a. [2017, S. 14]). Die skizzierten Investitionsimpulse der beiden Zielszenarien gehen in das Prognosemodell VIEW ein.

Der Projektion zufolge ist das Bruttoinlandsprodukt in beiden Zielszenarien höher als im Referenzszenario (vgl. Tabelle 17), wobei die Differenz im Zeitverlauf in beiden Szenarien weitgehend kontinuierlich zunimmt (THAMLING u.a. [2017, S. 26]). Im Zielszenario „Effizienz“ erhöht sich ab etwa 2025 das Bruttoinlandsprodukt fast doppelt so stark wie im Zielszenario „Erneuerbare Energien“ (THAMLING u.a. [2017, S. 26]). Im Jahr 2050 beläuft sich der Unterschied auf 2,2% und 1,4% (vgl. Tabelle 17).

Etwa jeweils halb so stark erhöht sich der Projektion zufolge in beiden Zielszenarien das Arbeitsvolumen (vgl. Tabelle 17). Das zusätzliche Arbeitsvolumen entspricht im Jahr 2050 im Zielszenario „Effizienz“ etwa 400.000 Beschäftigten und im Zielszenario „Erneuerbare Energien“ etwa 250.000 Beschäftigten. Der Projektion zufolge nähme die Zahl der Erwerbstätigen tatsächlich nur um etwa ein Drittel davon zu (vgl. Tabelle 17), weil zugleich der Anteil der Teilzeitbeschäftigte rückläufig wäre (THAMLING u.a. [2017, S. 25]). Beschäftigungsgewinne gibt es im Verarbeitungen Gewerbe (Zielszenario „Effizienz“: +8.000 Personen; Zielszenario „Erneuerbare Energien“: +6.000 Personen) und bei Dienstleistungen (+102.000 bzw. +71.000 Personen).

**Tabelle 16: Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle von Prognos u.a. (2017)**

Merkmal	2020	2030	2040	2050
Rohöl bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	10,70	15,70	17,90	20,50
Erdgas bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	5,30	8,00	9,20	10,50
Steinkohle bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	2,30	7,70	2,80	2,90
Niedrigere Preise für Sensitivitätsanalyse				
Rohöl bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	9,80	12,00	11,30	10,60
Erdgas bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	5,10	7,30	7,90	8,50
Steinkohle bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	2,10	2,10	1,90	1,70

Anmerkung: Angaben real in Preisen von 2015.

Quelle: THAMLING u.a. [2017, S. 22].

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden niedrigere internationale Energiepreise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle (vgl. Tabelle 16) sowie Biomasse unterstellt (THAMLING u.a. [2017, S. 22]). Detaillierte Ergebnisse hierfür werden nicht ausgewiesen, THAMLING u.a. [2017, S. 27] zufolge jedoch blieben „Ergebnisse und Kernaussagen der makroökonomischen Berechnungen stabil“.

**Tabelle 17: Zentrale Ergebnisse der Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes im Gebäudesektor in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2017)**

Szenario	2020	2030	2040	2050
Minderung der energiebedingten Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors (einschließlich Vorketten) gegenüber 2008 (303 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente)				
Referenzszenario	-22%	-37%	-	-62%
Effizienz	-27%	-50%	-	-81%
Erneuerbare Energien	-28%	-49%	-	-82%
Zusätzlicher Investitionsbedarf gegenüber dem Referenzszenario in Mrd. EUR (real in Preisen von 2015) (kumuliert 373 Mrd. EUR bzw. 208 Mrd. EUR bis 2050)				
Effizienz	7,7	10,7	11,3	10,4
Erneuerbare Energien	5,8	5,4	5,3	5,6
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Referenzszenario				
Effizienz	+1,0%	+1,7%	+2,0%	+2,2%
Erneuerbare Energien	+1,0%	+1,0%	+1,3%	+1,4%
Änderung des Arbeitsvolumens gegenüber dem Referenzszenario				
Effizienz	+0,6%	+1,0%	+1,0%	+1,0%
Erneuerbare Energien	+0,7%	+0,5%	+0,6%	+0,7%
Änderung der Zahl der Erwerbstätigen gegenüber dem Referenzszenario				
Effizienz	+189.000 (+0,4%)	+187.000 (+0,5%)	+142.000 (+0,4%)	+124.000 (+0,3%)
Erneuerbare Energien	+200.000 (+0,5%)	+102.000 (+0,2%)	+91.000 (+0,2%)	+87.000 (+0,2%)

Quelle: SEEFELDT u.a. [2015, S. 40], THAMLING u.a. [2017, S. 23f, 44], eigene Berechnungen.

## 5.5 Bisherige und künftige Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**), das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (**DLR**), Prognos und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (**ZSW**) befassen sich anhand eines Vergleichs unterschiedlicher Szenarien eines

nationalen und globalen Ausbaus erneuerbarer Energien mit den zu erwartenden (Netto-) Beschäftigungseffekten bis 2050 im Inland (LEHR u.a. [2015]).

Die unterschiedlichen Szenarien zum Ausbau erneuerbarer Energien basieren auf den gleichen Rahmendaten. Hierzu gehören die Bevölkerungsentwicklung, der Wohnflächenbedarf, das Verkehrsaufkommen, der Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 sowie Preise für Investitionsgüter, Brennstoffe und Emissionszertifikate (vgl. Tabelle 18) (LEHR u.a. [2015, S. 95-97]). Im Jahr 2050 wird der Personenverkehr zur Hälfte durch Strom angetrieben. Zudem wird angenommen, dass die Effizienzziele hinsichtlich Strom- und Endenergieverbrauch des Energiekonzepts der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2010]) im Wesentlichen erreicht werden (LEHR u.a. [2015, S. 99]). Auf nationaler Ebene werden zwei Szenarien unterschieden (LEHR u.a. [2015, S. 94-96, 100]):

- › Nullszenario: Im Nullszenario werden erneuerbare Energien entsprechend dem Ausbaustand von 1995 genutzt. Bei der Stromerzeugung erfolgt aufgrund der steigenden Emissionspreise (vgl. Tabelle 18) eine Verschiebung von Kohle zu Gas. Im Jahr 2050 wird der Personenverkehr zur Hälfte weiterhin durch mineralische Kraftstoffe angetrieben.
- › Ausbauszenario: Erneuerbare Energien werden bis 2013 entsprechend der tatsächlichen Entwicklung genutzt, anschließend erfolgt ein weiterer Ausbau. Im Jahr 2050 wird der Personenverkehr in relevantem Umfang durch Wasserstoff-Brennstoffzellen (15%) und Biokraftstoffe angetrieben. Ausschließlich aufgrund der unterschiedlichen Antriebstechnologien im Verkehrssektor ist der Endenergieverbrauch im Ausbauszenario etwas geringer als im Nullszenario.

Ausgehend vom Ausbaustand 1995 verharrt im Nullszenario der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch bis 2050 auf niedrigem Niveau (vgl. Abbildung 41). Hingegen nimmt er im Ausbauszenario sukzessive bis auf 58% zu. Entsprechend unterschiedlich entwickeln sich die energiebedingten Kohlendioxidemissionen in den beiden Szenarien (vgl. Abbildung 42). Diese machten 1990 etwa 79% aller Treibhausgasemissionen aus.<sup>44</sup> Im Nullszenario gehen die energiebedingten Kohlendioxidemissionen vor allem wegen der verbesserten Energieeffizienz und wegen des Ersatzes anderer fossiler Energieträger durch Erdgas (LEHR u.a. [2015, S. 100]) sukzessive bis 2050 um 43% gegenüber 1990 zurück. Im Ausbauszenario trägt neben der verbesserten Energieeffizienz der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien (LEHR u.a. [2015, S. 100]) zu einer sukzessiven Reduktion der energiebedingten Kohlendioxidemissionen bis 2050 um 84% gegenüber 1990 bei. In diesem Szenario werden 2050 fossile Energieträger vor allem noch für den Schwerlastverkehr (Mineralölprodukte) eingesetzt, zudem wird Gas energetisch verwendet (LEHR u.a. [2015, S. 100]).

Die erforderlichen Investitionen in den Energiesektor unterscheiden sich zwischen den beiden Szenarien ebenfalls erheblich (vgl. Abbildung 43). Im Nullszenario sinken die jährlichen Investitionen von 17 Mrd. EUR im Jahr 2015 auf 7 Mrd. EUR im Jahr 2050. Im Ausbauszena-

<sup>44</sup> Nach aktuellem Rechenstand 990 Mio. Tonnen energiebedingte Kohlendioxidemissionen, dies entsprach 79% aller Treibhausgasemissionen von 1.248 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent (Umweltbundesamt [2021b, S. 70, 958]).

rio sind die erforderlichen Investitionen in den Energiesektor erheblich höher. Sie sinken leicht von 36 Mrd. EUR im Jahr 2015 auf 28 Mrd. EUR im Jahr 2050. Insgesamt summieren sich die bis 2050 erforderlichen Investitionen im Nullszenario auf mehr als 300 Mrd. EUR, im Ausbauszenario auf mehr als 1.300 Mrd. EUR (LEHR u.a. [2015, S. 169]), entsprechend sind für das Ausbauszenario bis 2050 zusätzliche Investitionen im Umfang von 1.000 Mrd. EUR erforderlich.

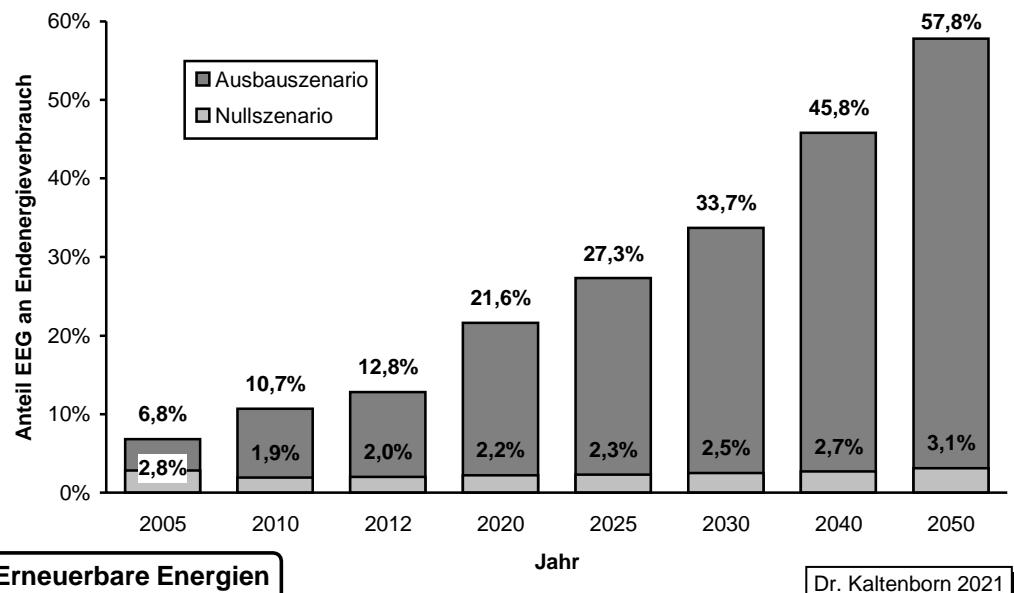
**Tabelle 18: Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel der GWS u.a. (2015)**

Merkmal	Ist	Annahme / Prognose				
	2012	2020	2025	2030	2040	2050
Importpreis für Rohöl in EUR je Gigajoule	15,40	15,90	16,80	18,00	20,40	22,80
Importpreis für Erdgas in EUR je Gigajoule	7,80	9,10	9,50	9,90	10,80	11,70
Importpreis für Steinkohle in EUR je Gigajoule	3,90	4,20	4,30	4,40	4,60	4,70
Emissionszertifikat in EUR je Tonne Kohlendioxid-Äquivalent	7,70	11,70	15,60	19,50	27,20	35,00

Anmerkung: Angaben real in Preisen von 2012; konstanter Wechselkurs des Euro von 1,285 US-Dollar angenommen.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 98].

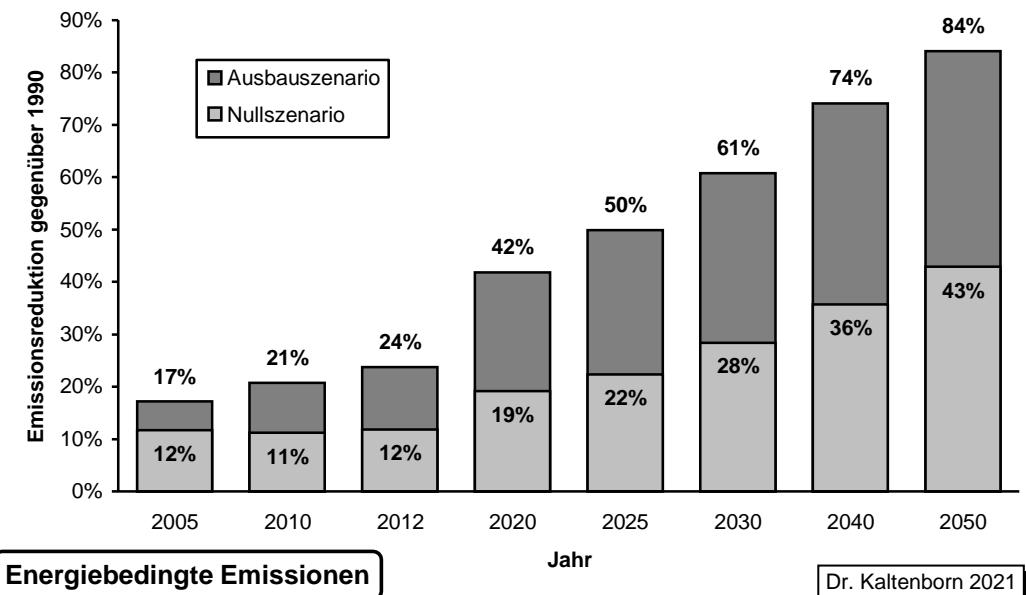
**Abbildung 41: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch 2005 bis 2050 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: EEG: erneuerbaren Energien.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 101f].

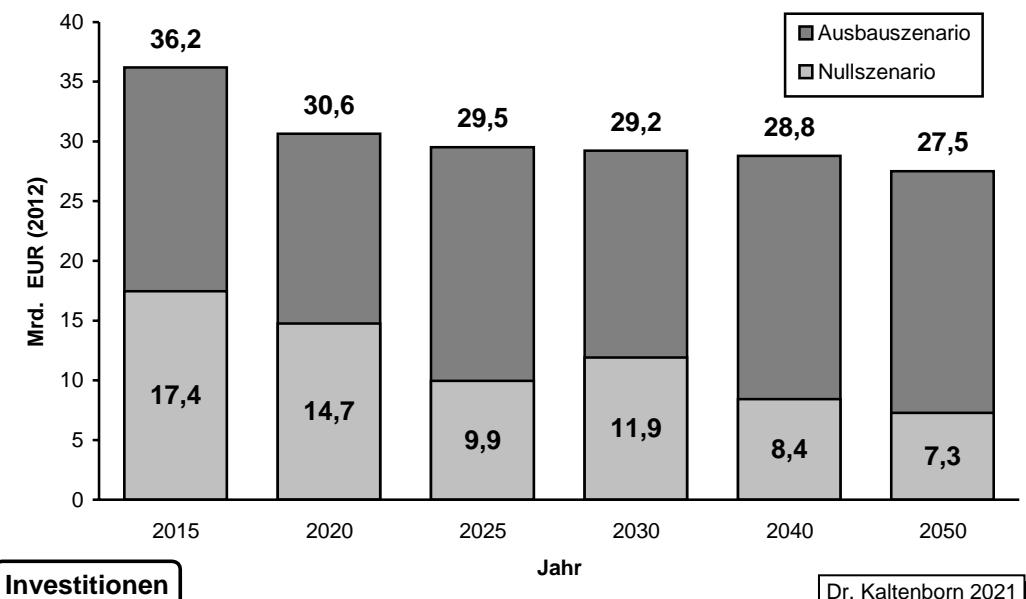
**Abbildung 42: Reduktion der energiebedingten Kohlendioxidemissionen 2005 bis 2050 gegenüber 1990 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: 1990: 993 Mio. Tonnen Kohlendioxidemissionen lt. LEHR u.a. [2015, S. 101f]; nach aktuellem Rechenstand 990 Mio. Tonnen Kohlendioxidemissionen, dies entsprach dies 79% aller Treibhausgasemissionen von 1.248 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent (Umweltbundesamt [2021b, S. 70, 958]).

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 101f], Umweltbundesamt [2021b, S. 70, 958], eigene Berechnungen.

**Abbildung 43: Investitionen in erneuerbare und fossile Strom- und Wärmeerzeugung 2015 bis 2050 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: real in Preisen von 2012.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 108, 111].

Zudem werden auf Basis von alternativen Szenarien für den globalen Klimaschutz bis 2050 unterschiedliche Annahmen für die Exporte von Klimaschutzzügen deutscher Unternehmen getroffen (LEHR u.a. [2015, S. 116f]):

- › Current-Policy Szenario: Das Current-Policy Szenario schreibt die seinerzeit aktuellen Trends fort. Es basiert auf dem gleichnamigen Szenario der Internationalen Energieagentur bis 2035 und einer weiteren Fortschreibung bis 2050 einer anderen Studie (TESKE u.a. [2012]).
- › Energy [R]evolution Szenario: Mit dem Energy [R]evolution Szenario wird eine Reduktion der globalen Kohlendioxidemissionen um 80% auf rund 3.000 Mio. Tonnen jährlich bis 2050 angestrebt. Hierzu werden Effizienzpotenziale konsequent ausgeschöpft, die erneuerbaren Energien massiv ausgebaut und der Ausstieg aus der Kernenergie mittelfristig und aus der Kohle langfristig vollzogen. Eine Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund wird nicht angenommen.

Die in den beiden Szenarien global außerhalb Deutschlands erforderlichen Investitionen in erneuerbare Energien zeigt Abbildung 44. Während im Current-Policy Szenario die jährlichen Beträge gegenüber 330 Mrd. EUR im Jahr 2012 leicht zurückgehen, nehmen sie im Energy [R]evolution Szenario deutlich auf rund 1.800 Mrd. EUR in den Jahren 2040 und 2050 zu.

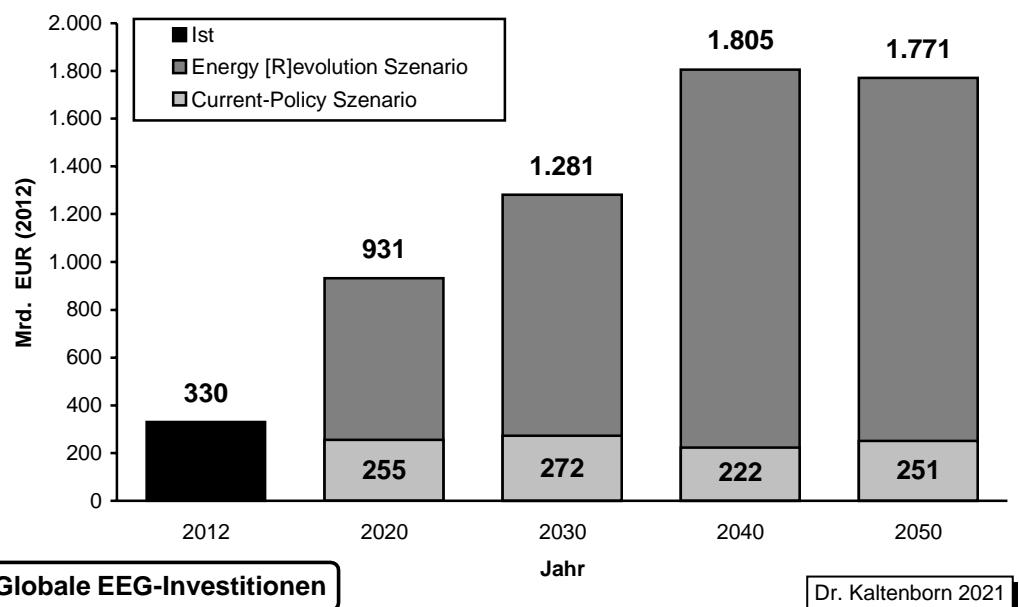
Aus den beiden Szenarien für den globalen Klimaschutz werden differenziert nach zehn Weltregionen und elf Technologien drei verschiedene Pfade für den Export von Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Technologien entwickelt (LEHR u.a. [2015, S. 133-152]):

- › Exportpfad A: Der Exportpfad A basiert auf dem Energy [R]evolution Szenario und geht davon aus, dass die deutschen Anteile am Welthandel des Jahres 2012 unverändert bleiben. Allerdings wird die Entwicklung des Welthandels in Relation zur Entwicklung des Weltmarkts differenziert nach elf Technologien angepasst.
- › Exportpfad B: Der Exportpfad B geht ebenfalls vom Energy [R]evolution Szenario aus. Gegenüber dem Exportpfad A sind die deutschen Anteile am Welthandel um ein Drittel vermindert.
- › Exportpfad C: Der Exportpfad C basiert auf dem Current-Policy Szenario. Hier wird davon ausgegangen, dass die Relation des Welthandels zum Weltmarkt ebenso wie die deutschen Anteile am Welthandel ab 2012 unverändert bleiben.

Unberücksichtigt bleibt in den Exportpfaden A und B, dass im Fall des globalen Ausbaus erneuerbarer Energien die Exporte konventioneller Technologien geringer sein dürften.<sup>45</sup> Die resultierenden deutschen Exporte von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien von 2012 bis 2050 in den drei verschiedenen Exportpfaden zeigt Abbildung 45. Ohne global verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien würden der Studie zufolge die deutschen Exporte von Anlagen und Komponenten hierfür im Exportpfad C von 10 Mrd. EUR im Jahr 2012 auf 5 bis 8 Mrd. EUR jährlich zurückgehen. Bei einem verstärkten weltweiten Ausbau hingegen würden die deutschen Exporte in den Exportpfaden A und B auf 16 bis 30 Mrd. EUR jährlich zunehmen.

<sup>45</sup> E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 29. Juli 2021.

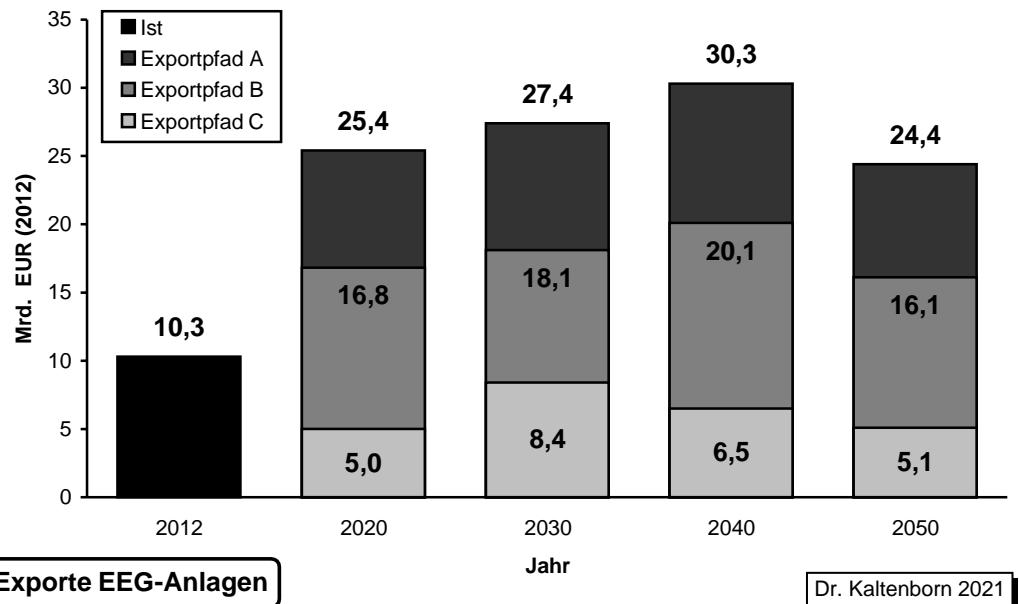
**Abbildung 44: Globale Investitionen außerhalb Deutschlands in erneuerbare Energien von 2012 bis 2050 in verschiedenen Szenarien der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: Angaben in nominalen Preisen.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 136]; E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 27. Juli 2021.

**Abbildung 45: Deutsche Exporte von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien von 2012 bis 2050 in verschiedenen Exportpfaden der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: EEG: erneuerbaren Energien; Angaben in nominalen Preisen.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 146, 148, 150]; E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 27. Juli 2021.

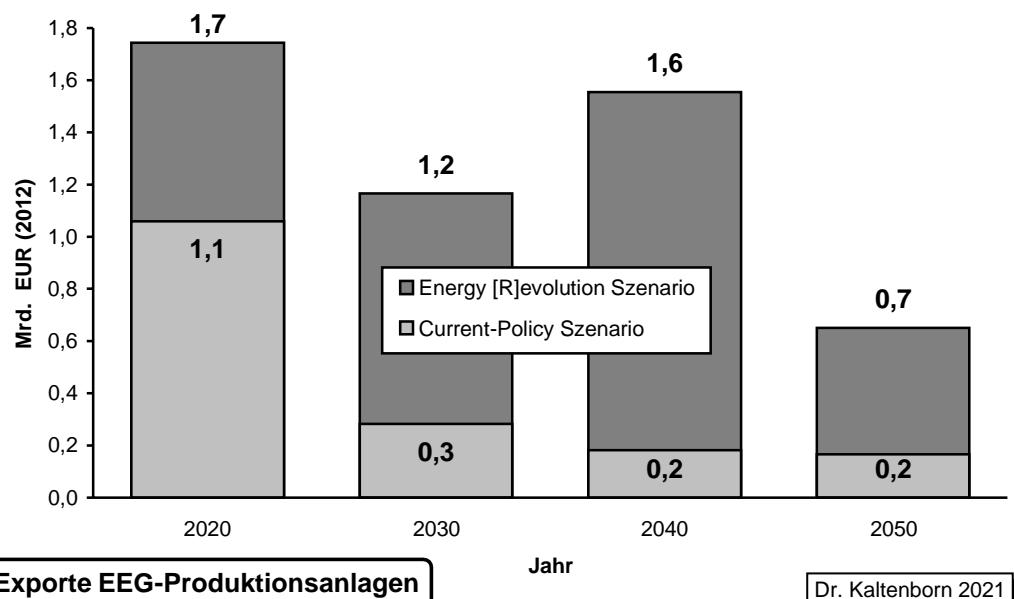
Zudem berücksichtigen LEHR u.a. [2015, S. 153-163] Exporte von Produktionsanlagen zur Herstellung von Technik für erneuerbare Energien differenziert nach sechs Technologien in zwei Varianten:

- › Höhere Exportvariante: Die höhere Exportvariante geht vom Energy [R]evolution Szenario aus. Der Weltmarktanteil sinkt von 33% im Jahr 2012 über rund 22% in den Jahren 2020 bis 2030 auf etwa 20% im Jahr 2050.
- › Niedrigere Exportvariante: Die niedrigere Exportvariante basiert auf dem Current-Policy Szenario und geht von rückläufigen Exporten aus.

Die deutschen Exporte von Produktionsanlagen für Technik für erneuerbare Energien von 2020 bis 2050 in den beiden Exportvarianten zeigt Abbildung 46. In der niedrigeren Exportvariante sinken die Exporte von 1,1 Mrd. EUR im Jahr 2020 auf 0,2 bis 0,3 Mrd. EUR jährlich im weiteren Verlauf. In der höheren Exportvariante belaufen sich die Exporte 2020 auf 1,7 Mrd. EUR, schwanken im weiteren Verlauf und betragen 2050 schließlich 0,7 Mrd. EUR.

Vermutlich unberücksichtigt bleiben die Exporte von Produktionsanlagen für Technik für die Nutzung konventioneller Energien, die im Energy [R]evolution Szenario geringer als im Current-Policy Szenario ausfallen müssten.

**Abbildung 46: Deutsche Exporte von Produktionsanlagen für Technik für erneuerbare Energien von 2020 bis 2050 in verschiedenen Exportvarianten der GWS u.a. (2015)**



Anmerkung: Angaben in nominalen Preisen.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 159, 162]; E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 27. Juli 2021.

Die makroökonomischen Auswirkungen der Energiewende werden mit dem makroökonomischen Modell PANTA RHEI der GWS abgeschätzt (LEHR u.a. [2015, S. 165-167]). Ausgewiesen werden die Ergebnisse des Ausbauszenarios im Vergleich zum Nullszenario (ohne Exporte von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien und ohne Exporte

von Produktionsanlagen hierfür) (vgl. Tabelle 19). Wird das Ausbauszenario mit dem mittleren Exportpfad B für Exporte von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien sowie der niedrigeren Exportvariante für Produktionsanlagen kombiniert, so fällt der Projektion zufolge das Bruttoinlandsprodukt 1,0% bis 2,3% im Jahr 2050 höher aus als im Nullszenario. Der Projektion zufolge entfallen jeweils rund 40% der erhöhten Wirtschaftsleistung auf zusätzliche Exporte (vgl. LEHR u.a. [2015, S. 171]). Die zusätzlichen Exporte wiederum resultieren hauptsächlich, jedoch nicht ausschließlich auf Exporte von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien sowie von Produktionsanlagen hierfür (LEHR u.a. [2015, S. 172]). In geringem Maße als die Wirtschaftsleistung ist der Projektion zufolge ist auch die Zahl der Erwerbstätigen im Ausbauszenario höher als im Nullszenario. Die Differenz nimmt sukzessive von 50.000 im Jahr 2020 auf 232.000 im Jahr 2050 zu. Die Änderungen werden nach 21 Branchen differenziert. Bis 2030 ist die Zahl der zusätzlichen Arbeitsplätze bei den erneuerbaren Energien (Herstellung von Anlagen und Komponenten, Dienstleistungen für die Installation, Betrieb und Wartung) sogar noch höher (im Gegenzug ist sie in anderen Branchen geringer) und macht im Jahr 2050 immer noch die Hälfte aus (LEHR u.a. [2015, S. 172f]). Daneben profitiert das Baugewerbe mit 16.000 bis 25.000 zusätzlich Beschäftigten, während in der traditionellen Energieversorgung (ohne erneuerbare Energien) zwischen 1.000 und 16.000 weniger Personen beschäftigt sind.

**Tabelle 19: Zentrale Ergebnisse der Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes in Deutschland nach Berechnungen der GWS u.a. (2015)**

Merkmal	2015	2020	2030	2040	2050
Ausbauszenario mit Exportpfad B und niedrigere Exportvariante für Produktionsanlagen (Änderung gegenüber dem Nullszenario ohne Exporte <sup>a</sup> )					
Bruttoinlandsprodukt	+1,0%	+1,0%	+1,4%	+1,9%	+2,3%
Exporte (in Mrd. EUR)	+10,0	+13,3	+16,2	+22,8	+32,8
Erwerbstätige	+50.000 (+0,1%)	+73.000 (+0,2%)	+110.000 (+0,3%)	+190.000 (+0,6%)	+232.000 (+0,7%)
Ausbauszenario mit Exportpfad A und höhere Exportvariante für Produktionsanlagen (Änderung gegenüber dem Nullszenario ohne Exporte <sup>a</sup> )					
Erwerbstätige	+70.000	+150.000	+170.000	+250.000	+270.000
Ausbauszenario mit Exportpfad C ohne Exporte von Produktionsanlagen (Änderung gegenüber dem Nullszenario ohne Exporte <sup>a</sup> )					
Erwerbstätige	+10.000	-20.000	+50.000	+110.000	+180.000

<sup>a</sup> von Anlagen und Komponenten für erneuerbare Energien sowie von Produktionsanlagen hierfür.

Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

Quelle: LEHR u.a. [2015, S. 171, 175]; E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 27. Juli 2021.

Zudem kombinieren LEHR u.a. [2015, S. 174-176] das Ausbauszenario mit alternativen Exportannahmen. Bei höheren Exporten (Exportpfad A, höhere Exportvariante) ist die Beschäftigung erwartungsgemäß etwas höher, während sie bei geringeren Exporten (Exportpfad C,

ohne Exporte von Produktionsanlagen für erneuerbare Energien) erwartungsgemäß geringer ist (vgl. Tabelle 19).

## 5.6 Künftige Effekte der Energiewende

**Prognos**, das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (**EWI**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) haben die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der seinerzeit geplanten Energiewende bis 2050 projiziert (SCHLESINGER u.a. [2014]). Die Untersuchung basiert ausgehend vom Basisjahr 2011 auf Annahmen zur globalen und nationalen Entwicklung (Demographie, Technologie, Energiepreise - vgl. Tabelle 20) bis 2050 (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 45-74]). Die weltwirtschaftliche Entwicklung wurde mit dem globalen makroökonomischen Prognosemodell VIEW von Prognos prognostiziert (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 57-59]). Für Deutschland wird bis 2050 von einem durchschnittlichen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts von 1,03% jährlich und einem Rückgang der Zahl der Erwerbstäigen von 41,1 Mio. im Jahr 2011 auf 35,9 Mio. (vgl. Tabelle 20) ausgegangen (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 65, 324]). Dies entspricht einem Rückgang der Zahl der Erwerbstäigen um knapp 13% binnen fast vier Dekaden.

**Tabelle 20: Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel sowie Prognose der Erwerbstätigkeit von Prognos u.a. (2014)**

Merkmal	Ist	Annahme / Prognose					
		2011	2020	2025	2030	2040	2050
Rohöl bei Grenzübergang in EUR je Tonne	593	697	737	780	834	891	
Erdgas bei Grenzübergang in Cent je kWh	2,3	3,0	3,1	3,1	3,3	3,3	
Kraftwerkssteinkohle bei Grenzübergang in tSKE	107	107	114	118	129	137	
Emissionszertifikat in EUR je Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent	13	10	25	40	65	76	
Erwerbstätige in Mio. in Deutschland	41,1	39,7	39,1	38,3	37,1	35,9	

Anmerkung: Angaben real in Preisen von 2011; annahmegemäß sinkt der Wechselkurs des Euro von 1,39 US-Dollar im Jahr 2011 auf 1,21 US-Dollar im Jahr 2050.

Quelle: SCHLESINGER u.a. [2014, S. 65, 71].

Als Vergleichspunkt mit einem Zielszenario dient eine „wahrscheinliche Entwicklung der Energiemarkte bis 2030“ (Energiereferenzprognose), die mit den „in der Referenzprognose angelegten Trends im Bereich von Politik, Technologie und Marktdurchdringung“ bis 2050 fortgeschrieben wird (Trendszenario) (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 39, 41]).

Mit dem Zielszenario sollen die energie- und klimaschutzpolitischen Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2010]; vgl. auch Abschnitt 2.4) erreicht werden (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 3]). Im Vergleich zur Energiereferenzprognose und zum Trendszenario geht das Zielszenario von einer Verbesserung der Energieeffizienz und einem verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien aus.

Den Berechnungen zufolge gehen die energiebedingten Treibhausgasemissionen in der Energieriferenzprognose bis 2030 um 43%, im Trendszenario bis 2050 um 65% jeweils gegenüber 1990 zurück (vgl. Tabelle 21).<sup>46</sup> Im Zielszenario wird eine deutliche Reduktion erreicht, sie beläuft sich - wie im Energiekonzept der Bundesregierung angestrebt - auf 56% und 80%. Hierfür sind zusätzliche Investitionen von durchschnittlich etwa 0,3% des Bruttoinlandsprodukts bzw. kumuliert bis 2050 von gut 450 Mrd. EUR erforderlich (vgl. auch Tabelle 21) (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 319]).

**Tabelle 21: Zentrale Ergebnisse zur Energiewende in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2014)**

Szenario	2020	2025	2030	2040	2050
Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) gegenüber 1990 (1990 waren ungefähr 83% der Treibhausgasemissionen energiebedingt)					
Energieriferenzprognose und Trendszenario	-36%	-41%	-43%	-54%	-65%
Zielszenario	-43%	-50%	-56%	-70%	-80%
Zusätzlicher Investitionsbedarf gegenüber Energieriferenzprognose und Trendszenario in Mrd. EUR (in 38 Jahren kumuliert gut 450 Mrd. EUR, durchschnittlich 12 Mrd. EUR bzw. rund 0,3% des Bruttoinlandsprodukts jährlich)					
Zielszenario	+12	k.A.	+14	+12	+8
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber Energieriferenzprognose und Trendszenario					
Zielszenario	+0,1%	+0,1%	+0,1%	+0,5%	+1,0%
Änderung der Zahl der Erwerbstätigen gegenüber Energieriferenzprognose und Trendszenario					
Zielszenario	-12.000 (-0,0%)	-4.000 (-0,0%)	-16.000 (-0,0%)	+53.000 (+0,1%)	+118.000 (+0,3%)

Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

Quelle: SCHLESINGER u.a. [2014, S. 242, 319, 327], Umweltbundesamt [2021b, S. 70], eigene Berechnungen.

Vor allem die im Zielszenario zusätzlich erforderlichen Investitionen sowie die gegenüber der Energieriferenzprognose und dem Trendszenario veränderten Strompreise und -importe sind die wesentlichen Größen, die die makroökonomischen Wirkungen eines verstärkten Klimaschutzes auslösen (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 316]). Diese wurden mit dem makroökono-

<sup>46</sup> Ergänzend haben SCHLESINGER u.a. [2014] die Auswirkungen höherer bzw. niedrigerer internationaler Brennstoffpreise, höherer bzw. niedrigerer Technologiekosten sowie eines international verstärkten Klimaschutzes auf Treibhausgasemissionen, Bruttoinlandsprodukt und Erwerbstätigkeit geschätzt (vgl. Abschnitt 5.12). Allerdings ist für diese abweichenden Annahmen kein sinnvoller Vergleich mit dem Zielszenario möglich, da hierfür keine entsprechenden Berechnungen durchgeführt wurden.

metrischen Modell PANTA RHEI der GWS projiziert (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 315f, 537]).

Der Projektion zufolge erhöht sich das durchschnittliche jährliche Wachstum des Bruttoinlandsprodukts bis 2050 im Zielszenario auf 1,06% gegenüber 1,03% in der Energierefenzprognose und dem Trendszenario (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 324]). Der Projektion zufolge ist das Bruttoinlandsprodukt in den Jahren 2020, 2025 und 2030 im Zielszenario lediglich um 0,1% höher als in der Energierefenzprognose, in den Jahren 2040 und 2050 jedoch um 0,5% bzw. um 1,0% höher als im Trendszenario (vgl. Tabelle 21). Im Zielszenario ist die Zahl der Erwerbstäigen bis zum Jahr 2030 leicht geringer als in der Energierefenzprognose (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 327]), in den Jahren 2040 und 2050 hingegen etwas höher als im Trendszenario (vgl. Tabelle 21). Dabei unterscheidet sich die projizierte Entwicklung deutlich zwischen fünf Wirtschaftssektoren: Im Baugewerbe und Teilen des Verarbeitenden Gewerbes (insbesondere bei der Herstellung von Investitionsgütern) sowie in den damit verbundenen unternehmensnahen Dienstleistungen ist die Zahl der Erwerbstäigen höher, während konsumnahe Branchen (vor allem Handel und konsumnahe Dienstleistungen) sowie die Energieversorgung negativ betroffen sind (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 328]). Wie Teilsimulationen für sechs Maßnahmen zeigen, reduzieren im Zielszenario vor allem höhere Strompreise die Zahl der Erwerbstäigen, gegenläufig wirken vor allem und insbesondere langfristig die Energieeinsparungen (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 328, 331]).

## 5.7 Künftige und bisherige Effekte eines verstärkten nationalen Klimaschutzes

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) und **Prognos** haben teils retrospektiv und teils prospektiv die makroökonomischen Auswirkungen eines verstärkten Klimaschutzes in den Jahren 2000 bis 2050 untersucht (LUTZ u.a. [2018b]). Der Studie liegen Annahmen zur Entwicklung von Bevölkerung und Haushalten, zur Wirtschaft und Erwerbstätigkeit, zu Preisen insbesondere für Energie und Emissionsrechte (vgl. Tabelle 22), zu Witterung und Klima, zum Wohnflächenbedarf und zum Warmwasserverbrauch zugrunde (LUTZ u.a. [2018b, S. 9, 13-18]). Für die Zeit von 2014 bis 2050 wird von einem durchschnittlichen Wirtschaftswachstum von 1,3% ausgegangen (LUTZ u.a. [2018b, S. 16]). Zur Ermittlung der Auswirkungen eines verstärkten Klimaschutzes wird ein Energiewende-Szenario mit einem kontrafaktischen Szenario ohne Energiewende ab dem Jahr 2000 verglichen.

Das Energiewende-Szenario berücksichtigt die tatsächliche Entwicklung von 2000 bis 2014, im weiteren Verlauf bis 2050 wird eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80% bis 85% gegenüber 1990 angestrebt (LUTZ u.a. [2018b, S. 5, 7]). Zur Zielerreichung werden in diesem Szenario vorrangig Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz berücksichtigt, nachrangig ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien (LUTZ u.a. [2018b, S. 6]). Zudem erfolgt die Auswahl technischer Maßnahmen nicht unter Kostengesichtspunkten, sondern es haben solche Vorrang, deren Funktionsfähigkeit erprobt ist und bei denen bei stärkerem Einsatz deutliche Lernkurven zu erwarten sind (LUTZ u.a. [2018b, S. 6f]). Gleichwohl werden keine Maßnahmen eingesetzt, die seinerzeit noch sehr teuer waren, dies gilt insbesondere für die Industrie, um ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit zu schützen (LUTZ u.a. [2018b, S. 7]). Nach Einschätzung von LUTZ u.a. [2018b, S. 8] seien die Einschätzungen zu den ver-

fügbaren Technologien konservativ. Verzichtet wird im Energiewende-Szenario auf die Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund und - wie bereits vorgesehen - ab 2023 auf die Nutzung von Kernenergie (LUTZ u.a. [2018b, S. 6, 8]). Die übrigen Staaten verfolgen überwiegend ebenfalls ambitionierte Klimaziele, wodurch die technologische Entwicklung beschleunigt und deren Kosten sinken würden (LUTZ u.a. [2018b, S. 9]). Zudem vermindert der globale Klimaschutz das Risiko von Wettbewerbsnachteilen für die heimische Industrie. Gleichwohl werden konservative Annahmen zum Export von Energiewendegütern getroffen (LUTZ u.a. [2018b, S. 84]).

Das kontrafaktische Szenario geht davon aus, dass ab Anfang 2000 keine weiteren Maßnahmen zur Energiewende ergriffen werden, seinerzeit erreichte Standards jedoch erhalten bleiben (LUTZ u.a. [2018b, S. 9]). Die Emissionsverpflichtungen des Kyoto-Protokolls werden nicht eingehalten, es wird (2005) kein Europäisches Emissionshandelssystem eingeführt und auch keine anderweitige Bepreisung von Treibhausgasemissionen (LUTZ u.a. [2018b, S. 11]). Das kontrafaktische Szenario geht davon aus, dass alle ab dem Jahr 2000 tatsächlich eingeführten Instrumente in Deutschland und auf EU-Ebene nicht umgesetzt werden, bereits bestehende Förderprogramme auslaufen und nicht weitergeführt werden (LUTZ u.a. [2018b, S. 10]). Die Kernenergie darf weiterhin genutzt werden, allerdings lohnt der Bau neuer Kernkraftwerke mangels staatlicher Förderung nicht, so dass die letzten Kernkraftwerke in Deutschland im Laufe der 2030er Jahre abgeschaltet werden (LUTZ u.a. [2018b, S. 11, 51, 56]). Die übrigen Staaten streben ebenso wie Deutschland keine weitere Transformation des Energiesystems an (LUTZ u.a. [2018b, S. 10]). Es gibt eine moderate, autonom getriebene technologische Entwicklung, die jedoch nicht von der Politik beeinflusst wird (LUTZ u.a. [2018b, S. 10]). Für das kontrafaktische Szenario wird von einer höheren globalen Nachfrage nach fossilen Energieträgern und infolgedessen höheren internationalen Energiepreisen als im Energiewende-Szenario ausgegangen, allerdings werden diese Preisunterschiede nur bei der Strommarktmödellierung berücksichtigt, die auf Preisunterschiede sensitiv reagiert (LUTZ u.a. [2018b, S. 17]). Die unterschiedlichen Preispfade für Erdgas und Steinkohle zeigt Tabelle 22.

Im Energiewende-Szenario sinken die Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) bis 2030 um 53% und bis 2050 um 81% jeweils gegenüber 1990 (vgl. Tabelle 23) (LUTZ u.a. [2018b, S. 61f]). Damit wird das seinerzeitige Ziel des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2016]) einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55% bis 2030 verfehlt, das seinerzeit angestrebte langfristige Ziel für 2050 jedoch erreicht. Demgegenüber sind im kontrafaktischen Szenario die Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 2000 nahezu unverändert (LUTZ u.a. [2018b, S. 115]), mithin um etwa 17% geringer als 1990.

Tabelle 23 und Abbildung 47 zeigen die für die Energiewende zusätzlich erforderlichen Investitionen. Demnach belief sich der zusätzliche Investitionsbedarf in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts im Durchschnitt auf 17 Mrd. EUR jährlich, hat in den drei folgenden Dekaden jeweils eine Größenordnung von 50 Mrd. EUR jährlich, um in der fünften Dekade dann auf 43 Mrd. EUR jährlich zu sinken und 2050 schließlich nur noch 20 Mrd. EUR (LUTZ u.a. [2018b, S. 44]) zu betragen (jeweils real in Preisen von 2014). Etwa 70% des gesamten zusätzlichen Investitionsvolumens von 2.152 Mrd. EUR entfallen auf die Verbesserung der Energieeffizienz und lediglich 30% auf die Stromerzeugung. Diese Verteilung wird auch da-

durch beeinflusst, dass beim Energiewende-Szenario annahmegemäß Maßnahmen zur Energieeffizienz Vorrang vor dem Einsatz erneuerbarer Energien haben.

**Tabelle 22: Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel der GWS u.a. (2018)**

Merkmal	Ist	Annahme				
	2014	2020	2030	2040	2050	
Rohöl am Weltmarkt in US-Dollar je Barrel	98	79	111	124	133	
Importpreis für Erdgas in US-Dollar je MMBtu	9,40	7,10	10,30	11,50	12,50	
Importpreis für Steinkohle in US-Dollar je Tonne	62	63	74	77	79	
Emissionszertifikat in EUR je Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent	k.A.	10	35	65	100	
Grenzübergangspreise für das Strommarktmodell						
Kontrafaktisches Szenario:						
Steinkohle in EUR je MWh	k.A.	10	14	15	16	
Erdgas in EUR je MWh Ho	k.A.	23	34	38	43	
Energiewende-Szenario						
Steinkohle in EUR je MWh	k.A.	8	9	10	10	
Erdgas in EUR je MWh Ho	k.A.	20	27	31	35	

Anmerkung: Angaben real in Preisen von 2015.

Quelle: LUTZ u.a. [2018b, S. 16f].

Die makroökonomischen Auswirkungen der Energiewende werden mit dem makroökonomischen Modell PANTA RHEI der GWS abgeschätzt (LUTZ u.a. [2018b, S. 125f]). Die Energiewende stimuliert den Berechnungen zufolge die Wirtschaft, wobei der Unterschied beim Bruttoinlandsprodukt zwischen dem Energiewende- und dem kontrafaktischen Szenario weitgehend sukzessive auf 3,8% im Jahr 2050 zunimmt.<sup>47</sup> Eine Ausnahme bilden die Jahre 2009 bis 2011, in denen das Bruttoinlandsprodukt infolge der seinerzeit hohen Investitionen in Photovoltaik-Anlagen kurzzeitig mit bis zu 2,0% höher war. Mit dem höheren Bruttoinlandsprodukt ist ein zusätzlicher Arbeitskräftebedarf verbunden. Allerdings nimmt die Zahl der Erwerbstätigen nicht im gleichen Ausmaß zu, ihr Zuwachs beträgt 2050 lediglich 1,0% bzw. rund 377.000 Personen. Mit dem infolge der Energiewende gestiegenen Arbeitskräftebedarf erhöhen sich auch die Stundenlöhne, den Berechnungen zufolge im Jahr 2050 sogar um 5%.

<sup>47</sup> Die LUTZ u.a. [2018b] untersuchen zudem die Sensitivität des von ihnen verwendeten makroökonomischen Modells PANTA RHEI gegenüber Kapazitätsbeschränkungen auf dem Arbeitsmarkt und bei Investitionen für das Energiewendeszenario (vgl. Abschnitt 5.12), nicht jedoch für das kontrafaktische Szenario.

**Tabelle 23: Zentrale Ergebnisse zur Energiewende nach Berechnungen der GWS u.a. (2018)**

Merkmal	2010	2020	2030	2040	2050
Reduktion der Treibhausgasemissionen (CO <sub>2</sub> -Äquivalente) in Deutschland gegenüber 1990					
Energiewende	25%	k.A.	53%	k.A.	81%
kontrafaktisches Szenario	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	ca. 17% (Niveau von 2000)
Kumulierter zusätzlicher Investitionsbedarf im Energiewende-Szenario gegenüber dem kontrafaktischen Szenario von 2000 bis zum angegebenen Jahr in Mrd. EUR (real in Preisen von 2014)					
insgesamt	189	684	1.203	1.722	2.152
Energieeffizienz	101	443	878	1.255	1.518
Stromerzeugung	88	241	326	467	634
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem kontrafaktischen Szenario					
Energiewende	+2,0% <sup>a</sup>	+2,1% <sup>a</sup>	+2,45%	+3,42%	+3,8%
Änderung der Zahl der Erwerbstätigen gegenüber dem kontrafaktischen Szenario					
Energiewende	+201.000 (+0,5%)	+126.700 (+0,3%)	+222.300 (+0,52%)	+370.500 (+0,90%)	+377.400 (+1,0%)
Änderung des durchschnittlichen Stundenlohns gegenüber dem kontrafaktischen Szenario in EUR					
Energiewende	+0,4	+1,0	+1,2	+1,9	+2,6 (+5%)

<sup>a</sup> Zumindest in den Jahren 2012 und 2015 ist der Effekt des Energiewende-Szenarios auf das Bruttoinlandsprodukt geringer als 2010 und 2020.

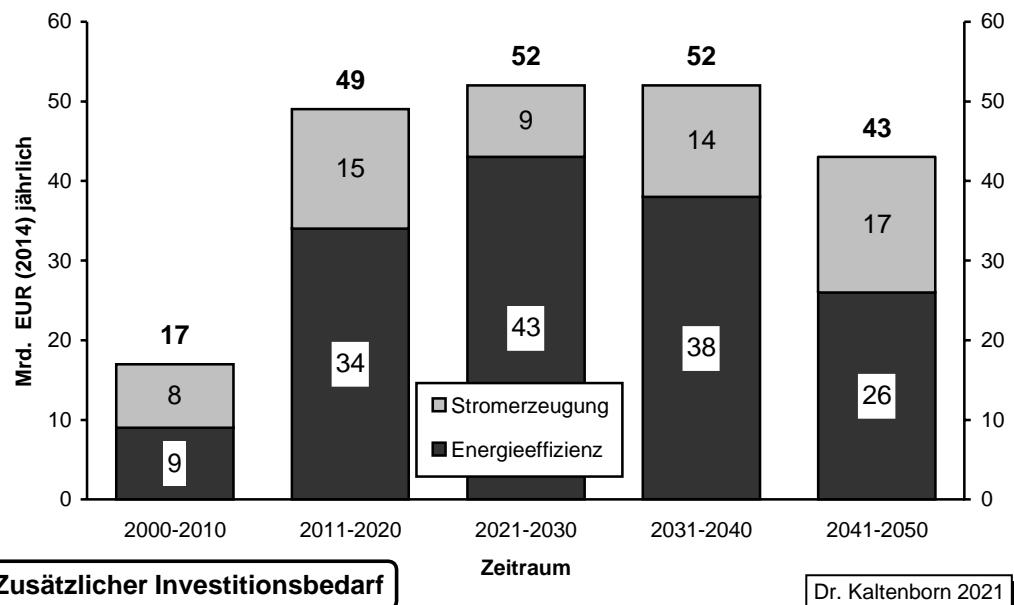
Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau; Reduktion der Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario im Jahr 2010 und im kontrafaktischen Szenario im Jahr 2050 berechnet als tatsächliche Reduktion im Jahr 2010 bzw. im Jahr 2000 gegenüber 1990 anhand des Datenstandes zum Zeitpunkt der Publikation.

Quelle: LUTZ u.a. [2018b, S. 61f, 67, 76, 80f, 115], ULRICH, LEHR und LUTZ [2018, S. 11], Umweltbundesamt [2018, S. 924], eigene Berechnungen.

Die Studie weist zudem Beschäftigungsänderungen im Zeitverlauf differenziert nach fünf Sektoren aus (LUTZ u.a. [2018b, S. 84f]). Im Verarbeitenden Gewerbe gab es anfangs leichte Beschäftigungsgewinne, ab den 2020er Jahren dann jedoch leichte Beschäftigungsverluste (2050: ca. -40.000). Im Bergbau und bei der Energieversorgung reduziert die Energiewende durchgehend die Beschäftigung, im Maximum mit einem Rückgang um etwa 20.000 um 2030. Eine deutliche Beschäftigungszunahme gibt es hingegen langfristig im Dienstleistungs-

bereich (2050: ca. +310.000), aber auch im Handel (2050: ca. +50.000) und der Bauwirtschaft (2050: ca. +20.000).

**Abbildung 47: Zusätzlicher Investitionsbedarf für die Energiewende von 2000 bis 2050 nach Berechnungen der GWS u.a. (2018)**



Anmerkung: Angegeben ist der zusätzliche Investitionsbedarf im Energiewende-Szenario gegenüber dem kontrafaktischen Szenario in Mrd. EUR (real in Preisen von 2014) jährlich im Durchschnitt des angegebenen Zeitraumes.

Quelle: LUTZ u.a. [2018b, S. 44f, 60, 67].

Eine weitere Studie der GWS differenziert die von LUTZ u.a. [2018b] projizierten Auswirkungen der Energiewende in den Jahren 2000 bis 2050 auf die Wirtschaftsleistung und Erwerbstätigkeit für die Jahre 2030 und 2040 nach Bundesländern (ULRICH, LEHR und LUTZ [2018]). Hierzu verwenden sie das Modell LÄNDER, das nach 25 Wirtschaftsbereichen differenziert (ULRICH, LEHR und LUTZ [2018, S. 40-44]). Der Studie zufolge wirkt sich insbesondere ein regional hoher Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung positiv auf die Zahl der Erwerbstätigen aus (ULRICH, LEHR und LUTZ [2018, S. 34]). Daneben wirken sich regional hohe Anteile des Baugewerbes und persönlicher Dienstleistungen sowie regional geringe Anteile von Energieversorgung und Industrie ebenfalls positiv auf die Zahl der Erwerbstätigen aus. Dementsprechend ist der Studie zufolge der Zuwachs an Erwerbstätigen besonders hoch in Schleswig-Holstein, gefolgt von Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen und Berlin sowie Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz. Zudem differenzieren ULRICH, LEHR und LUTZ [2018, S. 35] die Auswirkungen der Energiewende auf das Bruttoinlandsprodukt nach Bundesland. Hierzu wird die Abweichung des nominalen Bruttoinlandsprodukts im Energiewende-Szenario vom nominalen Bruttoinlandsprodukt im kontrafaktischen Szenario in den Jahren 2030 und 2040 herangezogen. Da sich die Preisentwicklung zwischen den beiden Szenarien erheblich unterscheidet (LUTZ u.a. [2018b, S. 81]) erscheint der Vergleich nominaler Größen nicht zweckmäßig, daher werden die Ergebnisse hier nicht berichtet.

**Prognos** hat die von LUTZ u.a. [2018b] ermittelten Beschäftigungseffekte im retrospektiven Zeitraum von 2000 bis 2015 separiert und für die Jahre 2005, 2010, 2012 und 2015 für fünf Sektoren ausgewiesen (HOCH u.a. [2019, S. 13-14]). Den Berechnungen zufolge waren per Saldo im Jahr 2015 aufgrund der Energiewende etwa 71.000 Personen zusätzlich beschäftigt. Vor allem im Baugewerbe, im verarbeitenden Gewerbe und bei den Dienstleistungen war die Zahl der Beschäftigten aufgrund der Energiewende höher, im Bergbau und der Energieversorgung hingegen geringer.

## 5.8 Künftige Effekte eines verstärkten nationalen Klimaschutzes

Eine Studie der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) und des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) untersucht die Auswirkungen ausgewählter Maßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2019a]) auf Wirtschaft und Arbeitskräftebedarf bis 2035 (MÖNNIG u.a. [2020]). Berücksichtigt wurden insgesamt elf der über 60 Einzelmaßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030 (MÖNNIG u.a. [2020, S. 16]):

- › Einführung einer Kohlendioxid-Bepreisung (in den Sektoren Wärme und Verkehr);
- › Senkung der Stromkosten;
- › Anhebung der Entfernungspauschale für Fernpendler;
- › Entlastung von Wohngeldbeziehern und Mietrecht;
- › Erneuerung von Heizanlagen;
- › Ausbau der Ladesäuleninfrastruktur für die Elektromobilität;
- › Erhöhung der Attraktivität des Öffentlichen Personennahverkehrs;
- › Erhöhung der Attraktivität des Schienenpersonenverkehrs;
- › Bahnhfahren billiger machen;
- › Fliegen teurer machen;
- › Batteriezellfertigung in Deutschland stärken.

Die Analyse der Maßnahmen erfolgte im Modellrahmen der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen (MAIER u.a. [2018]; insbesondere zur aktuellen sechsten Welle vgl. Abschnitt 2.3) durch Vergleich mit der dortigen Basisprojektion (MÖNNIG u.a. [2020, S. 14]). Der Projektion zufolge haben die elf Maßnahmen in den einzelnen Jahren gegenläufige Auswirkungen auf die Wirtschaftsleistung (MÖNNIG u.a. [2020, S. 32]): Von 2019 bis 2028 ist das Bruttoinlandsprodukt infolge der Maßnahmen leicht geringer bzw. leicht höher, von 2029 bis 2032 mit auf bis 4 Mrd. EUR (real) jährlich zunehmendem Verlust, bei dem es dann bis 2035 bleibt. Gleichwohl ist der Arbeitskräftebedarf stets größer als in der Basisprojektion, die elf Maßnahmen erfordern also per Saldo zusätzliche Arbeitskräfte (MÖNNIG u.a. [2020, S. 35f]). Der zusätzliche Arbeitskräftebedarf nimmt sukzessive bis auf 30.000 im Jahr 2026 zu und nimmt dann sukzessive bis auf rund 4.000 im Jahr 2035 ab (MÖNNIG u.a.

[2020, S. 35f, 40]).<sup>48</sup> Der zusätzliche Arbeitskräftebedarf trotz reduzierter Wirtschaftsleistung resultiert daraus, dass die neuen Arbeitsplätze vor allem in beschäftigungsintensiven Branchen wie dem Baugewerbe entstehen (MÖNNIG u.a. [2020, S. 36]). Gleichzeitig fallen Arbeitsplätze in anderen der insgesamt 25 Wirtschaftszweige weg, wie etwa dem Verarbeiten den Gewerbe und im Dienstleistungsbereich (MÖNNIG u.a. [2020, S. 36f]). Auch auf Ebene der 37 Berufshauptgruppen spiegelt sich die Branchenverteilung, zusätzliche Arbeitskräfte werden vor allem in Hoch- und Tiefbauberufe, (Innen-), Ausbauberufen sowie Gebäude- und versorgungstechnischen Berufe benötigt (MÖNNIG u.a. [2020, S. 37f]). Dabei werden zusätzliche Arbeitskräfte in allen vier Anforderungsniveaus benötigt, vor allem jedoch zusätzliche Fachkräfte und Spezialistinnen und Spezialisten (MÖNNIG u.a. [2020, S. 39]). Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen werden von zwei der elf Einzelmaßnahmen dominiert, die Kohlendioxid-Bepreisung in den Sektoren Wärme und Verkehr reduziert und die Erneuerung von Heizanlagen erhöht den Arbeitskräftebedarf (MÖNNIG u.a. [2020, S. 39]).

Das **Öko-Institut**, das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (**Fraunhofer ISI**), **Prognos**, **M-Five**, das Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (**IREES**) und das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (**FiBL**) haben die Auswirkungen der im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2016]) erstmals festgelegten Sektorziele bis 2030 (vgl. Tabelle 7 in Abschnitt 2.4) untersucht (REPENNING u.a. [2019]). Wichtige Annahmen, wie etwa zur gesamtwirtschaftlichen und demographischen Entwicklung, der Preise für Energie und Emissionszertifikate (vgl. Tabelle 24), der Verkehrsnachfrage und des Wohnraumbedarfs, basieren auf einem in den Bundesressorts abgestimmten Rahmendatenset (REPENNING u.a. [2019, S. 26f, 347-366]). Auf Basis der angenommenen Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts wurde mit dem weltwirtschaftlichen Prognose- und Simulationsmodell VIEW von Prognos die Entwicklung der Bruttowertschöpfung und der Zahl der Erwerbstäigen jeweils differenziert nach Wirtschaftszweig bis 2050 projiziert (REPENNING u.a. [2019, S. 367f]). Der Projektion zufolge reduziert sich die Gesamtzahl der Erwerbstäigen in den Jahren 2020 bis 2025 um durchschnittlich 0,3% jährlich, in den nächsten fünf Jahren um durchschnittlich 0,9% jährlich und von 2030 bis 2050 um 0,7% jährlich.

Die Studie vergleicht bis zum Jahr 2030 zwei alternative Zielszenarien zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 jeweils mit einem Referenzszenario. Das Referenzszenario entspricht weitgehend dem Mit-Maßnahme-Szenario des Projektionsberichts 2017 (der Bundesregierung) (o.V. [o.J.]) (REPENNING u.a. [2019, S. 27]), wobei dieses Szenario wiederum von REPENNING u.a. [2020] entwickelt wurde. Das Referenzszenario berücksichtigt die bis Ende Juli 2016 umgesetzten Maßnahmen (o.V. [o.J., S. 37]). Mit den beiden Zielszenarien wird eine Reduktion der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) um 55% bis 2030 gegenüber 1990 angestrebt und zudem die Sektorziele des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2016]) beachtet (vgl. Tabelle 7 in Abschnitt 2.4). Den Be-

<sup>48</sup> Demgegenüber sind nach MÖNNIG u.a. [2020, S. 39] die Auswirkungen im Jahr 2025 mit einem Zugewinn von 23.000 Arbeitsplätzen am stärksten, während allerdings in Abbildung 31 von MÖNNIG u.a. [2020, S. 39] für 2025 als Saldo der auf- und abgebauten Arbeitsplätze 26.000 ausgewiesen werden.

rechnungen zufolge werden bis 2030 Einsparungen von 56% erreicht, mit dem Referenzszenario hingegen lediglich 41% (vgl. Tabelle 25).

**Tabelle 24: Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel des Öko-Instituts u.a. (2019)**

Merkmal	2020	2025	2030
Rohöl in EUR je MWh	37,80	42,10	46,10
Erdgas in EUR je MWh	21,10	21,10	21,10
Steinkohle in EUR je MWh	10,90	10,90	10,90
Emissionszertifikat in EUR je Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent	7,00	10,00	15,00

Anmerkung: Angaben real in Preisen von 2013.

Quelle: REPENNING u.a. [2019, S. 27, 358f].

Die beiden Zielszenarien unterscheiden sich durch die Maßnahmebündel: Zielszenario A setzt vor allem auf eine Verbesserung der Energieeffizienz, während im Zielszenario B vor allem erneuerbare Energien ausgebaut oder alternative Strategien verfolgt werden (REPENNING u.a. [2019, S. 29]). Für das Zielszenario A sind im Zeitraum von 2018 bis 2030 insgesamt 270 Mrd. EUR (in Preisen von 2010) zusätzliche Investitionen in den Klimaschutz erforderlich, beim Zielszenario B sind es mit 240 Mrd. EUR etwas weniger (Tabelle 25). Die zusätzlich erforderlichen Investitionen belaufen sich damit auf weniger als 1% des Bruttoinlandsprodukts bzw. auf weniger als 4% der Bruttoinvestitionen aus dem Jahr 2016 (REPENNING u.a. [2019, S. 76]).

Die weiteren makroökonomischen Konsequenzen der Szenarien wurden mit dem dynamischen makroökonomischen Simulationsmodell ISI-Macro des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI projiziert (REPENNING u.a. [2019, S. 80]). Es wird angenommen, dass sich die Gesamtinvestitionen durch die zusätzlich erforderlichen Investitionen erhöhen (kein crowding-out); insoweit ist es eher als Potenzial anzusehen (REPENNING u.a. [2019, S. 92]). Alternativ wird angenommen, die zusätzlich erforderlichen Investitionen würden in gleichem Umfang andere, ansonsten getätigte Investitionen verdrängen (vollständiges crowding-out). In dem Modell wird u.a. die Investitionsnachfrage für den Klimaschutz auf 72 Wirtschaftsbereiche aufgeteilt. Die Aufteilung auf Importe und heimische Produktion erfolgt anhand der Input-Output-Tabelle aus dem Jahr 2012. Die für die heimische Produktion erforderlichen Vorleistungen werden ebenfalls anhand der Input-Output-Tabelle aus dem Jahr 2012 auf 72 inländische Wirtschaftsbereiche sowie den Import aufgeteilt. Schließlich werden die sektoralen Beschäftigungseffekte anhand der Veränderung der Produktion in den Wirtschaftsbereichen bestimmt, offenbar werden hierzu ebenfalls historische Relationen verwendet.

**Tabelle 25: Zentrale Ergebnisse zum Klimaschutzplan 2050 in Deutschland nach Berechnungen des Öko-Instituts u.a. (2019)**

Jahr	Referenzszenario	Zielszenario A	Zielszenario B
Reduktion der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) gegenüber 1990			
2025	37%	46%	46%
2030	41%	56%	56%
Zusätzlicher Investitionsbedarf gegenüber dem Referenzszenario in Mrd. EUR (real in Preisen von 2010)			
kumuliert 2018 bis 2030	±0	270	240
2025	±0	23	22
2030	±0	26	21
<b>ohne crowding-out</b>			
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Referenzszenario			
2025	±0	+0,9% <sup>a</sup>	+1,2% <sup>a</sup>
2030	±0	+1,1% <sup>a</sup>	+1,6% <sup>a</sup>
Änderung der Zahl der Beschäftigten gegenüber dem Referenzszenario			
2025	±0	+1,0% <sup>a</sup>	+0,8% <sup>a</sup>
2030	±0	+427.000 (+1,2%)	+307.000 (+0,9%)
<b>mit vollständigem crowding-out</b>			
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Referenzszenario			
2030	±0	+0,5%	+0,3%
Änderung der Zahl der Beschäftigten gegenüber dem Referenzszenario			
2030	±0	+30.000	±0

<sup>a</sup> Wert aus Abbildung entnommen und daher möglicherweise ungenau.

Anmerkung: Die eigene Berechnung der relativen Reduktion der Treibhausgasemissionen im Jahr 2025 gegenüber 1990 basiert auf den von REPENNING u.a. [2019, S. 34] ausgewiesenen Treibhausgasemissionen.

Quelle: REPENNING u.a. [2019, S. 33f, 36f, 74f, 93-96], eigene Berechnungen.

Das Bruttoinlandsprodukt ist im Zielszenario um etwa 0,9% (2025) bzw. 1,1% (2030) höher als im Referenzszenario, im Zielszenario B sind es 1,2% und 1,6% (vgl. Tabelle 25). Die höhere Wirtschaftsleistung ist insbesondere das Resultat des höheren Investitionsvolumens und der rückläufigen Importe fossiler Energieträger (REPENNING u.a. [2019, S. 92]). Selbst mit vollständigem crowding-out wäre der Projektion zufolge das Bruttoinlandsprodukt etwas hö-

her als im Referenzszenario, im Jahre 2030 wären es im Zielszenario A 0,5% und im Zielszenario B 0,3%. Ohne crowding-out wäre der Projektion zufolge die Zahl der Beschäftigten in den beiden Zielszenarien ab 2025 um knapp bzw. gut 1% höher als im Referenzszenario. Bei vollständigem crowding-out bliebe der Projektion zufolge die Beschäftigung nahezu unverändert.

Die Beschäftigungseffekte ohne crowding-out im Jahr 2030 weisen REPENNING u.a. [2019, S. 96] differenziert nach 13 Wirtschaftsbereichen aus. Zuwächse gibt es in beiden Zielszenarien bei Handel und sonstigen Dienstleistungen, im Bau- und Ausbaugewerbe und bei der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischen Ausrüstungen. Beschäftigungsrückgänge werden insbesondere für den Kohlenbergbau sowie die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen und für den sonstigen Fahrzeugbau projiziert.

Ergänzend befassen sich REPENNING u.a. [2019, S. 101-112] mit den Auswirkungen eines verstärkten Klimaschutzes auf die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Einerseits biete Klimaschutz die Chance, Zukunftsinvestitionen in Deutschland anzusiedeln (REPENNING u.a. [2019, S. 101]). In einigen wenigen Sektoren könnten Klimaschutzkosten jedoch Wettbewerbs- und Standortnachteile verstärken. Dem werde derzeit entgegengewirkt, indem die Industrie von einem Großteil der Klimaschutzkosten ausgenommen sei. Dies sei jedoch langfristig nicht tragfähig. Etwaige Wettbewerbsverzerrungen durch nationalen Klimaschutz seien maßgeblich von den Klimaschutzbemühungen anderer Staaten abhängig. Das internationale Pariser Klimaschutzabkommen, das alle Vertragsstaaten verpflichte, reduziere derartige Wettbewerbsverzerrungen. Als Indiz für Wettbewerbsfähigkeit ziehen REPENNING u.a. [2019, S. 101-103] die Strompreise für die nicht energieintensive und die energieintensive Industrie heran. Die Strompreisentwicklung bis 2030 unterschiede sich zwischen dem Referenzszenario und den beiden Zielszenarien nur geringfügig und in unterschiedlicher Richtung, insoweit ergäben sich durch einen verstärkten Klimaschutz keine Wettbewerbsnachteile. Ergänzend betrachten REPENNING u.a. [2019, S. 103-112] bis 2030 die Entwicklung der Energiestückkosten, dem Verhältnis der Energiekosten einer Branche im Verhältnis zu deren Bruttoproduktionswert. Insgesamt ergäben sich durch die beiden Zielszenarien eine deutlich verringerte Sensitivität gegenüber der Entwicklung der Energiepreise und insofern eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit (REPENNING u.a. [2019, S. 112]). Ursächlich hierfür sei die verbesserte Energieeffizienz und der reduzierten Bedeutung fossiler Brennstoffe.

The Boston Consulting Group (**BCG**) und **Prognos** untersuchen die ökonomischen Konsequenzen zweier unterschiedlich anspruchsvoller Reduktionsziele für die Treibhausgasemissionen Deutschlands bis 2050 (GERBERT u.a. [2018]). Die Schätzung basiert auf Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung (GERBERT u.a. [2018, S. 22]) und geht für Deutschland bis 2050 von einem Wirtschaftswachstum von 1,2% jährlich aus (GERBERT u.a. [2018, S. 36]).

Als Vergleichspunkt dient der Studie ein Referenzszenario. Das Referenzszenario geht im Grundsatz von der Fortschreibung historischer Trends sowie seinerzeit aktueller Politik- und Technologieentwicklungen aus und verfolgt kein quantifiziertes Ziel zur Treibhausgasreduktion (GERBERT u.a. [2018, S. 21, 24]).

Die beiden Zielszenarien unterscheiden sich hinsichtlich des Ambitionsniveaus: Ein Zielszenario geht von einer Reduktion der Treibhausgasemissionen Deutschlands bis 2050 um 80% gegenüber 1990 aus, das andere Zielszenario von einer Reduktion um 95%. Für 2030 oder andere Jahre bis dahin werden keine Klimaziele definiert. Hinsichtlich der zur Zielerreichung erforderlichen technischen Maßnahmen werden vorrangig solche umgesetzt, die volkswirtschaftlich mit den geringsten Vermeidungskosten über den gesamten Zeitraum bis 2050 verbunden sind (Kosteneffizienz) (GERBERT u.a. [2018, S. 77f]). Mehrkosten und Einsparungen werden mit einem volkswirtschaftlichen Realzins von 2% jährlich auf 2015 diskontiert (GERBERT u.a. [2018, S. 79]). Berücksichtigt werden lediglich solche Technologien, die aus seinerzeitiger Sicht bis 2050 mit hinreichender Sicherheit einsatzreif und in ihrer Wirkung quantifizierbar waren (GERBERT u.a. [2018, S. 21]). Im anspruchsvolleren 95%-Zielszenario wird die Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund berücksichtigt (GERBERT u.a. [2018, S. 18f]). GERBERT u.a. [2018, S. 72-76] skizzieren zudem mögliche neue Technologien für den Klimaschutz, deren technologische und wirtschaftliche Reife bis 2050 seinerzeit nicht absehbar war; eine Quantifizierung erfolgt nicht. Ausgeschlossen werden Maßnahmen, bei denen von größeren Akzeptanzhürden ausgegangen wird; hierzu gehören eine Verzögerung des Atomausstiegs, eine deutlich größere Nutzung von Biomasse und Suffizienzmaßnahmen (z.B. kleinere Autos oder Wohnungen), im 80%-Zielszenario zudem auch die Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund und die Reduktion von Treibhausgasemissionen im Tierbestand. GERBERT u.a. [2018, S. 80] geben einen Überblick über die Kosten verschiedener Maßnahmen jeweils zur Vermeidung der Emission von einer Tonne Kohlendioxid-Äquivalent; dabei gibt es auch wirtschaftlich vorteilhafte Maßnahmen mit negativen Kosten. Im 80%-Zielszenario sind die teuersten erforderlichen Maßnahmen zum Klimaschutz mit 135 EUR pro Tonne Kohlendioxid-Äquivalent verbunden, im 95%-Zielszenario sind es fast 400 EUR pro Tonne (vgl. Tabelle 26). Dabei gibt es auch einzelne ökonomisch vorteilhafte Maßnahmen zum Klimaschutz (negative Vermeidungskosten), die dennoch im Referenzszenario nicht durchgeführt würden.

Während den Berechnungen zufolge mit dem Referenzszenario im Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) um 61% gegenüber 1990 reduziert werden, erreichen beide Zielszenarien die vorgegebenen Reduktionsziele von 80% bzw. 95% (vgl. Tabelle 26). Im Jahr 2030 würde durch das Referenzszenario eine Reduktion um 45% erreicht, das 80%-Zielszenario würde mit einer Reduktion um 52% die Zielvorgabe von 55% von § 3 Abs. 1 KSG a.F. verfehlt, während sie mit dem 95%-Zielszenario mit 57% erreicht würde.

GERBERT u.a. [2018, S. 85-88] berechnen den Investitionsbedarf für die verschiedenen Szenarien. Beim Referenzszenario berücksichtigen sie nur solche Investitionen, die bei einer ausschließlich ökonomischen Betrachtung nicht vorteilhaft sind. In den beiden Zielszenarien werden hingegen alle zusätzlich erforderlichen Investitionen berücksichtigt. Für das Referenzszenario weist die Studie einen Investitionsbedarf von rund 530 Mrd. EUR (real in Preisen von 2015) aus (vgl. Tabelle 26), davon rund 270 Mrd. EUR für die Energiewende im Stromsektor, 220 Mrd. EUR für die Elektromobilität und rund 50 Mrd. EUR für Maßnahmen im Gebäudesektor (GERBERT u.a. [2018, S. 86]). Für das 80%-Zielszenario sind zusätzliche Investitionen in Höhe von rund 1.000 Mrd. EUR und für das 95%-Zielszenario von rund 1.770 Mrd. EUR erforderlich. Die jährlichen Mehrinvestitionen der beiden Zielszenarien steigen bis etwa 2040 stetig an (GERBERT u.a. [2018, S. 98]).

Die weiteren makroökonomischen Konsequenzen der Szenarien werden mit einem dynamischen Input-Output-Modell berechnet (GERBERT u.a. [2018, S. 96]). „Die Verflechtungsstruktur der Branchen wird mittels konservativer Annahmen zu technologischen Trends und preisabhängigen Substitutionsmöglichkeiten zwischen Vorleistungsgütern im Szenariozeitraum angepasst“ (GERBERT u.a. [2018, S. 96]). Für die außenwirtschaftlichen Verflechtungen wurde das weltwirtschaftliche Prognose- und Simulationsmodell VIEW von Prognos herangezogen (GERBERT u.a. [2018, S. 33f, 97]). VIEW berücksichtigt 42 Länder, auf die 90% der globalen Wirtschaftsleistung entfallen (GERBERT u.a. [2018, S. 33]). Dabei wird unterstellt, dass die für den Klimaschutz erforderlichen Investitionen in einer Branche zu ähnlich hohen Anteilen aus nationaler Wertschöpfung stammen wie heute (GERBERT u.a. [2018, S. 102]).

Für die globalen Klimaschutzaktivitäten werden zwei alternative Annahmen getroffen (GERBERT u.a. [2018, S. 25-29]):

- › Ohne globalen Klimaschutz: In einer Variante gibt es keinen globalen Klimaschutz, lediglich ausgewählte Länder (Deutschland, Frankreich, Italien, Skandinavien, Benelux, Österreich, die Schweiz, Island und Südkorea) verpflichten sich auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen<sup>49</sup> bis 2050 um 80% gegenüber 1990. Die Verpflichtung Deutschlands wird auch für das Referenzszenario angenommen (GERBERT u.a. [2018, S. 28]), obwohl dieses Ziel mit einer Reduktion lediglich um 61% deutlich verfehlt wird (GERBERT u.a. [2018, S. 39]). Für die Industrie wird davon ausgegangen, dass sie keine über das seinerzeitige Niveau hinausgehenden direkten und indirekten Mehrkosten aus dem Europäischen Emissionshandelssystem tragen muss (GERBERT u.a. [2018, S. 21, 25, 99]).
- › Mit globalem Klimaschutz: In einer zweiten Variante wird angenommen, dass sich alle großen Emittentenstaaten auf einen angemessenen Beitrag zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2°C verpflichten (GERBERT u.a. [2018, S. 25]). Dementsprechend verpflichten sich die Europäische Union, die USA, Japan, Korea, Australien und Neuseeland auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen<sup>50</sup> bis 2050 um 80% bis 95% gegenüber 1990 (GERBERT u.a. [2018, S. 28]). Bei der Projektion werden höhere zusätzliche Exporte aufgrund höherer Klimaschutzinvestitionen im Ausland nicht berücksichtigt (GERBERT u.a. [2018, S. 101]).

Für die beiden Varianten wird von einer unterschiedlichen Entwicklung der Preise für Emissionszertifikate (differenziert nach Weltregionen) und für Energieträger ausgegangen (GERBERT u.a. [2018, S. 27f]). Für die Energiepreise ist der Rohölpreis leitend (GERBERT u.a. [2018, S. 27]), seine angenommene Entwicklung und jene der Preise für Erdgas, Kesselkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel zeigt Tabelle 27.

<sup>49</sup> Dabei wird nicht zweifelsfrei klar, ob sich die Verpflichtung der anderen Länder wie in Deutschland auf die Emission „aller“ Treibhausgase (Kohlendioxid-Äquivalente) oder nur auf Kohlendioxidemissionen bezieht.

<sup>50</sup> Dabei wird nicht zweifelsfrei klar, ob sich die Verpflichtung der anderen Länder wie in Deutschland auf die Emission „aller“ Treibhausgase (Kohlendioxid-Äquivalente) oder nur auf Kohlendioxidemissionen bezieht.

**Tabelle 26: Zentrale Ergebnisse zur Emissionsreduktion bis 2050 um 80% bzw. 95% gegenüber 1990 in Deutschland nach Berechnungen von BCG u.a. (2018)**

	Referenzszenario	80%-Szenario		95%-Szenario
	ohne globalen Klimaschutz	mit globalem Klimaschutz		
Reduktion der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) gegenüber 1990				
2030	45%	52%		57%
2050	61%	80%		95%
Volkswirtschaftliche direkte Vermeidungskosten für die letzte Tonne eingesparten Kohlendioxid-Äquivalents				
bis 2050	k.A.	135 EUR		fast 400 EUR
Kumulierter zusätzlicher Investitionsbedarf <sup>a</sup> von 2015 bis 2050 in Mrd. EUR (real in Preisen von 2015)				
insgesamt	530	~1.500		~2.300
Differenz zu Referenzszenario	±0	~+1.000		~+1.770
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Referenzszenario				
a) ohne crowding-out				
2030	±0	+0,5%	+0,5%	+0,9%
2040	±0	+0,7%	+0,8%	+1,5%
2050	±0	+0,6%	+0,9%	+0,9%
b) mit vollständigen crowding-out (außer im Energiesektor)				
2030	±0	+0,2%	k.A.	k.A.
2040	±0	+0,4%	k.A.	k.A.
2050	±0	+0,4%	k.A.	k.A.
Änderung der Zahl der Erwerbstätigen <sup>b</sup> gegenüber dem Referenzszenario (ohne crowding-out) in Tsd.				
2030	±0	+49	+42	+77
2040	±0	+59	+59	+119
2050	±0	+50	+72	+43

<sup>a</sup> Nicht-wirtschaftliche Investitionen für Klimaschutzmaßnahmen im Referenzszenario und alle über das Referenzszenario hinausgehenden Investitionen der beiden Zielszenarien.

<sup>b</sup> Abweichend von GERBERT u.a. [2018, S. 102] lt. E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 30. Juli 2021  
Erwerbstätige und nicht Beschäftigte.

Quelle: GERBERT u.a. [2018, S. 29, 32, 39, 49, 61, 87, 102f], E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 30. Juli 2021, eigene Berechnungen.

**Tabelle 27: Annahmen zur Entwicklung der Preise für Rohöl, Erdgas, Kesselkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel von BCG u.a. (2018)**

Merkmal	2020	2030	2040	2050
ohne globalen Klimaschutz				
Rohöl in US-Dollar je Barrel	79	111	120	115
Erdgas in EUR je Gigajoule	6,20	7,70	8,60	9,00
Kesselkohle in EUR je Tonne	52	58	60	59
Emissionszertifikat in EUR je Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent <sup>a</sup>	11	26	36	45
mit globalem Klimaschutz				
Rohöl in US-Dollar je Barrel	70	80	70	50
Erdgas in EUR je Gigajoule	5,40	6,90	7,40	7,10
Kesselkohle in EUR je Tonne	46	42	37	27
Emissionszertifikat in EUR je Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent <sup>b</sup>	18	55	113	124

<sup>a</sup> Preis gilt nur für Energie, Industrie und Flug in Deutschland, Frankreich, Italien, Skandinavien, Benelux, Österreich, der Schweiz und Island.

<sup>b</sup> Preis gilt in der gesamten Europäischen Union für alle Sektoren.

Anmerkung: Preise für Emissionszertifikate real in Preisen von 2015.

Quelle: GERBERT u.a. [2018, S. 27f].

Der projizierte Unterschied des Bruttoinlandsprodukts der Zielszenarien in Relation zum Referenzszenario zeigt Tabelle 26. Der Studie zufolge erhöhen zusätzliche Klimaschutzanstrengungen das Bruttoinlandsprodukt in den Jahren 2030, 2040 und 2050 um bis zu 1,5% gegenüber dem Referenzszenario. Wie sich aus dem Vergleich der unterschiedlichen Ergebnisse ergibt,

- › erhöhen Klimaschutzanstrengungen im Inland selbst dann die Wirtschaftsleistung, wenn ein vollständiges crowding-out unterstellt wird und es keine globalen Klimaschutzanstrengungen gibt (mit Schutz der Industrie vor Mehrkosten durch Kohlendioxid-Bepreisung),
- › erhöhen globale Klimaschutzanstrengungen die inländische Wirtschaftsleistung selbst dann geringfügig, wenn von dadurch induzierten höheren Exporten von Klimaschutzgütern im Ausland abstrahiert wird (offenbar als Folge einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit inländischer Unternehmen),
- › erhöht ein ambitionierteres Klimaschutzziel, für das vergleichsweise teure Klimaschutzmaßnahmen ungesetzt werden müssen, nochmals die Wirtschaftsleistung (95%-Zielszenario statt 80%-Zielszenario).

Nach GERBERT u.a. [2018, S. 29] vermindert sich (offenbar im Referenzszenario) die Zahl der Erwerbstäigen<sup>51</sup> von 45,2 Mio. im Jahr 2015 über 45,6 Mio. (2020), 43,2 Mio. (2030) und 40,8 Mio. (2040) auf 39,1 Mio. im Jahr 2050. Ein verstärkter Klimaschutz erhöht die Zahl der Erwerbstäigen der Studie zufolge ohne crowding-out in den Jahren 2030, 2040 und 2050 zwischen 42.000 und 119.000 im Vergleich zum Referenzszenario (Tabelle 26). Im Jahr 2050 entspricht dies je nach Szenario 0,1% oder 0,2%.<sup>52</sup>

Für das Referenzszenario von GERBERT u.a. [2018] weist ein Prognos-Team für die jeweils zehn am stärksten und am wenigstens betroffenen Branchen den Rückgang der Erwerbstätigkeit von 2020 bis 2050 aus (HOCH u.a. [2019, S. 22]).<sup>53</sup> Danach gibt es im Referenzszenario relativ starke Rückgänge im „Bergbau auf Energieträger“ (3,4% jährlich), bei Erdöl und Erdgas (1,8% jährlich), in Kokerei und bei Mineralölerzeugnissen (1,6% jährlich) sowie bei elektrischem Strom, Dienstleistungen der Elektrizität und in der Wärme- und Kälteversorgung (1,3% jährlich). Relativ gering ist der Rückgang der Studie zufolge im Gastgewerbe (0,2% jährlich), bei Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (0,2% jährlich), chemischen Erzeugnissen (0,3% jährlich) und freiberuflichen wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen (0,3% jährlich bzw. insgesamt zwischen 201.000 und 250.000 Erwerbstätige).

Die Auswirkungen einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% auf die Zahl der Erwerbstäigen im Jahr weisen HOCH u.a. [2019, S. 23] für jene Branchen aus, bei denen sie um mindestens 1% sinkt oder steigt sowie für den Handel, die Instandhaltung und die Reparatur von Fahrzeugen (im Jahr 2050 etwa 0,9% bzw. 47.000 weniger Erwerbstätige als im Referenzszenario). Neben der zuletzt genannten Branche gibt es mit den vorbereitenden Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten (Reduktion um 1,5% bzw. 21.000 Erwerbstätige) lediglich eine Branche mit einer Änderung um mehr als 10.000 Erwerbstätige.

Allerdings werden durch die Betrachtung entlang der Wirtschaftsklassifikation Änderungen innerhalb von Branchen nicht erkennbar. HOCH u.a. [2019, S. 24f] betrachten daher ergänzend die Entwicklung in drei „Leitmärkten“ für Klimaschutztechnologien und -dienstleistungen, der regenerativen Energiewirtschaft, der klimafreundlichen Mobilität und der Energieeffizienz. Im 95%-Zielszenario nimmt hier die Zahl der Erwerbstäigen von 1,24 Mio. im Jahr 2018 auf 1,80 Mio. im Jahr 2050 zu. Das durchschnittliche Wachstum beträgt in der regenerativen Energiewirtschaft 0,9% jährlich, in der klimafreundlichen Mobilität 1,7% jährlich und in

<sup>51</sup> Abweichend von GERBERT u.a. [2018, S. 102] lt. E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 30. Juli 2021 Erwerbstätige und nicht Beschäftigte.

<sup>52</sup> BLAZEJCZAK und EDLER [2021] haben die Bruttoeffekte der Investitionen auf den Arbeitskräftebedarf bis 2045 untersucht (vgl. Abschnitt 4.9).

<sup>53</sup> HOCH u.a. [2019, S. 20] weisen für das Referenzszenario eine deutlich geringere Zahl an Erwerbstäigen als GERBERT u.a. [2018, S. 29] aus, nämlich 42,9 Mio. (2020), 41,0 Mio. (2030), 38,8 Mio. (2040) und 36,6 Mio. (2050). Mit E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 30. Juli 2021 wurde darauf hingewiesen, dass die Differenz zwischen dem 95%-Zielszenario und dem Referenzszenario von GERBERT u.a. [2018] übernommen wurde. So sei der Unterschied der projizierten Wertschöpfung zwischen den beiden Szenarien in beiden Studien identisch (GERBERT u.a. [2018, S. 104], HOCH u.a. [2019, S. 20]).

der Energieeffizienz 0,6%. Anders als ansonsten wird die Entwicklung in den drei „Leitmärkten“ im 95%-Zielszenario jedoch nicht mit dem Referenzszenario, sondern nur mit dem seinerzeit aktuellen Status quo verglichen.

Unter Verwendung einer nach Branchen und Bundesländern differenzierten Prognose der Erwerbstätigenentwicklung projizieren HOCH u.a. [2019, S. 27-29] zudem die Auswirkungen einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% auf die Zahl der Erwerbstätigen differenziert nach Bundesland. Im Jahr 2050 gibt es in der Projektion zufolge in den ostdeutschen Flächenländern im Vergleich zum Referenzszenario zwischen 0,15% und 0,20% mehr Erwerbstätige, in den westdeutschen Flächenländern sind es zwischen 0,10% und 0,13%.

Ausgehend von den projizierten branchenspezifischen Auswirkungen einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% projizieren HOCH u.a. [2019, S. 33-36, 38] die Konsequenzen für die Erwerbstätigkeit differenziert nach Berufshauptgruppen und Qualifikationsniveau. Für eine Auswahl an Berufshauptgruppen werden Ergebnisse dargestellt. Danach erhöht ein verstärkter Klimaschutz im Jahr 2050 die Zahl der Erwerbstätigen etwa in Hoch- und Tiefbauberufen (+1,6%), in (Innen-) Ausbauberufen (+1,3%) sowie bei der Bauplanung, Architektur und in Vermessungsberufen (+0,7%), aber auch im Tourismus und in Hotel-Gaststättenberufen (+0,6%). Weniger Erwerbstätige gäbe es der Projektion zufolge etwa in Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufen (-0,9%), lehrenden und ausbildenden Berufen (-0,5%) und in der Kunststoff- und Holzherstellung und -verarbeitung (-0,4%). Hinsichtlich der Qualifikationsniveaus verteilen sich die projizierten zusätzlichen 43.000 Beschäftigten (Tabelle 26) (GERBERT u.a. [2018, S. 103]) bzw. Erwerbstätigen (HOCH u.a. [2019, S. 36]) im Jahr 2050 im Vergleich zum Referenzszenario auf 4.000 mit akademischer Qualifikation (+0,1%), auf 27.000 mit beruflichem Abschluss (+0,1%) und 11.000 ohne beruflichen Qualifikation (+0,2%).

Schließlich weisen HOCH u.a. [2019, S. 37f] für die Branchen mit den projizierten höchsten Beschäftigungszuwächsen und -rückgängen infolge eines verstärkten Klimaschutzes strukturelle Kennzahlen aus. Danach ist im Durchschnitt der Branchen mit dem höchsten Beschäftigungszuwachs der Anteil kleinerer und mittlerer Unternehmen mit 54% und der Anteil von tarifgebundenen Beschäftigten mit 60% etwas höher als im Durchschnitt der Branchen mit dem höchsten Beschäftigungsrückgang (48% und 54%). Umgekehrt ist es beim Frauenanteil unter den Erwerbstätigen (22% und 25%).

Eine weitere Studie von **Prognos** basiert ebenfalls auf den Szenarien für Deutschland bis 2050 von GERBERT u.a. [2018], die mit alternativen Szenarien für den Rest der Welt der Internationalen Energieagentur (International Energy Agency [2019]), die meist nur bis 2040 reichen, kombiniert werden (BURRET u.a. [2020, S. 148]). Daraus resultieren vier Szenarien (vgl. auch Tabelle 28):

- › Business as Usual (BURRET u.a. [2020, S. 153]): Das Szenario basiert für Deutschland auf dem Referenzszenario von GERBERT u.a. [2018] und für Europa und den Rest der Welt auf dem „Current Policies Scenario“ der Internationalen Energieagentur. Abweichend vom Referenzszenario von GERBERT u.a. [2018, S. 21, 25, 99] wird angenommen, dass die Industrie lediglich die Hälfte der Kosten für Emissionsrechte tragen müssen (BURRET u.a. [2020, S. 164]). In Deutschland, Europa und in einigen wichtigen außereuropäischen Industrieländern werden zwar bereits bestehende Klimaschutzanstrengungen fortgesetzt, jedoch keine zusätzlichen Einsparungen bzw. Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt. Es gibt kein Reduktionsziel für die Treibhausgasemissionen. In diesem Szenario werden in Deutschland die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 61% gegenüber 1990 reduziert, in Europa jedoch bis 2040 lediglich um 14% gegenüber 2018, global nehmen sie bis 2040 sogar um 24% zu.
- › Nationaler Alleingang (BURRET u.a. [2020, S. 158-159]): Dieses Szenario basiert für Deutschland auf dem 80%-Zielszenario von GERBERT u.a. [2018] und für Europa und den Rest der Welt auf dem „Stated Policies Scenario“ der Internationalen Energieagentur. Abweichend vom 80%-Zielszenario von GERBERT u.a. [2018, S. 21, 25, 99] wird angenommen, dass die Industrie lediglich die Hälfte der Kosten für Emissionsrechte tragen muss (BURRET u.a. [2020, S. 164]). Während Deutschland also das Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80% gegenüber 1990 verfolgt, verfolgt der Rest der Welt deutlich weniger ambitionierte Klimaziele. Während Deutschland die angestrebte Reduktion seiner Treibhausgasemissionen erreicht, werden die Emissionen in Europa bis 2040 um 37% gegenüber 2018 vermindert, global erhöhen sie sich bis 2040 sogar um 7% gegenüber 2018. Kohlendioxid wird nicht im Untergrund gespeichert.
- › Europäischer Klimaschutz (BURRET u.a. [2020, S. 156-157]): Dieses Szenario basiert für Deutschland auf dem 95%-Zielszenario von GERBERT u.a. [2018], für Europa auf dem „Sustainable Development Scenario“ und den Rest der Welt wiederum auf dem „Stated Policies Scenario“ der Internationalen Energieagentur. Abweichend vom 95%-Zielszenario von GERBERT u.a. [2018, S. 21, 25, 99] wird angenommen, dass die Industrie lediglich die Hälfte der Kosten für Emissionsrechte tragen muss (BURRET u.a. [2020, S. 164, 238]). In diesem Szenario orientieren sich Deutschland und Europa am Ziel der Klimaneutralität bis 2050, während der Rest der Welt weniger ambitionierte Klimaziele verfolgt. Hier reduziert Deutschland seine Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% gegenüber 1990 und Europa vermindert seine Emissionen bis 2040 um 70% gegenüber 2018, während die globalen Emissionen bis 2040 um 7% gegenüber 2018 zunehmen. Kohlendioxid wird im Untergrund gespeichert.
- › Weltweiter Klimaschutz (BURRET u.a. [2020, S. 154-155]): Dieses Szenario basiert für Deutschland auf dem 95%-Zielszenario von GERBERT u.a. [2018] und für Europa und den Rest der Welt auf dem „Sustainable Policies Scenario“ der Internationalen Energieagentur. In diesem Szenario wird weltweit das Ziel einer Begrenzung der globalen Klimaerwärmung auf 1,5 bis 2°C verfolgt. Dementsprechend reduziert Deutschland seine Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% gegenüber 1990, in Europa beträgt bis 2040 die Reduktion 70% gegenüber 2018 und weltweit beläuft sie sich auf 52% gegenüber 2018. Kohlendioxid wird im Untergrund gespeichert.

**Tabelle 28: Zentrale Ergebnisse zur Emissionsreduktion bis 2050 um 80% bzw. 95% gegenüber 1990 in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2020)**

Merkmal /Jahr	Business as Usual	Nationaler Alleingang	Europäischer Klimaschutz	Weltweiter Klimaschutz
Szenarien für Deutschland (von GERBERT u.a. [2018]), Europa und den Rest der Welt (der International Energy Agency [2019])				
Deutschland	Referenzszenario	80%-Szenario	95%-Szenario	95%-Szenario
Europa	„Current Policies Scenario“	„Stated Policies Scenario“	„Sustainable Development Scenario“	„Sustainable Development Scenario“
Rest der Welt	„Current Policies Scenario“	„Stated Policies Scenario“	„Stated Policies Scenario“	
Reduktion der Treibhausgasemissionen (CO <sub>2</sub> -Äquivalente) in Deutschland gegenüber 1990				
2030	45%	52%	57%	57%
2050	61%	80%	95%	95%
Änderung der Treibhausgasemissionen <sup>a</sup> in Europa gegenüber 2018				
2030	-9%	-22%	-43%	-43%
2040	-14%	-37%	-70%	-70%
Änderung der globalen Treibhausgasemissionen <sup>a</sup> gegenüber 2018				
2030	+12%	+5%	+5%	-24%
2040	+24%	+7%	+7%	-52%
Jährliche Mehrinvestitionen in Mrd. EUR <sup>b</sup>				
2030	ca. 5,5	ca. 19	ca. 21	ca. 18,5
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber „Business as Usual“				
2025	±0	+0,15%	+0,4%	+0,4%
2030	±0	+0,3%	+0,8%	+0,8%
2035	±0	+0,45%	+1,1%	+1,1%
2040	±0	+0,6%	+1,4%	+1,4%
Änderung der Zahl der Beschäftigten gegenüber „Business as Usual“				
2030	±0	±0	-0,2%	-0,3% <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Unklar*, ob nur Kohlendioxid oder auch andere Treibhausgase berücksichtigt wurden.

<sup>b</sup> *Vermutlich* analog zu GERBERT u.a. [2018, S. 32] nicht-wirtschaftliche Investitionen für Klimaschutzmaßnahmen im Szenario „Business as Usual“ und alle darüber hinausgehenden Investitionen der Zielszenarien.

<sup>c</sup> Vgl. Abbildung 66 in BURRET u.a. [2020, S. 72], Erhöhung jedoch nach BURRET u.a. [2020, S. 222].

Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

Quelle: BURRET u.a. [2020, S. 164f, 172, 186, 215, 219f, 236, 239, 254, 258], International Energy Agency [2019, S. 680f, S. 700f], eigene Berechnungen.

Für das Szenario „Business as Usual“ ergeben sich Mehrinvestitionen in Höhe von rund 5,5 Mrd. EUR jährlich, für die drei Zielszenarien belaufen sich die Mehrinvestitionen auf eine Größenordnung von 20 Mrd. EUR jährlich (vgl. Tabelle 28).<sup>54</sup>

Für die Projektion der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen wird auf Annahmen der Internationalen Energieagentur (International Energy Agency [2019]) zur Entwicklung der Weltbevölkerung und der Wirtschaftsleistung wichtiger Länder und Regionen zurückgegriffen (BURRET u.a. [2020, S. 188]). Für Deutschland wird von einem jährlichen Wirtschaftswachstum von 1,6% in den Jahren 2020 bis 2030 und von 1,5% von 2030 bis 2040 ausgegangen (BURRET u.a. [2020, S. 191]). Die ökonomischen Auswirkungen der vier Szenarien werden mit dem weltwirtschaftlichen Modell GINFORS-E der GWS projiziert,

„das Produktion, Welthandel, Energieeinsatz und Emissionen konsistent miteinander verknüpft. Bilaterale Handelsanteile (...) sind nach 33 Gütergruppen und 154 Ländern ökonometrisch geschätzt, wobei relative Preise und Zeittrends erklärende Größen sind. Veränderungen der Kostensituation auf Ebene von 36 Wirtschaftsbereichen übertragen sich auf den Welthandel, verändern sektorale Produktion und Wertschöpfung sowie das BIP. Kohlendioxid-Preise werden explizit abgebildet. Die Daten basieren auf internationalen Datensätzen der OECD und der Internationalen Energieagentur für 64 Länder und eine Region Rest der Welt. Dadurch sind alle EU-Mitgliedsstaaten und die wichtigen Handelspartner direkt erfasst.“ (BURRET u.a. [2020, S. 188])

Berücksichtigt wird, dass mit verstärkten europäischen und globalen Klimaschutzanstrengungen zusätzliche Klimaschutztechnologien und weniger konventionelle Technik exportiert werden kann; per Saldo ergebe sich ein geringer Exportzuwachs durch internationale Klimaschutzbemühungen (BURRET u.a. [2020, S. 155]). Berücksichtigt wird zudem, dass im Szenario „Europäischer Klimaschutz“ die Wettbewerbsfähigkeit exportorientierter Branchen sich ungünstiger entwickelt als im Szenario „Weltweiter Klimaschutz“ (BURRET u.a. [2020, S. 157]). Die ökonomischen Auswirkungen der COVID-19-Pandemie ab dem 1. Quartal 2020 werden hingegen nicht berücksichtigt (BURRET u.a. [2020, S. 189]).

Tabelle 28 zeigt die projizierten Auswirkungen verstärkter Klimaschutzanstrengungen auf die Wirtschaftsleistung. Würde Deutschland das Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalent) bis 2050 um 80% gegenüber 1990 verfolgen, ohne dass gleichzeitig andere Länder ebenfalls ambitionierte Klimaziele verfolgen, so würde der Projektion zufolge dadurch das Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2030 um 0,3% höher ausfallen als ohne diese verstärkten nationalen Anstrengungen zum Klimaschutz. Bei einer Reduktion der Treibhausgasemissionen Deutschlands bis zum Jahr 2050 um 95% gegenüber 1990 würde das Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2030 um 0,8% höher ausfallen als ohne diese verstärkten Anstrengungen, sofern Europa ebenfalls ambitionierte Klimaziele verfolgt und der Rest der Welt zumindest an bestehenden Maßnahmen und Zielen festhält. Verfolgt der Rest der Welt stattdessen ebenfalls ambitioniertere Klimaziele, so ergäben sich der Projektion zufolge dadurch für die Wirtschaftsleistung Deutschlands keine relevanten Konsequenzen. In allen drei Ziel-

<sup>54</sup> Vermutlich analog zu GERBERT u.a. [2018, S. 32] nicht-wirtschaftliche Investitionen für Klimaschutzmaßnahmen im Szenario „Business as Usual“ und alle darüber hinausgehenden Investitionen der Zielszenarien.

szenarien sind die positiven wirtschaftlichen Auswirkungen der Projektion zufolge in den Jahren 2035 und 2040 jeweils deutlicher als 2030.

Für das Jahr 2030 werden auch Konsequenzen für die Beschäftigung ausgewiesen (vgl. auch Tabelle 28) (BURRET u.a. [2020, S. 171f]). Im Falle eines nationalen Alleingangs beim Klimaschutz ergäbe sich der Projektion zufolge trotz erhöhter Wirtschaftsleistung ein minimaler Beschäftigungsrückgang von weniger als 0,1%. Würde Deutschland eine Reduktion seiner Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% und Europa ebenfalls ambitionierte Klimaschutzzschule anstreben, so betrüge trotz nochmals höherer Wirtschaftsleistung der Beschäftigungs rückgang sogar 0,2% oder 0,3% in Abhängigkeit von den Klimaschutzanstrengungen im Rest der Welt. Erklärt wird der Beschäftigungsrückgang trotz steigender Wirtschaftsleistung mit einem Anstieg der Preise infolge der höheren Wirtschaftsleistung, der wiederum höhere Löhne und einen Rückgang der Arbeitsnachfrage zur Folge habe. Die Projektion differenziert nach 18 Branchen, Beschäftigungsrückgänge gäbe es vor allem in den Branchen Mineralien (wie Zement) und Metallerzeugung (wie Stahl) und der Automobilindustrie.

In einer aktuellen Studie untersuchen **Prognos**, das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (**Fraunhofer ISI**), die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) und das Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (**IINAS**) die Auswirkungen von drei Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes im Vergleich zu einem Referenzszenario (KEMMLER u.a. [2021]). Die Szenarien berücksichtigen Projektionen für die demographische und makroökonomische Entwicklung, die Preisentwicklung fossiler Brennstoffe und für Emissionszertifikate im Europäischen Emissionshandel (vgl. Tabelle 29), die Klimaerwärmung und das Biomassepotenzial. Beim Zielszenario 3 „Klimaschutzprogramm“ wird eine stärkere Klimaerwärmung als in den übrigen Szenarien unterstellt, wobei angenommen wird, dass sich dadurch zwar der Raumwärmebedarf reduziert, nicht jedoch der Kühlbedarf erhöht (KEMMLER u.a. [2021, S. 22f]). Mithin führt die unterstellte stärkere Klimaerwärmung beim Zielszenario 3 „Klimaschutzprogramm“ zur Verminderung des Energieverbrauchs und damit auch der Treibhausgasemissionen.

Das Referenzszenario geht von der Fortschreibung historischer Trends aus, berücksichtigt aktuelle Technologieentwicklungen sowie bis Ende 2017 eingeführte bzw. beschlossene politische Maßnahmen und verfolgt kein quantifiziertes Ziel zur Treibhausgasreduktion (KEMMLER u.a. [2021, S. 2f]). Mit den drei Zielszenarien soll eine Treibhausgasreduktion bis 2050 um 85% bis 90% gegenüber 1990 erreicht werden. Zudem sollen mit den Zielszenarien 1 und 2 bis 2030 die Sektorziele des Klimaschutzplans 2050 (Deutscher Bundestag [2016, S. 18]) und mit dem Zielszenario 3 „Klimaschutzprogramm“ die Sektorziele nach § 4, Anl. 2 KSG a.F. aus dem Jahr 2019 erreicht werden (vgl. auch Tabelle 7 in Abschnitt 2.4). Die Szenarien bestehen jeweils aus einzelnen sektorübergreifenden und zahlreichen sektorspezifischen Maßnahmen, wobei das Zielszenario 3 „Klimaschutzprogramm“ von den bis Februar 2020 veröffentlichten Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030 ausgeht und zudem einige ab 2018 beschlossene weitere Maßnahmen berücksichtigt (KEMMLER u.a. [2021, S. 3, 5]). Die im Juni 2020 beschlossene nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2020a]) wurde nicht mehr berücksichtigt (KEMMLER u.a. [2021, S. 5]).

**Tabelle 29: Annahmen zur Entwicklung der realen Preise für Rohöl, Erdgas, Steinkohle und Zertifikate im Europäischen Emissionshandel von Prognos u.a. (2021)**

Merkmal	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Rohöl bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	13,40	15,10	16,70	17,30	18,00	18,70	19,40
Erdgas bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	7,80	8,40	9,20	9,80	10,10	10,40	10,60
Steinkohle bei Grenzübergang in EUR je Gigajoule	2,50	3,00	3,60	3,80	4,00	4,10	4,30
Emissionszertifikat in EUR je Tonne Kohlendioxid-Äquivalent	16	24	35	44	52	73	94

Anmerkung: Angaben real in Preisen von 2016; Preise für Emissionszertifikate aus Abbildung abgelesen und daher ungenau.

Quelle: KEMMLER u.a. [2021, S. 21].

Als sektorübergreifende Maßnahme geht das Zielszenario 1 von der Einführung einer Kohlendioxid-Abgabe auf fossile Brenn- und Kraftstoffe außerhalb der Sektoren aus, die bereits vom Europäischen Emissionshandelsystem erfasst sind. Das Zielszenario 2 berücksichtigt als sektorübergreifende Maßnahme ab 2021 die Einführung von zwei separaten nationalen Emissionshandelsystemen für Verkehr und Wärme (KEMMLER u.a. [2021, S. 139]). Im Gegenzug wird von einer Reduktion staatlicher Strompreiskomponenten und damit des Strompreises ab 2020 ausgegangen (KEMMLER u.a. [2021, S. 145]). Das Zielszenario 3 „Klimaschutzprogramm“ berücksichtigt die mit dem Brennstoffemissionsgesetz Anfang 2021 eingeführte Kohlendioxid-Bepreisung in den Sektoren Verkehr und Wärme, die 2026 in ein nationales Emissionshandelsystem mit einem anfangs begrenzten Preiskorridor überführt werden soll (KEMMLER u.a. [2021, S. 200f]). Zudem wird die im Gegenzug erfolgte Reduktion der Umlage nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz und damit der Strompreise berücksichtigt (KEMMLER u.a. [2021, S. 202]).

Die resultierende Entwicklung der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) des Referenzszenarios und der drei Zielszenarien zeigt Tabelle 30. Zudem zeigt die Tabelle 30 die in den drei Zielszenarien erforderlichen zusätzlichen Investitionen in den Klimaschutz im Vergleich zum Referenzszenario. Der deutlich geringere zusätzliche Investitionsbedarf in Zielszenario 1 als in den beiden anderen Zielszenarien geht einher mit einem deutlich höheren Import an teuren, strombasierten Energieträgern (KEMMLER u.a. [2021, S. 318]).

**Tabelle 30: Zentrale Ergebnisse zum Klimaschutzplan 2050 und zum Klimaschutzprogramm 2030 in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2021)**

Jahr	Referenzszenario	Zielszenario 1	Zielszenario 2	Szenario KSP
Reduktion der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalente) gegenüber 1990				
2030	42%	55%	55%	52%
2040	51%	76%	77%	75%
2050	62%	85%	86%	87%
Kumulierter zusätzlicher Investitionsbedarf ab 2020 gegenüber dem Referenzszenario in Mrd. EUR (real in Preisen von 2016)				
bis 2030	0	359	393	288
bis 2040	0	888	1.057	910
bis 2050	0	1.191	1.545	1.404
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Referenzszenario				
2025	±0	+1,3%	+0,99%	+1,4%
2030	±0	+1,7%	+1,4%	+1,4%
2035	±0	+1,4%	+1,7%	+1,6%
2040	±0	+0,59%	+1,4%	+1,3%
2045	±0	+0,11%	+0,74%	+0,55%
2050	±0	+0,25%	+0,57%	+0,35%
Änderung der Zahl der Erwerbstätigen gegenüber dem Referenzszenario				
2025	±0	+0,29%	+0,15%	+0,31%
2030	±0	+0,42%	+0,36%	+0,46%
2035	±0	+0,40%	+0,45%	+0,46%
2040	±0	+0,28%	+0,42%	+0,45%
2045	±0	+0,13%	+0,34%	+0,30%
2050	±0	+0,09%	+0,30%	+0,22%

Anmerkung: KSP: Klimaschutzprogramm; die eigene Berechnung der relativen Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 basiert auf den von KEMMLER u.a. [2021, S. 284] ausgewiesenen Treibhausgasemissionen für 1990.

Quelle: KEMMLER u.a. [2021, S. 283f, 318f, 325f], eigene Berechnungen.

Die makroökonomischen Wirkungen werden mit dem makroökonometrischen Modell PANTA RHEI der GWS abgeschätzt (KEMMLER u.a. [2021, S. 397-399]). Im Wesentlichen aufgrund der zusätzlich erforderlichen Investitionen ist auch das Bruttoinlandsprodukt in den

Zielszenarien höher als im Referenzszenario (Tabelle 30), wobei sich die teuren Importe strombasierter Energieträger negativ auswirken (KEMMLER u.a. [2021, S. 324f]). Höhere Investitionen sind in dem Modellkontext unmittelbar nachfragewirksam und erhöhen die Wirtschaftsleistung, in den Folgejahren führen die Investitionen zu zusätzlichen Abschreibungen, die ihrerseits die Güterpreise erhöhen, wodurch das Wirtschaftswachstum wiederum etwas gedämpft wird (KEMMLER u.a. [2021, S. 325]). Für die Berechnung gehen KEMMLER u.a. [2021, S. 3f] davon aus, dass die übrigen, vor allem die europäischen Länder gleiche Klimaschutzziele verfolgen und umsetzen wie Deutschland und die zusätzlichen Klimaschutzanstrengungen mithin nicht zu einem Wettbewerbsnachteil führen.

Tabelle 30 zeigt auch, dass die zusätzlichen Klimaschutzanstrengungen je nach Zielszenario und Jahr zu einer Erhöhung der Zahl der Beschäftigten von 0,15% bis 0,46% führen. Dabei ist der Effekt auf die Beschäftigung in der Regel deutlich geringer als auf die Wirtschaftsleistung, weil die höhere Wirtschaftsleistung partiell zu höheren Löhnen zu damit wiederum zu höherer Arbeitsproduktivität führt (KEMMLER u.a. [2021, S. 326]).

Die Studie differenziert die Folgen verstärkter Klimaschutzanstrengungen auf die Beschäftigung für die Jahre 2030 und 2050 zudem nach zwölf ausgewählten Sektoren (KEMMLER u.a. [2021, S. 330-333]). Im Vergleich zum Referenzszenario ist die Beschäftigung danach vor allem im Verarbeitenden Gewerbe geringer, und zwar um rund 40.000 Beschäftigte in allen drei Szenarien sowohl 2030 als auch 2050. Die Beschäftigungsrückgänge betreffen dabei Chemie, Maschinenbau, Kraftfahrzeuge, die sonstige energieintensive Industrie. Auch die Beschäftigung im Bergbau ist geringer. Zusätzliche Beschäftigung gibt es vor allem im Bau- gewerbe und bei öffentlichen Dienstleistungen sowie 2030 auch bei unternehmensnahen Dienstleistungen, für 2050 unterscheiden sich die Ergebnisse deutlich zwischen den Zielszenarien. Geringe Zuwächse gib es der Studie zufolge in der Energieversorgung, im Handel und bei sonstigen Dienstleistungen.

**Prognos**, das **Öko-Institut** und das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (**Wupper- tal-Institut**) haben Möglichkeiten aufgezeigt, wie Deutschland bis 2030 seine Treibhausgasemissionen um 65% gegenüber 1990 senken und bis 2050 bzw. bis 2045 klimaneutral werden kann (DAMBECK u.a. [2020; 2021]). Dabei wird die Klimaneutralität nur erreicht, indem die verbleibenden Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft, aus industriellen Prozessen und aus der Abfallwirtschaft in Höhe von 5% des Niveaus von 1990 durch Speicherung von Kohlendioxid kompensiert werden (DAMBECK u.a. [2020, S. 22-24, 117-124; 2021, S. 19-21]). Die zusätzlich erforderlichen Anstrengungen, um bis 2030 nicht nur eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55%, sondern um 65% gegenüber 1990 zu erreichen, müssten vor allem von der Energiewirtschaft erbracht werden (DAMBECK u.a. [2020, S. 13]). Hierzu gehöre ein Ausstieg aus der Braunkohle bis 2030, der durch eine Erhöhung der Preise im Europäischen Emissionszertifikatehandel auf 50 EUR pro Tonne weitgehend marktbasierter erreicht werde, und einer Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung auf 70% (DAMBECK u.a. [2020, S. 13]). Außerdem wird von einem Anstieg der Zahl der Elektro-PKW (einschließlich Plug-In-Hybrid-PKW) bis 2030 auf 14 Millionen ausgegangen (DAMBECK u.a. [2020, S. 13]).

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**), das Bundesinstitut für Berufsbildung (**BIBB**) und das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (**IAB**) haben die Auswirkungen der von DAMBECK u.a. [2020] dargelegten Maßnahmen bis 2030 zur Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65% gegenüber 1990 auf die Erwerbstätigkeit projiziert (MÖNNIG u.a. [2021]). Die Analyse der Maßnahmen erfolgte im Modellrahmen der sechsten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen (MAIER u.a. [2020]; vgl. Abschnitt 2.3) (MÖNNIG u.a. [2021, S. 9-12]). Hierzu wird das 65%-Zielszenario für 2030 von DAMBECK u.a. [2020] mit der Basisprojektion BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen verglichen (MÖNNIG u.a. [2021, S. 9]). Dabei berücksichtigen MÖNNIG u.a. [2021, S. 10] nur solche Maßnahmen des 65%-Zielszenarios, die zusätzlich erforderlich sind, um die Treibhausgasemissionen nicht nur um 55%, sondern um 65% gegenüber 1990 zu senken. Implizit gehen sie also davon aus, dass mit der Basisprojektion der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55% gegenüber 1990 erreicht wird.

MÖNNIG u.a. [2021, S. 11] nehmen an, dass die für den Klimaschutz erforderlichen Investitionen zum Großteil zusätzlich sind, also überwiegend nicht andere private Investitionen verdrängen. Für den Zeitraum von 2020 bis 2030 wird insgesamt von 119 Mrd. EUR an Bau- und Ausrüstungsinvestitionen im Energiesektor und rund 61 Mrd. EUR an Bauinvestitionen in die Verkehrsinfrastruktur (insb. Ladeinfrastruktur für Elektro-Kraftfahrzeuge sowie 11 Mrd. EUR in den Schienennetzbau) ausgegangen (MÖNNIG u.a. [2021, S. 13f]). Für den Gebäudesektor wird von einem Investitionsbedarf von 63 Mrd. EUR ausgegangen, wobei es sich nicht nur um Bauinvestitionen handelt, sondern auch Produkte des Maschinenbaus und der Elektroindustrie benötigt werden (MÖNNIG u.a. [2021, S. 15]). Der gesamten Investitionsbedarf weisen MÖNNIG u.a. [2021, S. 11] nicht aus.

MÖNNIG u.a. [2021, S. 15] nehmen zudem an, dass etwaige Mehrkosten für technologische Umstellungen der Stahl-, Zement- und Chemieindustrie an der Grenze ausgeglichen werden und somit dadurch kein Wettbewerbsnachteil entsteht.

Im Vergleich zur Basisprojektion gibt es im 65%-Zielszenario der Studie zufolge in allen betrachteten Jahren von 2020 bis 2030 mehr Erwerbstätige (MÖNNIG u.a. [2021, S. 13-15]). Die Zahl der zusätzlich Erwerbstätigen steigt weitgehend linear von 24.000 im Jahr 2020 über 167.000 im Jahr 2025 auf 359.000 im Jahr 2030. Dabei resultieren gut 80% von ihnen aus den Maßnahmen im Energie- und Verkehrssektor (Ausbau der Infrastruktur und Umstieg auf Öffentlichen Personennahverkehr). Im Fahrzeugbau werden aufgrund der Umstellung auf den Elektroantrieb 28.000 weniger Erwerbstätige benötigt. MÖNNIG u.a. [2021, S. 14] zufolge könnte der Rückgang höher ausfallen, wenn der Strukturwandel verzögert wird und dadurch die Exporte angesichts des globalen Umbaus zu mehr Klimaschutz geringer ausfallen. Gleichzeitig steigt durch den Antriebswechsel jedoch der Strombedarf, wodurch mehr Erwerbstätige bei der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien benötigt werden (gleichzeitig sinken die Importe fossiler Brennstoffe).

MÖNNIG u.a. [2021, S. 15f] weisen die Ergebnisse für 2030 zur Erwerbstätigkeit für die jeweils sieben am stärksten positiv und negativ betroffenen Wirtschaftszweige aus. Neben dem bereits erwähnten Fahrzeugbau gibt es in keiner anderen Branche einen nennenswerten Rück-

gang der Erwerbstätigkeit. Zuwächse gibt es vor allem im Baugewerbe (+111.000) und in der Landverkehrsbranche (+67.000) vor allem durch den stärkeren Ausbau des Schienenverkehrs. Der Projektion zufolge werden in allen 37 Berufshauptgruppen mehr Erwerbstätige benötigt (MÖNNIG u.a. [2021, S. 16f]). Dies gilt selbst für Technikberufe des Fahrzeugbaus, die in anderen Wirtschaftszweigen zusätzlich benötigt werden. Die größten Zuwächse gibt es bei Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten (ca. +49.000), Berufen in Unternehmensführung und -organisation (ca. +46.000), Hoch- und Tiefbauberufen (ca. +27.000), Berufen in Verkehr und Logistik (außer Fahrzeugführung) (ca. +25.000) und (Innen-) Ausbauberufen (ca. +21.000).<sup>55</sup> Zudem weist die Studie Ergebnisse differenziert nach vier Anforderungsniveaus aus (MÖNNIG u.a. [2021, S. 18f]). So werden 226.000 zusätzliche Fachkräfte, 41.000 zusätzliche Erwerbstätige in Helfertätigkeiten und zusammen 93.000 zusätzliche Spezialistinnen und Spezialisten sowie Expertinnen und Experten benötigt. Insgesamt verschärfen sich in verschiedenen Berufshauptgruppen die ohnehin für 2030 projizierten Fachkräfteengpässe durch das 65%-Zielszenario, etwa in den bereits genannten Bauberufen und der Fahrzeugführung (MÖNNIG u.a. [2021, S. 20]).

## 5.9 Künftige Exportchancen durch einen verstärkten globalen Klimaschutz

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (**DIW**), **adelphi**, die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) und **Roland Berger** haben die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eines globalen Klimaschutzes für Deutschland bis 2030 projiziert (BLAZEJCZAK u.a. [2019]). Hierzu vergleichen sie ein Szenario, in dem global das Ziel einer Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C verfolgt wird, mit einem Referenzszenario ohne weitere Maßnahmen. Zunächst betrachten sie den Weltmarkt für Klimaschutzgüter, bestehend aus Gütern zur umweltfreundlichen Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung, zugunsten von Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz, für nachhaltige Mobilität und die Kreislaufwirtschaft (stoffliche Verwertung) (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 19-21]). Der Weltmarkt für derartige Klimaschutzgüter hatte 2013 ein Volumen von 1.940 Mrd. EUR, dies entsprach 2,5% des weltweiten Bruttoinlandsprodukts (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 18, 21]). BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 18, 21] nehmen an, dass das Volumen bis 2030 ohne verstärkte Klimaschutzanstrengungen auf 5.483 Mrd. EUR steigt. Falls hingegen global das Ziel einer Begrenzung des Erderwärmung auf 2°C verfolgt wird, dann nimmt das Marktvolumen bis 2030 auf 7.505 Mrd. EUR zu (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 23]). Für den Fall verstärkter globaler Klimaschutzanstrengungen wird angenommen, dass Länder mit einer hohen Binnennachfrage nach Klimaschutzgütern verstärkt eigene Produktionskapazitäten aufbauen und die Importquoten hier entsprechend geringer sind als ohne derartige Anstrengungen (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 34]). Der Studie zufolge würde Deutschland im Jahr 2030 bei globalen Klimaschutzanstrengungen Klimaschutztechnologie im Volumen von 277 Mrd. EUR exportieren, ohne derartige Anstrengungen wären es 187 Mrd. EUR und damit 90 Mrd. EUR weniger (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 38]).

Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen wurden mit dem makroökonomischen Modell PANTA RHEI der GWS projiziert (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 49f]). Der Studie zufolge er-

<sup>55</sup> Werte aus Abbildung abgelesen und daher ungenau.

höhen globale Klimaschutzanstrengungen infolge zusätzlicher Exporte sowohl das heimische Bruttoinlandsprodukt als auch die Zahl der hiesigen Erwerbstätigen (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 51f]). Dabei wird die Diskrepanz zum Referenzszenario im Zeitverlauf immer größer, im Jahr 2030 ist das Bruttoinlandsprodukt um 1,2% und die Zahl der Erwerbstätigen um 0,3% bzw. 110.000 höher. Für fünf ausgewählte Branchen wird zudem der Unterschied bei der Beschäftigtenzahl ausgewiesen (BLAZEJCZAK u.a. [2019, S. 54]). Im Jahr 2030 ist die Zahl der Beschäftigten insbesondere im Maschinenbau höher (ca. +14.000).

## 5.10 Künftige Effekte einer verbesserten Klimaresilienz

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) und das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) haben die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen zahlreicher einzelner Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel bis 2050 untersucht (LEHR u.a. [2020]). Bei den einzelnen Maßnahmen wird meist davon ausgegangen, dass sie kontinuierlich mit gleichem Investitions- bzw. Ausgabevolumen bis 2050 durchgeführt werden. Mit den Maßnahmen sollen die Folgen von Extremwetterereignissen gemildert werden. Für die Analyse mit dem umweltökonomischen makroökonometrischen Modell PANTA RHEI der GWS (LEHR u.a. [2020, S. 59f]) wurde angenommen, dass extreme Hochwasser bis 2040 einmal und ab 2041 zwei Mal je Dekade auftreten, extreme Hitze alle vier Jahre (LEHR u.a. [2020, S. 62]). Verglichen wird jeweils ein Szenario mit der jeweils untersuchten Maßnahme mit einem Szenario ohne diese Maßnahme. Bei den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen liegt der Fokus auf den Jahren ohne Schadensereignis. In Jahren mit Extremwetterereignissen reduzieren die Maßnahmen die eingetretenen Schäden und den Aufwand zu ihrer Beseitigung, daher dürften Wirtschaftsleistung und Beschäftigung in diesen Jahren oftmals geringer als ohne die untersuchten schadensbegrenzenden Maßnahmen.<sup>56</sup> Für einige Szenarien werden zudem die Beschäftigungseffekte differenziert nach sechs Sektoren ausgewiesen.

Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen untersucht:<sup>57</sup>

› Klimafreundliche / effiziente Gebäudekühlung und Begrünung von innerstädtischen Flächen und Dächern („Gebäude“) (LEHR u.a. [2020, S. 128-135]): In dem Szenario werden für Gebäudekühlung und Begrünung von innerstädtischen Flächen und Dächern zusätzliche, sukzessive steigende Bauinvestitionen von anfangs 0,6 Mrd. EUR im Jahr 2018 und von 1,2 Mrd. EUR im Jahr 2050 getätigt. Bei der annahmegemäß alle vier Jahre auftretenden extremen Hitze wird dadurch die zusätzliche Nachfrage nach Getränken und Gesundheitsleistungen reduziert, der hitzebedingte Rückgang der Arbeitsproduktivität fällt geringer aus und es wird weniger Strom z.B. für Klimaanlagen benötigt. Unter Berücksichtigung von makroökonomischen Rückkoppelungseffekten sind der Studie zufolge die Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,74 bis 1,49 Mrd. EUR jährlich höher als ohne Maßnahmen (vgl. Abbildung 48). In diesen Jahren ist zudem das Bruttoinlandsprodukt um 0,76 bis 1,03 Mrd. EUR jährlich höher als ohne Maßnahmen (vgl. Abbildung 48) und es sind zusätzlich 2.910 bis 4.950 Personen beschäftigt (vgl.

<sup>56</sup> Hier offenbart sich eine offenkundige Schwäche des Bruttoinlandsprodukts als Wohlfahrtsmaß.

<sup>57</sup> Hier werden nur jene Maßnahmen aufgeführt, für die Beschäftigungseffekte ausgewiesen werden. Darüber hinaus haben LEHR u.a. [2020] weitere Maßnahmen untersucht.

Abbildung 49), ganz überwiegend im Baugewerbe. In Jahren mit extremer Hitze steht der zusätzlichen Beschäftigung im Baugewerbe eine geringere Beschäftigung in anderen Sektoren gegenüber, so dass sich hier ab Ende der 2020er Jahre per Saldo Beschäftigungsverluste durch die Maßnahmen ergeben.

- › Bau von Tanklagern („Tanklager“) (LEHR u.a. [2020, S. 139-141]): Aufgrund des heißen Sommers 2018 waren seinerzeit die Pegel der großen Flüsse niedrig, so dass Fracht- und Tankschiffe nur deutlich weniger Ladung aufnehmen konnten, um einen starken Tiefgang zu vermeiden. Dadurch konnten die Lager entlang der Flüsse nicht mehr ausreichend mit Rohöl und Ölprodukten versorgt werden. Um der Knappheit entgegen zu wirken, wurden die Transporte vermehrt über die Straße und damit kostenintensiver abgewickelt. Dadurch stiegen die Preise. In dem Szenario wird ein Bau von Tanklagern zur Vorratshaltung angenommen, wodurch der Preisanstieg bei extremer Hitze geringer ausfällt. Gleichzeitig erhöhen sich dadurch generell die Kosten und damit die Preise für Treibstoffe. Die generell höheren Treibstoffpreise führen im Konsum dazu, dass weniger Personenkilometer gefahren werden und früher neue und damit sparsame Autos gekauft werden. Insgesamt erhöhen die Impulse die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne extreme Hitze um 0,11 bis 0,22 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,16 bis 0,91 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 390 bis 5.500 (vgl. Abbildung 49).
- › Verbesserte Regenwasserbewirtschaftung („Regenbewirtschaftung“) (LEHR u.a. [2020, S. 142-144]): In diesem Szenario sollen Überflutungen von Flächen und Überlastungen der Kanalisation durch Starkregen reduziert werden. Hierzu werden verstärkt Überflutungsflächen eingerichtet bzw. zurück gewonnen und eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung angestrebt. Insgesamt werden bis 2050 vor allem durch die öffentliche Hand hierfür 20 Mrd. EUR investiert, dabei handelt sich überwiegend um Bauinvestitionen. Dadurch sind die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Starkregen um 0,48 bis 0,77 Mrd. EUR jährlich höher, das Bruttoinlandsprodukt ist um bis zu 0,16 Mrd. EUR geringer bzw. um bis zu 0,7 Mrd. EUR<sup>58</sup> jährlich höher (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 20 bis 3.620 höher (vgl. Abbildung 49). Aufgrund der angespannten Arbeitsmarktlage gegen Ende des Simulationszeitraumes entzieht die Bauwirtschaft allerdings anderen Sektoren Arbeitskräfte.
- › Angepasste Abwassersysteme („Abwassersysteme“) (LEHR u.a. [2020, S. 147-149]): In diesem Szenario sollen die Folgen von Starkregen gemildert werden, indem punktuell die Abwassersysteme angepasst und zusätzliche Regenwasserbecken installiert werden. Hierfür sollen bis 2050 mehr als 50 Mrd. EUR investiert werden, im Durchschnitt 0,6 Mrd. EUR jährlich. Die Schäden an Gebäuden und Produktionsstätten durch Starkregen werden dadurch vermindert, allerdings reduziert dies auch den gesamtwirtschaftlichen Impuls durch den Wiederaufbau nach Schadensereignissen. Insgesamt erhöhen sich die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Starkregen um 0,55 bis 0,68 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,24 bis 0,65 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 1.430 bis 3.480 (vgl. Abbildung 49). Die zusätzliche Beschäftigung entsteht vor allem im Bausektor, aufgrund

<sup>58</sup> 0,7 Mrd. EUR lt. LEHR u.a. [2020, S. 144], 0,8 Mrd. EUR lt. LEHR u.a. [2020, S. 143].

der Knappheit der Arbeitskräfte kommt es dadurch zu einem sehr leichten Rückgang in allen übrigen Sektoren.

- › Effiziente Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft („Bewässerung Landw.“) (LEHR u.a. [2020, S. 160-163]): In diesem Szenario werden Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft installiert, die auch bei extremer Hitze den Anbau von Obst und Gemüse ermöglichen. Hierfür investieren die Landwirte 0,5 Mrd. EUR jährlich bis 2050. Bei extremer Hitze werden dadurch Ernteausfälle reduziert, die landwirtschaftliche Produktion ist höher, geringfügig auch in Jahren ohne extreme Hitze. Aufgrund der zusätzlichen Bauinvestitionen und der höheren landwirtschaftlichen Produktion sind die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne extreme Hitze um 0,56 bis 0,61 Mrd. EUR jährlich höher, das Bruttoinlandsprodukt ist um bis zu 0,17 Mrd. EUR geringer bzw. um bis zu 0,59 Mrd. EUR jährlich höher (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 1.270 bis 3.080 höher (vgl. Abbildung 49). Beschäftigungsgewinne hat insbesondere der Bausektor.
- › Anbau angepasster Pflanzensorten („Pflanzensorten“) (LEHR u.a. [2020, S. 165-168]): Das Szenario geht von einem verstärkten Anbau von Pflanzen aus, die auch extremer Hitze standhalten. Hierfür werden zusätzliche Kosten von 0,5 Mrd. EUR jährlich veranschlagt, die zur Hälfte auf erhöhte Vorleistungen des Landwirtschaftssektors selbst und je zu einem Viertel auf Dünger (Chemieindustrie) und angepasste landwirtschaftliche Maschinen (Maschinenbau) entfallen. Sukzessive können immer mehr angepasste Pflanzensorten angebaut werden, so dass Ernteausfälle immer geringer werden. Trotz verringelter Ernteausfälle steigen allerdings die Stückkosten. Dadurch sinken die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne extreme Hitze um 0,03 bis 0,09 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,85 bis 1,71 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 130 bis 520 (vgl. Abbildung 49). Gleichwohl gibt es in fünf Sektoren Beschäftigungsgewinne, die jedoch durch Beschäftigungsverluste im Sektor „Sonstige“ überkompensiert werden.
- › Versicherung gegen Dürreausfälle („Versicherung Dürre“) (LEHR u.a. [2020, S. 170-172]): Derzeit sind viele Landwirte gegen Sturm- und Hagelschäden, Starkregen und Frost versichert, aufgrund der hohen Prämien jedoch oftmals nicht gegen Dürre. In dem Szenario wird angenommen, dass sich alle Landwirte gegen Dürre versichern und hierfür 0,4 Mrd. EUR jährlich an Beiträgen entrichten müssen, die ihnen zur Hälfte von der öffentlichen Hand erstattet werden. Gleichwohl kann die Versicherung den Landwirten nur den materiellen Schaden in Geld ersetzen, so dass in Jahren mit extremer Hitze zusätzliche landwirtschaftliche Importe erforderlich sind. Die von den Landwirten zu tragende hälftige Prämie erhöht die Preise für landwirtschaftliche Erzeugnisse.<sup>59</sup> Diese höheren Preise wirken gesamtwirtschaftlich dämpfend. Bis 2050 bleiben in Jahren ohne extreme Hitze gesamtwirtschaftlich die Investitionen nahezu unverändert (zwischen einer Reduktion um 0,1 Mrd. EUR und einer Erhöhung um 0,01 Mrd. EUR jährlich), das Bruttoin-

<sup>59</sup> Diese Annahme erscheint allenfalls dann gerechtfertigt, wenn davon ausgegangen wird, dass ansonsten (im Referenzszenario) der Staat in vollem Umfang für hitzebedingte Ernteschäden aufkommt. Tatsächlich wurden die Landwirte 2018 vom Staat fürdürrebedingte Ernteausfälle entschädigt.

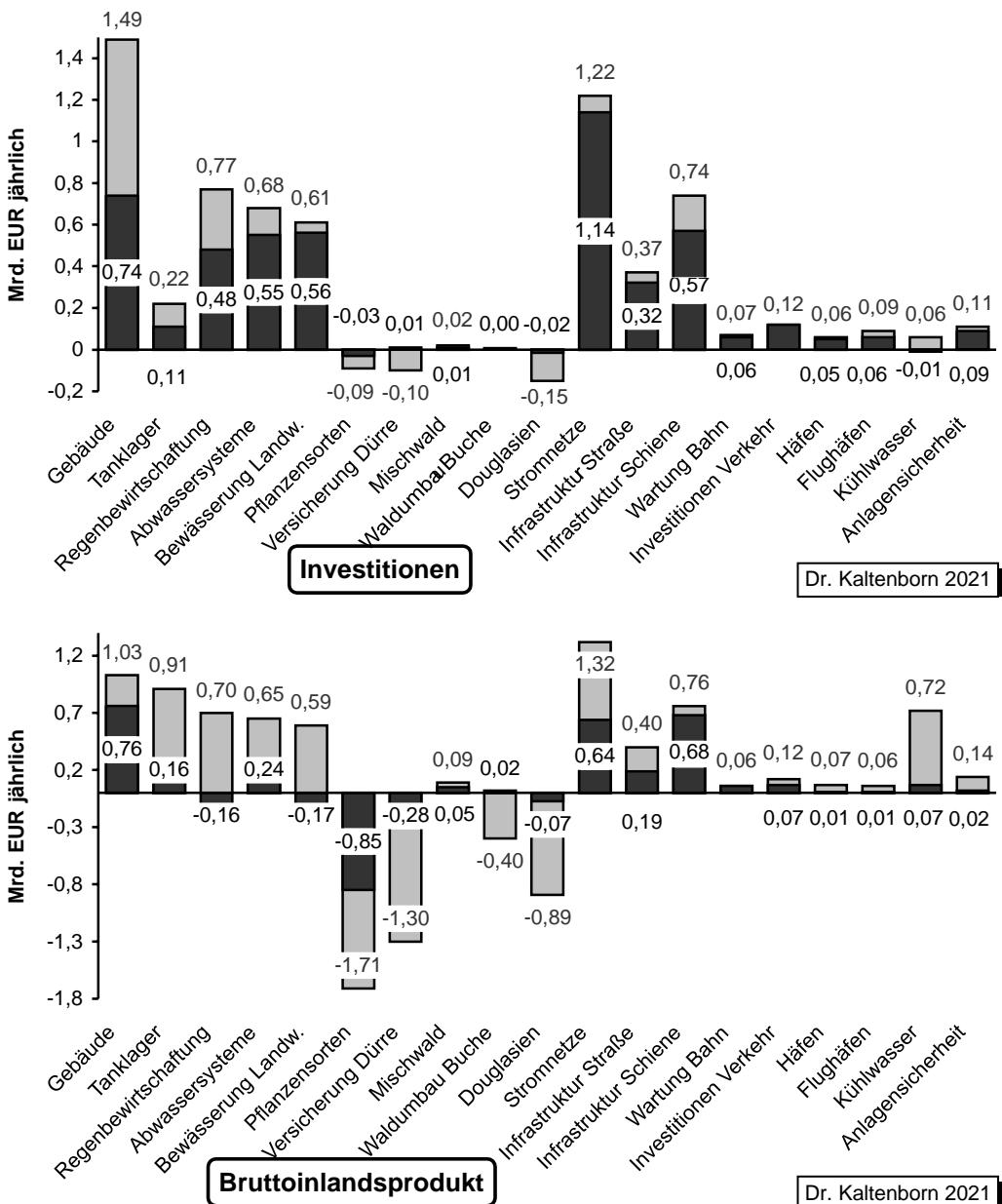
landsprodukt ist zwischen 0,28 und 1,3 Mrd. EUR geringer (vgl. Abbildung 48) und es gibt zwischen 1.550 weniger und 1.210 mehr Beschäftigte (vgl. Abbildung 49).

- › Angepasster Waldumbau („Mischwald“) (LEHR u.a. [2020, S. 173-176]): Das Szenario geht von einem verstärkten Umbau des Waldes zu strukturreichen und standortgerechten Mischwäldern aus, um die Widerstandsfähigkeit gegen Sturm und Starkwind zu verbessern. Die zusätzlichen Kosten trägt die öffentliche Hand, zusätzliche Leistungen werden vor allem in der Forstwirtschaft erbracht. Die Maßnahmen reduzieren die Waldschäden durch Sturm und Starkwind, durch die reduzierten Aufräumarbeiten ist die Produktion in Sturmjahren leicht geringer. Bis 2050 bleiben in Jahren ohne Sturm gesamtwirtschaftlich die Investitionen nahezu unverändert (Erhöhung um 0,01 bis 0,02 Mrd. EUR jährlich), das Bruttoinlandsprodukt ist zwischen 0,05 und 0,09 Mrd. EUR höher (vgl. Abbildung 48) und es gibt zwischen 120 weniger und 210 mehr Beschäftigte (vgl. Abbildung 49).
- › Angepasster Waldumbau mit zusätzlichen Subventionen in der holzverarbeitenden Industrie („Waldumbau Buche“) (LEHR u.a. [2020, S. 178-181]): In diesem Szenario wird von einem Umbau des Waldes zugunsten von Buchen ausgegangen, um die Klimaresilienz des Waldes zu verbessern. Hierfür erhält die Forstwirtschaft Subventionen in Höhe von 0,1 Mrd. EUR jährlich und die Holzindustrie für die erforderlichen Anpassungen 0,07 Mrd. EUR jährlich. Bis 2050 bleiben in Jahren ohne Schadensereignisse gesamtwirtschaftlich die Investitionen nahezu unverändert (zwischen einer Reduktion um 0,001 Mrd. EUR jährlich und einer Erhöhung um 0,007 Mrd. EUR jährlich), das Bruttoinlandsprodukt ist um bis zu 0,397 Mrd. EUR jährlich geringer bzw. um bis zu 0,021 Mrd. EUR jährlich höher (vgl. Abbildung 48) und es gibt zwischen 176 und 234 mehr Beschäftigte (vgl. Abbildung 49).
- › Aufforstung / Wiederaufforstung („Douglasien“) (LEHR u.a. [2020, S. 184-187]): Das Szenario geht von einer verstärkten (Wieder-) Aufforstung mit den hier nicht heimischen Douglasien aus, da diese den klimatischen Veränderungen besser standhalten. Hierfür wird die Forstwirtschaft jährlich mit 0,1 Mrd. EUR unterstützt. Der Waldumbau vermindert die Verluste an Bäumen durch den Klimawandel, wodurch die Stückpreise der Forstwirtschaft sinken und die Produktionswerte von Forst- und Holzwirtschaft erhöhen. Abseits von Schadensjahren reduziert die (Wieder-) Aufforstung bis 2050 dennoch die gesamtwirtschaftlichen Investitionen um 0,016 bis 0,151 Mrd. EUR und das Bruttoinlandsprodukt um 0,073 bis 0,894 Mrd. EUR (vgl. Abbildung 48), zudem gibt es zwischen 70 und 637 weniger Beschäftigte (vgl. Abbildung 49).
- › Stabilisierung der Stromnetze bei Stürmen („Stromnetze“) (LEHR u.a. [2020, S. 190-192]): In diesem Szenario werden zur Stabilisierung der Stromnetze bei Sturm- und Starkwindschäden jährlich 1 Mrd. EUR in Netzkapazitäten und Speicher investiert. Es wird angenommen, dass durch die reduzierten Stromausfälle die dadurch bedingten Produktionsausfälle um ein Drittel sinken. Die dafür erforderlichen Bau- und Ausrüstungsinvestitionen erhöhen die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Sturmschäden um 1,14 bis 1,22 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,64 bis 1,32 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 2.340 bis 6.130 (vgl. Abbildung 49).

- › Infrastruktur Straße (LEHR u.a. [2020, S. 196-199]): In dem Szenario wird die Straßeninfrastruktur ertüchtigt, damit sie insbesondere Stürmen besser standhält. Hierfür werden jährlich 0,3 Mrd. EUR investiert. Dadurch werden die Schäden an der Infrastruktur so stark vermindert, dass sie die Investitionen für die Schadensbeseitigung in Schadensjahren und dem Folgejahr jeweils um mehr als 0,3 Mrd. EUR reduzieren, so dass der gesamtwirtschaftliche Impuls der Ertüchtigung in diesen Jahren negativ ausfällt. Die dafür erforderlichen Bauinvestitionen erhöhen die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,32 bis 0,37 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,19 bis 0,4 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 380 bis 1.800 (vgl. Abbildung 49), überwiegend im Baugewerbe.
- › Infrastruktur Schiene (LEHR u.a. [2020, S. 200-204]): In diesem Szenario wird die Schieneninfrastruktur so ertüchtigt, dass sie besser Stürmen standhält. Hierfür werden jährlich zusätzliche Ausrüstungsinvestitionen in Höhe von 0,2 Mrd. EUR und zusätzliche Investitionen in IT- und Informationsdienstleistungen in Höhe von ebenfalls 0,2 Mrd. EUR getätigt, zudem werden Aufträge zur Sicherung der Böschung an den Garten- und Landschaftsbau in Höhe von 0,02 Mrd. EUR jährlich vergeben. Diese Impulse erhöhen die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,57 bis 0,74 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,68 bis 0,76 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 990 bis 1.870 (vgl. Abbildung 49), insbesondere in den Sektoren „Verkehr und Nachrichtenübermittlung“ und bei den „Unternehmensdienstleistern“.
- › Anpassung der Wartungsarbeiten Eisenbahninfrastruktur („Wartung Bahn“) (LEHR u.a. [2020, S. 206]): In diesem Szenario sollen durch eine Anpassung der Wartungspläne und geringfügige Investitionen zur Sicherung der Infrastruktur vor Unterspülungen die Schäden bei der Bahn infolge von Starkregen vermindert werden. Diese Impulse erhöhen die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,06 bis 0,07 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,06 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 90 bis 160 (vgl. Abbildung 49).
- › Förderung von Mehrinvestitionen im Bundesverkehrswegeplan („Investitionen Verkehr“) (LEHR u.a. [2020, S. 207f]): In diesem Szenario werden zusätzliche Bauinvestitionen in Höhe von 0,1 Mrd. EUR jährlich angenommen, um die Straßeninfrastruktur im Hinblick auf den Klimawandel zu ertüchtigen. Dadurch erhöhen sich die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,12 Mrd. EUR jährlich und das Bruttoinlandsprodukt um 0,07 bis 0,12 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48), während es bis zu 130 Beschäftigte weniger bzw. bis zu 510 mehr Beschäftigte gibt (vgl. Abbildung 49).
- › „Angepasste Hafeninfrastruktur („Häfen“) (LEHR u.a. [2020, S. 209]): In diesem Szenario werden zusätzliche Investitionen in Höhe von 0,05 Mrd. EUR jährlich angenommen, um Häfen im Hinblick auf den Klimawandel zu ertüchtigen. Dadurch erhöhen sich die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,05 bis 0,06 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,01 bis 0,07 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 130 bis 340 (vgl. Abbildung 49).

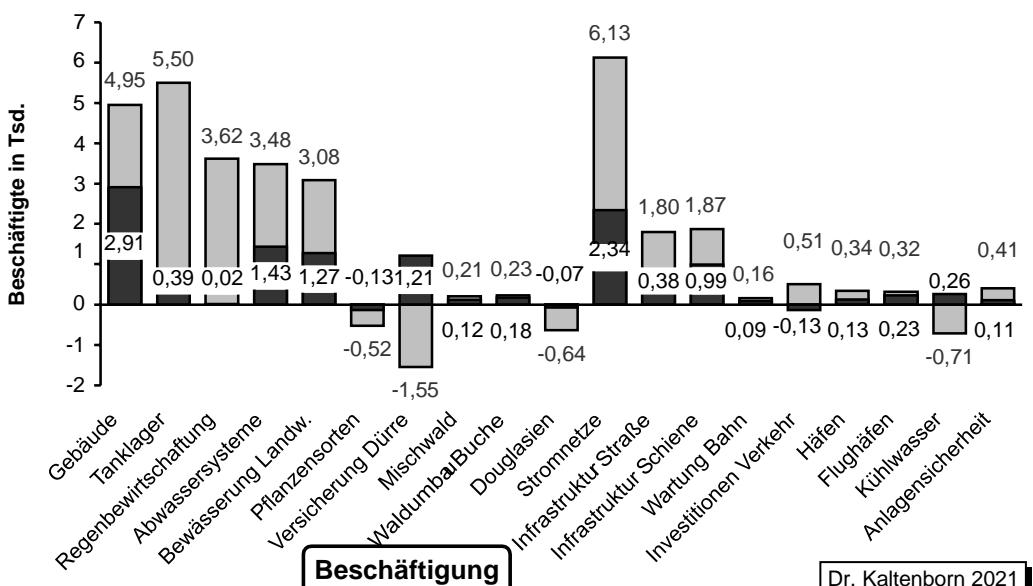
- › Nachrüsten von Flughäfen gegen Hitze und Niederschlagsereignisse („Flughäfen“) (LEHR u.a. [2020, S. 211]): In diesem Szenario werden zusätzlich 0,05 Mrd. EUR jährlich in Flughäfen investiert, um sie resistenter gegenüber Starkregen zu machen. Dadurch erhöhen sich die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,06 bis 0,09 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,01 bis 0,06 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 230 bis 320 (vgl. Abbildung 49).
- › Reduktion des Kühlwassereinsatzes bei industriellen Prozessen („Kühlwasser“) (LEHR u.a. [2020, S. 213-217]): Für etliche industrielle Prozesse wird Kühlwasser benötigt. Zur Schonung der Wasserressourcen und um Produktionsprozesse unabhängig von der Umgebungstemperatur zu ermöglichen, werden in dem Szenario 0,05 Mrd. EUR jährlich investiert, um den Kühlwasserbedarf zu reduzieren. Gleichwohl wird angenommen, dass nachteilige Effekte durch extreme Hitze nicht vermindert werden. Durch die Bauinvestitionen und den verminderter Wasserbedarf werden die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um bis zu 0,01 Mrd. EUR jährlich vermindert bzw. um bis zu 0,06 Mrd. EUR jährlich erhöht, das Bruttoinlandsprodukt um 0,07 bis 0,72 Mrd. EUR jährlich erhöht (vgl. Abbildung 48), während die Zahl der Beschäftigten um bis zu 710 geringer bzw. um bis zu 260 höher ist (vgl. Abbildung 49). Eine im Zeitablauf zunehmend geringere Zahl an Beschäftigten gibt es vor allem in der Wasserversorgung sowie im Bausektor.
- › Erhöhung der Anlagensicherheit („Anlagensicherheit“) (LEHR u.a. [2020, S. 218f]): In diesem Szenario werden 0,1 Mrd. EUR jährlich zusätzlich investiert, um gewerblich genutzte Gebäude und Anlagen gegen Sturmschäden abzusichern. Dadurch erhöhen sich die gesamtwirtschaftlichen Investitionen bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis um 0,09 bis 0,11 Mrd. EUR jährlich, das Bruttoinlandsprodukt um 0,02 bis 0,14 Mrd. EUR jährlich (vgl. Abbildung 48) und die Zahl der Beschäftigten um 110 bis 410 (vgl. Abbildung 49). Zusätzliche Beschäftigung gibt es im Verarbeitenden Gewerbe und dem Handel sowie in den mit beiden Sektoren verknüpften Dienstleistungen und zudem im Baugewerbe.

**Abbildung 48: Bandbreite der Änderung der Investitionen und des Bruttoinlandsprodukts durch Maßnahmen einer verstärkten Klimaresilienz bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis nach Berechnungen der GWS (2020)**



Quelle: LEHR u.a. [2020, S. 134, 141, 144, 149, 163, 168, 172, 176, 181, 187, 192, 199, 204, 206, 208, 209, 211, 217, 219].

**Abbildung 49: Bandbreite der Änderung der Zahl der Beschäftigten durch Maßnahmen einer verstärkten Klimaresilienz bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis nach Berechnungen der GWS (2020)**



Quelle: LEHR u.a. [2020, S. 134, 141, 144, 149, 163, 168, 172, 176, 181, 187, 192, 199, 204, 206, 208, 209, 211, 217, 219].

## 5.11 Ökologische Ziele jenseits des Klimaschutzes

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) und das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) haben 2015 eine erst später veröffentlichte Studie abgeschlossen, in der die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen verschiedener ökologischer Maßnahmebündel unter Berücksichtigung dadurch erhöhter Exporte bis 2030 untersucht wird (LEHR u.a. [2019]). Ausgangspunkt ist ein Referenzszenario, das „weitgehend“ der Energiereferenzprognose von SCHLESINGER u.a. [2014] (vgl. Abschnitt 5.6) entspricht bzw. in Anlehnung daran festgelegt wurde (LEHR u.a. [2019, S. 75, 80]). Es enthält alle Maßnahmen, die bis Frühjahr 2014 verabschiedet waren (LEHR u.a. [2019, S. 80]). Mit ihm werden drei Szenarien verglichen (LEHR u.a. [2019, S. 79f]):

- › Verbesserte Effizienz: In diesem Szenario werden Energieeinsparungen (Gebäude, Industrie, öffentliche Haushalte, Stromeffizienz privater Haushalte) mit Ressourcenschonung und Materialeffizienz (Baustoffe, erhöhte Materialeffizienz Industrie) kombiniert.
- › Nachhaltigere Mobilität: In diesem Szenario wird der Verkehr effizienter (Verbrauch von Neuwagen: 3 Liter Benzin bzw. 2,7 Liter Diesel je 100 km), der Anteil der Elektromobilität auf über 21% bis 2030 erhöht, der Schienenverkehr leiser und die Radinfrastruktur verbessert. Die Investitionsquote ist in diesem Szenario im Jahr 2030 um 1,2% höher als in der Referenz (LEHR u.a. [2019, S. 115]).

- › Ökologische Landwirtschaft und Neubesiedlungsabgabe: In diesem Szenario wird bis 2030 eine Erhöhung des Anteils der Fläche, auf dem ökologische Landwirtschaft (einschließlich Tierhaltung) betrieben wird, um 10 Prozentpunkte auf 20% angestrebt. Zudem wird eine Neubesiedlungsabgabe erhoben, die von 1 EUR je Quadratmeter im Jahr 2010 (sic!) linear auf 20 EUR je Quadratmeter im Jahr 2030 steigt.

Für alle Szenarien wird von den gleichen zentralen Rahmendaten, etwa hinsichtlich der Entwicklung von Bevölkerung und internationalen Rohstoffpreisen, ausgegangen (LEHR u.a. [2019, S. 80]). Ihre gesamtwirtschaftlichen Effekte wurden mit makroökonomischen Modell PANTA RHEI der GWS projiziert (LEHR u.a. [2019, S. 80f]). In einer Berechnungsvariante wird für die beiden Szenarien „Verbesserte Effizienz“ und „Nachhaltigere Mobilität“ von erhöhten Exportchancen infolge des verstärkten Einsatzes geförderter Technologien im Inland ausgegangen (LEHR u.a. [2019, S. 81]).

Auch wenn dies nicht vorrangiges Ziel ist, werden mit den beiden Szenarien „Verbesserte Effizienz“ und „Nachhaltigere Mobilität“ die Treibhausgasemissionen vermindert, insbesondere reduziert eine „Verbesserte Effizienz“ die Emissionen langfristig (vgl. Tabelle 31). Dieses Szenario hat auch die stärksten gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen. Der Projektion zufolge erhöht sich - ohne Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen - durch eine „Verbesserte Effizienz“ das Bruttoinlandsprodukt in den Jahren 2020, 2025 und 2030 um 0,4% bis 0,6%. Dies ist im „Beobachtungszeitraum“ mit einer Erhöhung der Zahl der Beschäftigten um 100.000 verbunden (LEHR u.a. [2019, S. 93]). Unter Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen verdoppelt sich der Beschäftigungseffekt ungefähr. Die Struktur der Beschäftigungseffekte differenziert nach Branchen ist weitgehend unabhängig von der Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen, wenngleich sich die Größenordnung unterscheidet (LEHR u.a. [2019, S. 97f]). Den mit Abstand relativ stärksten Rückgang gibt es der Projektion zufolge in den Branchen „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“, daneben auch in der „Öffentlichen Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung“ und in der „Energie- und Wasserversorgung“. Den mit Abstand größten relativen Zuwachs gibt es im Baugewerbe, gefolgt von der Land- und Forstwirtschaft.

Eine „Nachhaltigere Mobilität“ erhöht - ohne Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen - das Bruttoinlandsprodukt gegenüber der Referenz mit 0,05% bis 0,1% nur geringfügig (vgl. Tabelle 31). Auch die Zahl der Beschäftigten ist mit 20.000 bis 30.000 nur wenig höher. Unter Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen ist ihre Zahl der Projektion zufolge jedoch um 125.000 bis 160.000 höher. Rückläufig ist die Beschäftigung unter Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen lediglich in der „Öffentlichen Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung“, ohne Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen auch in weiteren Branchen, insbesondere im Fahrzeugbau. Die relativ stärksten Beschäftigungszuwächse gibt es im Baugewerbe, daneben auch in der Investitionsgüterindustrie und in der Branche „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“, insbesondere unter Berücksichtigung zusätzlicher Exportchancen auch in weiteren Branchen.

Eine Ausweitung des ökologischen Landbaus hat ebenso wie eine Neubesiedlungsabgabe nur sehr geringe Auswirkungen auf Wirtschaftsleistung und Beschäftigung (vgl. Tabelle 31).

**Tabelle 31: Zentrale Ergebnisse verschiedener Szenarien einer grünen Ökonomie in Deutschland nach Berechnungen der GWS u.a. (2019)**

Szenario	2020	2025	2030
Änderung der (energiebedingten) Treibhausgasemissionen gegenüber der Referenz <sup>a</sup>			
Verbesserte Effizienz	-4,0%	-4,6%	-5,0%
Nachhaltigere Mobilität	-0,4%	-0,6%	-0,9%
Ökologische Landwirtschaft und Neubesiedlungsabgabe	k.A.	k.A.	k.A.
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber der Referenz			
Verbesserte Effizienz (ohne Exporteffekt)	+0,6%	+0,5%	+0,4%
Nachhaltigere Mobilität (ohne Exporteffekt)	+0,1%	+0,1%	+0,05%
Ökologische Landwirtschaft	-0,0%	-0,0%	-0,02%
Neubesiedlungsabgabe	-0,06%	-0,09%	-0,11
Änderung der Zahl der Beschäftigten bzw. Arbeitnehmer/innen gegenüber der Referenz			
Verbesserte Effizienz (ohne Exporteffekt)	ca. +100.000 <sup>b</sup>		
Verbesserte Effizienz (mit Exporteffekt)	+200.000	k.A.	+225.000
Nachhaltigere Mobilität (ohne Exporteffekt)	+20.000	k.A.	+30.000
Nachhaltigere Mobilität (mit Exporteffekt)	+125.000	k.A.	+160.000
Ökologische Landwirtschaft	+500	+400	k.A.
Neubesiedlungsabgabe	-13.000 (-0,04%)	-16.500 (-0,05%)	-18.600 (-0,05%)

<sup>a</sup> Die angegebene Änderung bezieht sich auf die Energiereservenprognose (SCHLESINGER u.a. [2014]), die ihrerseits (vgl. Abschnitt 5.6), die die energiebedingten Treibhausgasemissionen projizieren. Dementsprechend dürfte sich die hiesige Projektion der Änderung gegenüber der Referenz ebenfalls lediglich auf die energiebedingten Treibhausgasemissionen beziehen.

<sup>b</sup> Im „Beobachtungszeitraum“: +100.000 (LEHR u.a. [2019, S. 93]).

Anmerkung: Werte teilweise aus Abbildungen abgelesen und daher ungenau.

Quelle: LEHR u.a. [2019, S. 92f, 95, 98, 114-116, 131f].

## 5.12 Sensitivitätsanalysen für Deutschland und die EU

**Prognos**, das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (**EWI**) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) haben in der bereits in Abschnitt 5.6 zitierten Studie zu den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer verstärkten Klimaschutzes für die von ihnen als wahrscheinlich angesehene Entwicklung (Energiereservenprognose bis 2030 und darüber hinaus Trendszenario bis 2050) die Auswirkungen abweichender Annahmen auf Bruttoinlandsprodukt und Erwerbstätigkeit projiziert (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 365-371]). Dabei befassen sie sich auch mit abweichenden internationalen Energiepreisen, abweichenden Investitionskosten für Technologien für erneuerbare Energien sowie durch einen verstärkten internationalen Klimaschutz induzierten höheren Preisen für Emissionszertifi-

cate. Die vom Energiereferenzprognose und Trendszenario abweichenden Annahmen zeigt Tabelle 32.

**Tabelle 32: Abweichende Annahmen von Energiereferenzprognose und Trendszenario für Sensitivitätsuntersuchungen in Deutschland von Prognos u.a. (2014)**

Merkmal	Änderung gegenüber Energiereferenzprognose und Trendszenario	
	Höhere internationale Brennstoffpreise	Niedrigere internationale Brennstoffpreise
Importpreis Rohöl <sup>a</sup>	+6% bis +8%	-7% bis -11%
Erdgaspreis	+12% bis +16%	-13% bis -15%
Importpreis Kesselkohle	+31% bis +32%	-31% bis -32%
	Höhere Technologiekosten	Niedrigere Technologiekosten
Investitionskosten für erneuerbare Energien	+20%	-20%
	Verstärkter internationaler Klimaschutz	
Preis für Emissionszertifikate	+20%	

Quelle: SCHLESINGER u.a. [2014, S. 336, 341, 344, 352, 359, 365].

Der Projektion zufolge wären mit höheren internationalen Energiepreisen zunächst reduzierte Treibhausgasemissionen, später jedoch deutlich erhöhte Treibhausgasemissionen verbunden (vgl. Tabelle 33). Dieser zunächst kontraintuitive langfristige Effekt liegt SCHLESINGER u.a. [2014, S. 336f] zufolge daran, dass die höheren internationalen Energiepreise die heimische Braunkohle konkurrenzfähig machen, so dass zusätzliche Kohlekraftwerke betrieben werden.<sup>60</sup> Dadurch wird sogar die vergleichsweise teure Nutzung von Windenergie auf See verdrängt und zusätzlicher Strom exportiert. Infolge der höheren internationalen Energiepreise ist den Berechnungen zufolge das Bruttoinlandsprodukt um 0,3% bis 0,5% und die Zahl der Erwerbstätigen um 0,1% bis 0,2% geringer (vgl. Tabelle 33).

Im umgekehrten Fall niedrigerer internationaler Brennstoffpreise sind die Wirkungen weitgehend reziprok (vgl. Tabelle 33). Allerdings sind anders als bei erhöhten internationalen Brennstoffpreisen die langfristigen Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen minimal. Offenbar gibt es eine bestimmte Preisschwelle, oberhalb derer eine zusätzliche Braunkohleverstromung wirtschaftlich ist.

<sup>60</sup> Die Studie wurde vor dem 2020 beschlossenen Kohleausstieg bis Ende 2038 (§ 4 Abs. 1 KVBG) erstellt. Dementsprechend wird davon ausgegangen, dass Braunkohle verstromt wird, soweit dies wirtschaftlich ist.

**Tabelle 33: Zentrale Ergebnisse für abweichende Annahmen von Energierelativprognose und Trendszenario in Deutschland nach Berechnungen von Prognos u.a. (2014)**

Abweichende Annahme	2020	2030	2040	2050
Änderung der energiebedingten Treibhausgasemissionen gegenüber Energierelativprognose und Trendszenario in Prozentpunkten gegenüber 1990				
Höhere internationale Brennstoffpreise	-0,8	-0,8	k.A.	+2,9
Niedrigere internationale Brennstoffpreise	+1,1	+0,7	k.A.	-0,1
Höhere Technologiekosten	-0,3	+0,4	k.A.	+1,5
Niedrigere Technologiekosten	+0,3	-1,2	k.A.	-1,1
Verstärkter internationaler Klimaschutz	-0,2	-2,6	k.A.	-3,5
Änderung des Bruttoinlandsprodukts gegenüber Energierelativprognose und Trendszenario				
Höhere internationale Brennstoffpreise	-0,3%	-0,4%	-0,3%	-0,5%
Niedrigere internationale Brennstoffpreise	+0,3%	+0,5%	+0,6%	+0,8%
Höhere Technologiekosten	-0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,1%
Niedrigere Technologiekosten	+0,0%	+0,0%	+0,1%	+0,0%
Verstärkter internationaler Klimaschutz	-0,0%	-0,1%	-0,3%	-0,1%
Änderung der Zahl der Erwerbstätigen gegenüber Energierelativprognose und Trendszenario				
Höhere internationale Brennstoffpreise	-76.000 (-0,2%)	-77.000 (-0,2%)	-40.000 (-0,1%)	-66.000 (-0,2%)
Niedrigere internationale Brennstoffpreise	+84.000 (+0,2%)	+88.000 (+0,2%)	+96.000 (+0,3%)	+107.000 (+0,3%)
Höhere Technologiekosten	-12.000 (-0,0%)	-20.000 (-0,1%)	-13.000 (-0,0%)	-12.000 (-0,0%)
Niedrigere Technologiekosten	+12.000 (+0,0%)	+12.000 (+0,0%)	+19.000 (+0,1%)	+7.000 (+0,0%)
Verstärkter internationaler Klimaschutz	-3.000 (-0,0%)	-23.000 (-0,1%)	-46.000 (-0,1%)	-25.000 (-0,1%)

Quelle: SCHLESINGER u.a. [2014, S. 342f, 350f, 357f, 363f, 370f].

Höhere oder geringere Investitionskosten für erneuerbare Energien haben nennenswerte Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen, jedoch lediglich minimale Auswirkungen auf Bruttoinlandsprodukt und Erwerbstätigkeit, jeweils in erwarteter Richtung (vgl. Tabelle 33). Da Energierelativprognose und Trendszenario wahrscheinliche Entwicklungen ohne vorgegebene Klimaziele abbilden, führen höhere Investitionskosten für erneuerbare Energien dazu,

dass diese durch andere, klimaschädliche Energieträger mit höheren Treibhausgasemissionen ersetzt werden, die nahezu ebenso wirtschaftlich sind, wie die erneuerbaren Energien beim ursprünglichen Preisniveau. Bei niedrigen Investitionskosten für erneuerbare Energien sind die Effekte reziprok.

Steigen die Preise für Emissionszertifikate infolge eines verstärkten internationalen Klimaschutzes, so reduziert dies die Treibhausgasemissionen in relevantem Umfang (vgl. Tabelle 33). Bruttoinlandsprodukt und Erwerbstätigkeit sind minimal geringer. Allerdings erfolgt die Reduktion der Treibhausgasemissionen ausgehend von einem hohen Niveau (vgl. Tabelle 21 in Abschnitt 5.6) und ist vergleichsweise einfach erreichbar, eine weitergehende Reduktion der Treibhausgasemissionen infolge erhöhter Zertifikatspreise dürfte mit größeren Anstrengungen verbunden sein und kann sich daher deutlicher auf Wirtschaftsleistung und Erwerbstätigkeit auswirken.

**Cambridge Econometrics und E3-Modelling** befassen sich in einer Studie mit den Konsequenzen von Kapazitätsbeschränkungen auf die (projizierten) ökonomischen Auswirkungen von Klima- und Energiepolitik im europäischen Kontext im Vergleich unterschiedlicher makroökonomischer Modelle mit verschiedenen Annahmen (CHEWPREECHA u.a. [2017]). Zunächst befassen sie sich anhand von Literatur und Daten mit der möglichen Existenz von Kapazitätsbeschränkungen (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 25f]):

- › Arbeitskräfte: Die verfügbare Anzahl an Arbeitskräften sei eine ganz reale ökonomische Beschränkung.
- › Produktionsmittel: Unternehmen in Schlüsselsektoren (vor allem im Baugewerbe und in Teilen des verarbeitenden Gewerbes) scheinen ein gewisses Maß an Kapazitätsreserven zu haben, die eine Ausweitung der Produktion als Reaktion auf die Klima- und Energiepolitik ermöglichen würden.
- › Kapitalmarkt: Finanzielle Beschränkungen seien am schwierigsten zu bewerten. Unternehmen mit hoher Verschuldung könnten Schwierigkeiten bei der Kreditaufnahme haben, was die Wirksamkeit der Klima- und Energiepolitik verringern würde. Es gebe jedoch keine Hinweise darauf, dass eine zusätzliche Kreditaufnahme im Energiesektor zu einer geringeren Kreditaufnahme und Investitionen in anderen Sektoren führen würde.

Für die Analyse von Kapazitätsbeschränkungen projizieren sie für die seinerzeit 28 EU-Mitgliedsstaaten insgesamt die ökonomischen Auswirkungen einer erhöhten Nachfrage nach energieeffizienter Ausrüstung in einem einfachen Testszenario im Vergleich mit dem seinerzeit aktuellen Referenzszenario der Europäischen Kommission (European Commission [2016]) mit verschiedenen makroökonomischen Modellen. Dabei ist die erhöhte Nachfrage im Testszenario als zusätzliche Exportnachfrage im Vergleich zum Referenzszenario modelliert, um den Einfluss von Kapazitätsbeschränkungen auf die Modellergebnisse möglichst gut isolieren zu können (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 27]). Im Testszenario steigt die zusätzliche Exportnachfrage ab 2018 bzw. 2020 sukzessive bis 2030 (vgl. auch Tabelle 34) (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 27, 41f]).

Die makroökonomischen Auswirkungen des Testszenarios im Vergleich zum Referenzszenario werden mit den folgenden beiden makroökonomischen Modellen bis 2030 projiziert:

- › GEM-E3-FIT: Das „General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment“ von E3-Modelling ist eher am Ideal eines berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodells ausgerichtet, jedoch empirisch angereichert.
- › E3ME: Das „Energy-Environment-Economy Macro-Econometric Model“ von Cambridge Econometrics ist ein stärker datengetriebenes makroökonomisches Modell. Es ist nachfrageorientiert, berücksichtigt jedoch auch Angebotsrestriktionen (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 28]):
  - Arbeitsmärkte: Die Erwerbsbeteiligung ist zwar endogen, jedoch begrenzt durch die erwerbsfähige Bevölkerung.
  - Gütermärkte: Anders als früher enthält die von CHEWPREECHA u.a. [2017] verwendete Modellversionen eine implizite Kapazitätsbeschränkung. In früheren Modellversionen hatte eine steigende Kapazitätsauslastung einen linearen Anstieg der Preise zur Folge. Nunmehr wird der Zusammenhang nicht-linear modelliert, mit zunehmender Kapazitätsauslastung steigen die Preise überproportional. Dies führt zu einer Verminderung der projizierten Effekte erhöhter Exporte (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 49]).
  - Finanzmärkte: Auf den Finanzmärkten gibt es keine Beschränkung des Geldangebots.

In den Standardeinstellungen unterscheiden sich die beiden makroökonomischen Modelle, GEM-E3-FIT berücksichtigt stärker als E3ME Angebotsrestriktionen auf Arbeits- und Kapitalmärkten. Für die Studie wurden diese unterschiedlichen Annahmen einander angenähert (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 48f]).

Zum Vergleich mit den Ergebnissen der beiden makroökonomischen Modelle werden die makroökonomischen Auswirkungen anhand einer Input-Output-Analyse bestimmt. Sie geht von dem Investitionsimpuls aus und ermittelt über eine (historische) Input-Output-Tabelle ohne Berücksichtigung von Kapazitätsbeschränkungen die Auswirkungen auf die Volkswirtschaft, ggf. einschließlich der Auswirkungen gestiegener Lohneinkommen auf die Güternachfrage. Nach der Input-Output-Analyse führt ein zusätzlich investierter Euro zu einer zusätzlichen Bruttowertschöpfung von 2,38 EUR in der Gesamtwirtschaft bzw. unter Berücksichtigung zusätzlicher Güternachfrage infolge gestiegener Lohneinkommen um 3,75 EUR (vgl. Multiplikator in Tabelle 34). Diese Analyse berücksichtigt nicht Preiseffekte oder Angebotsbeschränkungen, wodurch die Effekte geringer ausfallen würden (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 31]). Umgekehrt berücksichtigt die Input-Output-Analyse keine verbesserten Zukunftserwartungen oder durch die zusätzlichen Importe gestiegene Auslandsnachfrage (wie E3ME), wodurch die Effekte größer wären.

Die projizierten volkswirtschaftlichen Effekte des Testszenarios im Vergleich zum Referenzszenario sind bei den beiden makroökonomischen Modellen (erwartungsgemäß) geringer als bei der Input-Output-Analyse mit Berücksichtigung zusätzlicher Güternachfrage infolge höherer Lohneinkommen (vgl. Tabelle 34). Kurzfristig, im ersten Jahr mit erhöhten Exporten, ist der Unterschied geringer (GEM-E3-FIT 3,31, E3ME 3,00 gegenüber 3,75) als mittel- und wahrscheinlich auch langfristig (GEM-E3-FIT 3,08, E3ME 2,38 gegenüber 3,75).

**Tabelle 34: Analyse der Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen in der EU durch Cambridge Econometrics u.a. (2017)**

Modell	Ohne besondere Kapazitätsbeschränkungen	Vollbeschäftigung	Zusätzliche Investitionen nicht möglich	Vollbeschäftigung / zusätzliche Investitionen nicht möglich
Initiale Erhöhung der Exportnachfrage im Testszenario				
Input-Output-Analyse	Von 3,6 Mrd. EUR 2018 sukzessive ansteigend auf 44,9 Mrd. EUR 2030 (real in Preisen von 2005)			
GEM-E3-FIT	Von 7 bzw. 10 Mrd. EUR <sup>a</sup> 2018 sukzessive ansteigend auf 48 Mrd. EUR 2030 (real in Preisen von 2010)			
E3ME	Von 3,6 Mrd. EUR 2018 sukzessive ansteigend auf 44,9 Mrd. EUR 2030 (real in Preisen von 2005)			
Multiplikator für die Bruttowertschöpfung im ersten Jahr (2018 bzw. 2020)				
Input-Output-Analyse	2,38 / 3,75 <sup>b</sup>	-	-	-
GEM-E3-FIT (2020)	3,31	2,39	1,71	0,55
E3ME (2018)	3,00	2,38	2,57	2,13
Multiplikator für die Bruttowertschöpfung im Jahr 2030				
Input-Output-Analyse	2,38 / 3,75 <sup>b</sup>	-	-	-
GEM-E3-FIT	3,08	2,28	1,67	0,52
E3ME	2,38	2,01	2,09	1,83
Veränderung des Bruttoinlandsprodukts im Jahr 2030 im Test- gegenüber Referenzszenario				
Input-Output-Analyse	+0,25% / +0,40% <sup>b</sup>	-	-	-
GEM-E3-FIT	+0,33%	+0,21%	+0,15%	+0,03%
E3ME	+0,28%	+0,22%	+0,24%	+0,19%

<sup>a</sup> Widersprüchliche Angaben von CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 42, 46].

<sup>b</sup> Ohne / einschließlich zusätzlicher Nachfrage aufgrund erhöhten Lohneinkommens.

Anmerkung: Analyse bezieht sich auf die seinerzeit 28 EU-Mitgliedsstaaten.

Quelle: CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 30, 32f, 41-46].

Zudem wurden die gesamtwirtschaftlichen Effekte des Testszenarios im Vergleich zum Referenzszenario mit beiden makroökonomischen Modellen mit Berücksichtigung von Kapazitätsbeschränkungen auf dem Arbeitsmarkt (Vollbeschäftigung) und / oder für das Investitionsvolumen projiziert. Dies führt bei beiden makroökonomischen Modellen sowohl kurz- als auch mittelfristig zu einer Reduktion des Multiplikators (vgl. Tabelle 34). Dabei reduzieren beim GEM-E3-FIT Beschränkungen bei den Investitionen den Multiplikator deutlicher als

Kapazitätsbeschränkungen auf dem Arbeitsmarkt, beim E3ME ist es hingegen umgekehrt. Dies liegt daran, dass beim E3ME anders als beim GEM-E3-FIT die Produktionskapazitäten annahmegemäß nicht voll ausgelastet sind und Investitionsbeschränkungen weniger deutlich auswirken. Erwartungsgemäß am deutlichsten wird bei beiden makroökonomischen Modellen der Multiplikator reduziert, wenn es Kapazitätsbeschränkungen sowohl auf dem Arbeitsmarkt als auch für das Investitionsvolumen gibt. Hier ist zudem der Unterschied zwischen beiden Modellen am größten: Während beim E3ME der ökonomische Impuls dennoch zu einer ungefähr doppelt so großen Erhöhung der Bruttowertschöpfung führt, führt beim GEM-E3-FIT eine um einen Euro erhöhte Exportnachfrage lediglich zu einer Erhöhung der Bruttowertschöpfung um etwa einen halben Euro. Die erhöhte Exportnachfrage verdrängt also teilweise andere Nachfrage (partielles crowding-out).

Ergänzend zu den Multiplikatoren weist Tabelle 34 auch die Auswirkungen des Testszenarios im Vergleich zum Referenzszenario auf das Bruttoinlandsprodukt aus. Anders als die Multiplikatoren sind hier die Auswirkungen nicht auf die Größe des ökonomischen Ausgangsimpulses (erhöhte Exportnachfrage) normiert. Daher ist die Änderung des Bruttoinlandsprodukts (leicht) beeinflusst von der (leicht) unterschiedlichen Größe der Impulse bei den beiden Modellen. Die Tendenz der Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt ist erwartungsgemäß ähnlich wie auf die Multiplikatoren und wird daher hier nicht weiter interpretiert.

Die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (**GWS**) und **Prognos** haben weitgehend analog zur Studie von CHEWPREECHA u.a. [2017] für Deutschland die Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen auf die projizierte Wirtschaftsleistung einer erhöhten Exportnachfrage im makroökonomischen Modell PANTA RHEI der GWS untersucht (LUTZ u.a. [2018b, S. 99-103]). Ausgehend von ihrem Energiewende-Szenario (vgl. Abschnitt 5.7) untersuchen sie in einem Testszenario die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von sukzessive erhöhten Exporten im Zeitraum von 2018 bis 2030 der Wirtschaftszweige Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, optischen und elektronischen Erzeugnissen, Herstellung von elektrischen Ausrüstungen und Maschinenbau. Dadurch sind die Exporte im Jahr 2030 um 68 Mrd. EUR bzw. 2,9% höher (vgl. auch Tabelle 35). Das Testszenario wird in unterschiedlichen Modellvarianten ohne explizite Kapazitätsbeschränkungen auf dem Arbeitsmarkt und bei den Investitionen, sowie mit Kapazitätsbeschränkungen in einem der beiden Bereiche und mit Kapazitätsbeschränkungen in beiden Bereichen untersucht.

Im Vergleich der vier Modellvarianten nimmt erwartungsgemäß das Bruttoinlandsprodukt ohne besondere Kapazitätsbeschränkungen am stärksten zu (vgl. Tabelle 35). Den Berechnungen zufolge wirkt sich eine Beschränkung der Investitionen weniger als eine Beschränkung auf dem Arbeitsmarkt (Vollbeschäftigung) aus. Erwartungsgemäß die geringsten Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt haben zusätzliche Exporte, wenn es Beschränkungen sowohl auf dem Arbeitsmarkt als auch bei den Investitionen gibt.

**Tabelle 35: Analyse der Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen in Deutschland durch GWS u.a. (2018)**

Modell	Ohne besondere Kapazitätsbeschränkungen	Vollbeschäftigung	Zusätzliche Investitionen nicht möglich	Vollbeschäftigung / zusätzliche Investitionen nicht möglich
Initiale Erhöhung der Exportnachfrage im Testszenario				
PANTA RHEI	Exporte der Wirtschaftszweige Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, optischen und elektronischen Erzeugnissen, Herstellung von elektrischen Ausrüstungen und Maschinenbau steigen sukzessive von 2018 bis 2030 um 10% gegenüber dem Energiewende-Szenario			
Veränderung des Bruttoinlandsprodukts im Jahr 2030 im Test- gegenüber Energiewende-Szenario				
PANTA RHEI	+0,79%	+0,58%	+0,70%	+0,49%

Quelle: LUTZ u.a. [2018b, S. 99-103].

LUTZ u.a. [2018b, S. 103f] vergleichen ihre Ergebnisse auf Basis des makroökonomischen Modells PANTA RHEI zu den Auswirkungen der drei skizzierten Kapazitätsbeschränkungen auf das Bruttoinlandsprodukt mit den zuvor dargestellten Ergebnissen von CHEWPREECHA u.a. [2017] auf Basis der Modelle GEM-E3-FIT und E3ME. Da der Exportimpuls für die drei makroökonomischen Modelle unterschiedlich ist, erfolgt eine Normierung auf den projizierten Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt ohne besondere Kapazitätsbeschränkungen (vgl. Tabelle 36). Danach führen die Projektionen mit PANTA RHEI und E3ME zu ähnlichen Ergebnissen.<sup>61</sup> So hat bei diesen beiden Modellen eine Beschränkung zusätzlicher Investitionen geringere Auswirkungen als Knappheiten auf dem Arbeitsmarkt, während es beim Modell GEM-E3-FIT andersherum ist. Auffällig ist auch, dass sich beim Modell GEM-E3-FIT eine Kombination beider Kapazitätsbeschränkungen deutlich stärker auswirkt als bei den beiden anderen Modellen. Dies dürfte daran liegen, dass sich dieses Modell am Ideal eines berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodells orientiert, während die beiden anderen Modelle stärker makroökonomisch ausgerichtet sind.

<sup>61</sup> Die Angaben von LUTZ u.a. [2018b, S. 104] in Tabelle 5-3 und infolgedessen auch die Interpretation von LUTZ u.a. [2018b, S. 103] sind teilweise fehlerhaft. In Tabelle 5-3 ist der Wert für die Sensitivität S2 (Vollbeschäftigung) für das Modell E3ME fehlerhaft, die Werte für die Sensitivitäten S2 (Vollbeschäftigung) und S3 (zusätzliche Investitionen nicht möglich) für das Modell PANTA RHEI sind vertauscht.

**Tabelle 36: Auswirkungen von Kapazitätsbeschränkungen in unterschiedlichen makroökonomischen Modellen nach GWS u.a. (2018)**

Modell	Ohne besondere Kapazitätsbeschränkungen	Vollbeschäftigung	Zusätzliche Investitionen nicht möglich	Vollbeschäftigung / zusätzliche Investitionen nicht möglich
Relative Abweichung des Bruttoinlandsprodukts im Testszenario				
PANTA RHEI	1,00	0,73	0,89	0,62
GEM-E3-FIT	1,00	0,64	0,45	0,09
E3ME	1,00	0,79	0,86	0,68

Anmerkung: Dargestellt ist die relative Abweichung der projizierten Auswirkung zusätzlicher Exportnachfrage auf das Bruttoinlandsprodukt in Relation zur projizierten Auswirkung ohne besondere Kapazitätsbeschränkungen. Die Angaben in LUTZ u.a. [2018b, Tab. 5-3 S. 104] sind teilweise fehlerhaft, vorliegend sind korrigierte Werte ausgewiesen.

Quelle: LUTZ u.a. [2018b, S. 104] unter Verwendung von Ergebnissen von CHEWPREECHA u.a. [2017], E-Mail aus dem Autorenteam der Studie vom 16. Juli 2021.

Die **Europäische Kommission** vergleicht für die seinerzeit insgesamt 28 EU-Mitgliedsstaaten insgesamt unterschiedliche Szenarien für den Klimaschutz jeweils mit einem Basiszenario (European Commission [2018]). Das Basisszenario ist eine Weiterentwicklung eines bereits früher entwickelten Referenzszenarios (European Commission [2016; 2018, S. 46, 313-315]). Es berücksichtigt ProJEktionen für die demographische und makroökonomische Entwicklung, die Preisentwicklung fossiler Brennstoffe und bereits beschlossene Maßnahmen der Mitgliedsstaaten und der Europäischen Kommission sowie seinerzeit jüngste Vorschläge der Kommission. In das Basisszenario geht die seinerzeit beschlossene Reduktion der Treibhausgasemissionen der Europäischen Union bis 2030 um 40% gegenüber 1990 ein, nicht jedoch darüber hinaus. Allerdings reduzieren die dafür erforderlichen Maßnahmen die Emissionen auch über 2030 hinaus weiter. Die Modellierung der technologischen Entwicklung wurde ebenfalls aktualisiert und berücksichtigt nun Einschätzungen von Expertinnen und Experten sowie von Industrie- und Interessenvertreterinnen und -vertretern (European Commission [2018, S. 46, 315]; DE VITA u.a. [2018]).

Insgesamt werden acht Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes berücksichtigt. Die Szenarien unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der angestrebten Verminderung der Treibhausgasemissionen als auch hinsichtlich der Maßnahmen, um diese Ziele zu erreichen. Die in allen Szenarien berücksichtigten Technologien basieren auf Forschungstrends und Innovationen von Hochschulen oder Interessengruppen, umfassen jedoch keine sehr innovativen Optionen mit geringer technologischer Reife (European Commission [2018, S. 53]). Die Szenarien unterscheiden sich auch bei vergleichbaren Klimazielen erheblich hinsichtlich des Umfangs der zusätzlich erforderlichen Investitionen (European Commission [2018, S. 200-207]).

Lediglich für zwei Szenarien werden die Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt als wichtige Determinante der Beschäftigungsentwicklung dargestellt. Im weniger ambitionierten

Szenario ELEC soll der EU-Beitrag zum weltweiten Ziel, die Klimaerwärmung auf höchstens 2°C zu begrenzen, durch eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 82% gegenüber 1990 realisiert werden. Dieses Szenario basiert vorrangig auf einem weitgehenden Ersatz fossiler Brennstoffe durch klimaneutralen Strom. Im ambitionierten Szenario 1.5TECH, das vom Ziel einer Begrenzung des weltweiten Temperaturanstiegs auf 1,5°C ausgeht, reduziert die Europäische Union ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 um 94% gegenüber 1990. Hierzu wird vorwiegend auf eine kosteneffiziente Kombination von Maßnahmen gesetzt, unabhängig davon wird erfolgt eine Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (teilweise mit Einsatz von Bioenergie).

Die beiden Szenarien werden kombiniert mit jeweils zwei unterschiedlichen weltweiten Anstrengungen zum Klimaschutz. Der weniger ambitionierten Variante liegen die seinerzeit von den Vertragsstaaten des Pariser Klimaabkommens von 2015 angekündigten nationalen Beiträge zur Treibhausgasreduktion (NDCs) zugrunde. Die anspruchsvollere Variante geht von einer Reduktion der Treibhausgasemissionen im Rest der Welt um 46% (2°C-Ziel) bzw. 72% (1,5°C-Ziel) aus.

Die Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2050 werden mit drei unterschiedlichen Berechnungsmodellen geschätzt. Verwendet werden ein berechenbares allgemeines Gleichgewichtsmodell, das „General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment“ des Joint Research Centre's (JRC-GEM-E3), und zwei makroökonometrische Modelle, das Energy-Environment-Economy Macro-Econometric Model von Cambridge Econometrics (E3ME) und das QUarterly Economic Simulation Tool der Generaldirektion Wirtschaft und Finanzen der Europäischen Kommission (QUEST). Die makroökonomische Entwicklung des Basisszenarios basiert auf einer Projektion (European Commission [2018, S. 314]). Zudem wird der für die verschiedenen Szenarien erforderliche Investitionsbedarf geschätzt (vgl. Tabelle 37) (European Commission [2018, S. 200]). Diese Investitionsbedarfe sind dann offenbar Eingangsgröße für die makroökonomischen Modelle.

Für beide Szenarien werden von den drei Berechnungsmodellen jeweils nur sehr geringe Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt im Vergleich zum Basisszenario projiziert (vgl. Tabelle 37). Während das Gleichgewichtsmodell leicht negative Auswirkungen projiziert, sind die Auswirkungen den beiden makroökonometrischen Modellen zufolge positiv. Diese Unterschiede dürften dadurch bedingt sein, dass im Gleichgewichtsmodell von effizienten und (daher) geräumten Märkten ausgegangen wird, die durch Eingriffe zugunsten des Klimaschutzes gestört werden, während die beiden makroökonometrischen Modelle Ineffizienzen und unterausgelastete Kapazitäten bei Arbeit und Kapital zulassen, so dass Klimaschutzmaßnahmen hier eher positive wirtschaftliche Auswirkungen haben können. Die für den Klimaschutz erforderlichen zusätzlichen Investitionen verdrängen im Gleichgewichtsmodell tendenziell andere Investitionen (crowding-out). Ähnlich argumentiert auch KEMMLER u.a. [2021, S. 337f] unter Verweis auf eine Untersuchung der Generaldirektion Energie der Europäischen Kommission.

Bemerkenswert ist auch, dass sich zusätzliche Anstrengungen für den Klimaschutz im Rest der Welt dem Gleichgewichtsmodell zufolge negativ auf die Wirtschaftsleistung der Europäischen Union auswirken, während nach dem makroökonometrischen Modell E3ME das Ge-

genteil zutrifft. Auch dies dürfte auf die skizzierte unterschiedliche Konstruktion der Berechnungsmodelle zurückzuführen sein: Im Gleichgewichtsmodell mit perfekt funktionierenden Märkten dürfte der zusätzliche Klimaschutz im Rest der Welt zu Ineffizienzen führen, die sich auch negativ auf die Europäische Union auswirken. Im makroökonomischen Modell hingegen dürften die zusätzlichen Klimaschutzanstrengungen im Rest der Welt zur Verbesserung der Handelsbilanz der Europäischen Union führen.

**Tabelle 37: Zentrale Ergebnisse der Szenarien eines verstärkten Klimaschutzes in der EU nach Berechnungen der Europäischen Kommission (2018)**

	Basis-szenario	ELEC	1.5TECH	ELEC	1.5TECH
Weltweites Temperaturziel	-	<+2°C	<+1,5°C	<+2°C	<+1,5°C
Reduktion der Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 gegenüber 1990					
in der EU ohne LULUCF <sup>a</sup>	-62%	-82%	-94%	-82%	-94%
in der EU mit LULUCF <sup>a</sup>	-64%	-85%	-100%	-85%	-100%
global	k.A.	NDC	NDC	-46%	-72%
Durchschnittlicher Investitionsbedarf in Mrd. EUR jhrl. (real in Preisen von 2013)					
2031 bis 2050	1.190	1.356	1.480	1.356	1.480
zusätzlich zum Basisszenario 2031 bis 2050	±0	165,6	289,5	165,6	289,5
Änderung des Bruttoinlandsprodukts im Jahr 2050 gegenüber dem Basisszenario					
JRC-GEM-E3 <sup>b</sup>	±0	-0,13%	-0,63%	-0,28%	-1,30%
E3ME	±0	+1,26%	+1,48%	+1,57%	+2,19%
QUEST	±0	+0,31%	+0,68%	k.A.	k.A.

<sup>a</sup> Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft.

<sup>b</sup> Ohne Modellierung von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF).

Anmerkung: Einbezogen sind die seinerzeit 28 EU-Mitgliedsstaaten.

Quelle: European Commission [2018, S. 198, 202, 204, 217-219].

## 5.13 Zusammenfassung

Tabelle 38 gibt einen methodischen Überblick über die in den Abschnitten 5.2 bis 5.11 vorgestellten 19 Studien<sup>62</sup> zu Nettoeffekten der ökologischen Transformation in Deutschland; nicht berücksichtigt sind lediglich die Sensitivitätsanalysen (Abschnitt 5.12). An jeweils elf Studien war die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) bzw. Prognos beteiligt, lediglich zwei Studien wurden ohne Beteiligung mindestens eines der beiden Institute erstellt,

<sup>62</sup> Einige in diesem Kapitel berücksichtigte Studien differenzieren die Ergebnisse anderer Studien lediglich. Würden alle diese differenzierenden Studien einzeln gezählt, so ergäben sich insgesamt einige Studien mehr.

diese beiden Studien beziehen sich auf den Verkehrssektor. Die Projektionen reichen je nach Studie bis 2030, 2035 oder 2050. Retrospektive Studien gibt es nur vereinzelt, hier beginnt der Untersuchungszeitraum 1996 oder 2000. Alle Studien ermitteln die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen ökologisch wirksamer Aktivitäten durch den Vergleich eines oder mehrerer Reformszenarien mit einem Referenzszenario. Hierfür werden die ökologische in ökonomische Impulse übersetzt. Bei den ökonomischen Impulsen handelt es sich oftmals um zusätzliche Investitionen etwa in erneuerbare Energien und damit verbundene Investitionsgüter (z.B. Stromspeicher, Elektrofahrzeuge) und / oder in die Verbesserung der Energieeffizienz etwa durch die energetische Sanierung von Gebäuden. Teilweise werden auch unterschiedliche Preise oder unterschiedliche internationale Entwicklungen unterstellt. Einige Studien berücksichtigen explizit die Auswirkungen verstärkter nationale oder internationale Klimaschutzanstrengungen auf die Exporte in unterschiedlichen Varianten. Dabei werden diese Auswirkungen zwar teilweise mit erheblichem Aufwand plausibilisiert, jedoch in keiner der Studien endogen bestimmt. Die ökonomischen Impulse gehen schließlich in ein makroökonomisches Modell ein. Dabei liegen 13 der 18 Studien eines von drei makroökonomischen Modellen zugrunde, nämlich PANTA RHEI der GWS, VIEW von Prognos oder QINFORGE. Die Ergebnisse werden meist zumindest nach fünf oder sechs Wirtschaftssektoren differenziert, nur wenige Studien differenzieren nach Berufs(haupt)gruppen. Eine Geschlechterdifferenzierung nimmt nur eine Studie anhand von Branchendurchschnitten vor.

Tabelle 39 gibt einen Überblick ausgewählte Ergebnisse der Studien. Die meisten Studien befassen sich mit den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eines verstärkten Klimaschutzes. Daher ist in Tabelle 39 für die untersuchten Szenarien die jeweils projizierte Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland gegenüber 1990 ausgewiesen. Die Reduktion im Vergleich zum jeweiligen Referenzszenario gibt einen Hinweis auf das Anspruchsniveau des jeweiligen Szenarios. Eine vergleichende Interpretation der projizierten gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen erfolgt im Fazit.

**Tabelle 38: Methodischer Überblick über Studien zu Nettoeffekten der ökologischen Transformation in Deutschland**

Ab.	Studie	Reformszenario	Zeitraum	Globale Alternativen	Makro-modell	Differenzierung der Effekte	Bemerkungen
5.1	Prognos (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020])	Bepreisung der Kohlendioxid-emissionen der Stahlindustrie	p: bis 2035	-	VIEW	32 Wirtschaftsbereiche	-
5.2	Öko-Institut, Institut für Verkehrsforschung im DLR, ifeu und INFRAS (ZIMMER u.a. [2016])	Verkehrswende (2 Szenarien zur vollständigen Dekarbonisierung des Verkehrssektors)	p: bis 2050	-	VEDIOM; FARM EU	13 Branchen	-
5.2	M-Five und Fraunhofer ISI (BERTHOLD u.a. [2020])	Verkehrswende im Land-Personenverkehr (2 Szenarien)	p: bis 2035	Entwicklung in Europa ist dem jeweiligen Szenario für Deutschland ähnlich	ASTRA-HBS	-	-
5.2	GWS, IAB, BIBB (MÖNNIG u.a. [2018])	26% Anteil Elektro-PKW an Neuzulassungen 2035	p: bis 2035	-	QINFORGE	25 Wirtschaftszweige, 10 ausgewählte Berufe, 4 Anforderungsniveaus	Vergleich mit Basisprojektion von MAIER u.a. [2018]
5.3	Prognos, EWI und GWS (SCHLESINGER u.a. [2011])	Atomausstieg	p: bis 2030	-	PANTA RHEI	6 Wirtschaftssektoren	-

Ab.	Studie	Reformszenario	Zeitraum	Globale Alternativen	Makro-modell	Differenzierung der Effekte	Bemerkungen
5.4	Prognos, Ecofys, dena und PwC (THAMLING u.a. [2017])	Energieeffizienzstrategie Gebäude (2015) (2 Szenarien: Hauptmaßnahme Verbesserung Effizienz vs. Hauptmaßnahme erneuerbare Energien)	p: bis 2050	höhere / geringere internationale Energiepreise	VIEW	exemplarische Angabe für 2 Sektoren	-
5.5	GWS, DIW, DLR, Prognos und ZSW (LEHR u.a. [2015])	Ausbau erneuerbarer Energien	r/p: 1996 bis 2050	Sensitivität: unterschiedliche Exporte Deutschlands (als Folge unterschiedlich ambitionierten globalen Klimaschutzes)	PANTA RHEI	21 Branchen	Rückgang der Exporte konventioneller Technik beim globalen Klimaschutz unberücksichtigt
5.6	Prognos, EWI und GWS (SCHLESINGER u.a. [2014])	Energiekonzept der Bundesregierung (2010) (1 Szenario: bis 2050 Reduktion der energiebedingten Emissionen um 80%)	p: bis 2050	Sensitivitäten nur für Referenz: höhere bzw. niedrigere internationale Brennstoffpreise; international verstärkter Klimaschutz (vgl. Abschnitt 5.12)	VIEW	5 Sektoren; 6 unterschiedliche Maßnahmen	nur für Referenz: höhere bzw. niedrigere Technologiekosten untersucht (vgl. Abschnitt 5.12)

Ab.	Studie	Reformszenario	Zeitraum	Globale Alternativen	Makro-modell	Differenzierung der Effekte	Bemerkungen
5.7	GWS und Prognos (LUTZ u.a. [2018b]); GWS (ULRICH, LEHR und LUTZ [2018])	bis 2050 Emissionsreduktion um 80% bis 85% gegenüber 1990; vorrangig Verbesserung Energieeffizienz, nachrangig Einsatz erneuerbarer Energien)	r/p: 2000 bis 2050	höhere Preise für Erdgas und Kohle zur Verstromung im Zielszenario als im Referenzszenario	PANTA RHEI; LÄNDER	5 Sektoren; 2030 und 2040: nach Bundesländern	Sensitivität: Diskonfaktor
5.7	Prognos-Team (HOCH u.a. [2019, S. 13-14])	wie vorstehend (nur bis 2015)	r: 2000 bis 2015	-	PANTA RHEI	5 Sektoren	aufbauend auf LUTZ u.a. [2018b]
5.8	GWS und IAB (MÖNNIG u.a. [2020])	11 Einzelmaßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030	p: bis 2035	-	QINFORGE	25 Wirtschaftszweige; 37 Berufshauptgruppen; 4 Anforderungsniveaus	-
5.8	Öko-Institut, Fraunhofer ISI, Prognos, M-Five, IREES und FiBL (REPENNING u.a. [2019])	Sektorziele 2030 des Klimaschutzplans 2050 (2 Szenarien: Hauptmaßnahme Verbesserung Effizienz vs. Hauptmaßnahme erneuerbare Energien)	p: bis 2030	-	ISI-Macro	13 Wirtschaftsbereiche	Diskussion der Auswirkungen auf Wettbewerbsfähigkeit

Ab.	Studie	Reformszenario	Zeitraum	Globale Alternativen	Makro-modell	Differenzierung der Effekte	Bemerkungen
5.8	BCG und Prognos (GERBERT u.a. [2018]); Prognos-Team (HOCH u.a. [2019, S. 15-38])	2 Szenarien: Emissionsreduktion bis 2050 um 80% und 95% gegenüber 1990 (Maßnahmen auf Kostenreduktion optimiert)	p: 2050	Referenz, 80%-Zielszenario: ohne globalen Klimaschutz; beide Zielszenarien: mit globalem Klimaschutz (zusätzliche Exporte für ausländische Klimaschutzinvestitionen nicht berücksichtigt)	VIEW	Bundesländer; ausgewählte Berufshauptgruppen; 3 Qualifikationsniveaus; ausgewählte Branchen	keine Klimaziele vor 2050; Speicherung von Kohlenstoffdioxid im 95%-Szenario; zum Arbeitskräftebedarf (brutto) infolge der Investitionen vgl. BLAZEJC-ZAK und EDLER [2021] (Abschnitt 4.9)
5.8	Prognos (BURRET u.a. [2020])	2 Szenarien basierend auf GERBERT u.a. [2018]	p: bis 2050	Szenarien basieren auf abweichenden Annahmen zum globalen Klimaschutz; 95%-Szenario wird mit 2 Varianten zum globalen Klimaschutz kombiniert	GINFORS-E	18 Branchen	globaler Klimaschutz beeinflusst Auslandsnachfrage und internationale Wettbewerbsfähigkeit; Speicherung von Kohlenstoffdioxid im 95%-Szenario
5.8	Prognos, Fraunhofer ISI, GWS und IINAS (KEMMLER u.a. [2021])	Klimaschutzplan 2050 (2 Szenarien); Klimaschutzprogramm 2030 (1 Szenario)	p: bis 2050	übrige Länder verfolgen gleiche Klimaschutzziele (daher kein Wettbewerbsnachteil durch Klimaschutz)	PANTA RHEI	12 ausgewählte Sektoren	-

Ab.	Studie	Reformszenario	Zeitraum	Globale Alternativen	Makromodell	Differenzierung der Effekte	Bemerkungen
5.8	GWS, BIBB und IAB (MÖNNIG u.a. [2021])	Emissionsreduktion bis 2030 um 65% gegenüber 1990	p: bis 2030	-	QINFORGE	ausgewählte Wirtschaftszweige; 37 Berufshauptgruppen; 4 Anforderungsniveaus	-
5.9	DIW, adelphi, GWS und Roland Berger (BLAZEJC-ZAK u.a. [2019])	zusätzliche Exportchancen durch globalen Klimaschutz	p: bis 2030	mit / ohne globalen Klimaschutz	PANTA RHEI	5 ausgewählte Branchen	-
5.10	GWS und IÖW (LEHR u.a. [2020])	19 Einzelmaßnahmen zur Klimaresilienz	p: bis 2050	-	PANTA RHEI	teilweise: 6 Sektoren	-
5.11	GWS und DIW (LEHR u.a. [2019])	3 Szenarien (Verbesserte Effizienz; Nachhaltigere Mobilität; Ökologische Landwirtschaft und Neubesiedlungsabgabe)	p: bis 2030	mit / ohne verbesserte Exportchancen (nur für Verbesserte Effizienz und Nachhaltigere Mobilität)	PANTA RHEI	17 Sektoren (nur für Verbesserte Effizienz und Nachhaltigere Mobilität)	-

Anmerkung: Ab.: Abschnitt; r: retrospektiv; p: prospektiv; ohne Sensitivitätsanalysen (Abschnitt 5.12).

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der angegebenen Quellen.

**Tabelle 39: Überblick zu projizierten Nettoeffekten der ökologischen Transformation in Deutschland**

Ab.	Studie	Reformszenario	Treibhausgasemissionen		BIP	Erwerbstätige / Beschäftigte	
			Referenz	Reformszenario			
			2030 / 2050	2030 / 2050	2030 / 2050	2030	2050
			Reduktion gegenüber 1990		Änderung gegenüber Referenz		
5.1	Prognos (LIMBERS, BÖHMER und SCHLESINGER [2020])	Bepreisung der Kohlendioxid-emissionen der Stahlindustrie	Reduktion in der Stahlindustrie 2030 / 2035 gegenüber 2018:		Bruttowertschöpfung 2035: -0,5%	2035: -199.300 (-0,5%)	-
			0 / 2%	ca. 24% / 60%			
5.2	Öko-Institut, Institut für Verkehrsforschung im DLR, ifeu und INFRAS (ZIMMER u.a. [2016])	nur Verkehr: a) Effizienz b) Effizienz plus	nur Kohlendioxid im Verkehrssektor (inkl. internat. Flug- und Seeverkehr, ohne Vorketten):		Wertschöpfung: a) -0,3% / +0,0% b) -0,1% / +0,1%	a) -121.000 (-0,3%) b) -51.000 (-0,1%)	a) -66.000 (-0,2%) b) +19.000 (+0,1%)
			1% / 17%	a) 18% / 100% b) 24% / 100%			
5.2	M-Five und Fraunhofer ISI (BERTHOLD u.a. [2020])	nur Land-Personenverkehr: a) E-Straße-2035 b) Multi-Modalität-2035	nur Kohlendioxid im Personenverkehr (ohne Vorketten) kumuliert 2019-2035:		2030 / 2035 a) +0,6% / +0,8% b) -0,6% / -0,9%	Vollzeitäquivalente:	
			Emissionen: 1.694 Mio. Tonnen	Reduktion gegenüber Referenz: a) 36% b) 43%		a) +626.000 b) +500.000	2035: a) +112.000 b) -233.000
5.2	GWS, IAB, BIBB (MÖNNIG u.a. [2018])	PKW-Elektrifizierung	k.A.	k.A.	2035: -0,6%	2035: -114.000 (-0,3%)	-
5.3	Prognos, EWI und	Atomausstieg bis	nur energiebedingte Emissionen:		-0,3% / -	-44.200	-

Ab.	Studie	Reformszenario	Treibhausgasemissionen		BIP	Erwerbstätige / Beschäftigte	
			Referenz	Reformszenario			
			2030 / 2050	2030 / 2050	2030 / 2050	2030	2050
			Reduktion gegenüber 1990		Änderung gegenüber Referenz		
	GWS (SCHLESINGER u.a. [2011])	2025	65,3% / k.A.	61,9% / k.A.		(-0,1%)	
5.4	Prognos, Ecofys, dena und PwC (THAMLING u.a. [2017])	Gebäudesektor, Hauptmaßnahme: a) Effizienz b) Erneuerbare Energien	nur energiebedingte Emissionen des Gebäudesektors (mit Vorketten):		a) +1,7% / +2,2% b) +1,0% / +1,4%	a) +187.000 (+0,5%) b) +102.000 (+0,2%)	a) +124.000 (+0,3%) b) +87.000 (+0,2%)
5.5	GWS, DIW, DLR, Prognos und ZSW (LEHR u.a. [2015])	Ausbau erneuerbarer Energien	nur energiebedingte Emissionen:		+1,4% / +2,3%	+110.000 (+0,3%) (je nach Exportvariante: +50.000 bis +170.000)	+232.000 (+0,7%) (je nach Exportvariante: +180.000 bis +270.000)
5.6	Prognos, EWI und GWS (SCHLESINGER u.a. [2014])	Energiekonzept der Bundesregierung (2010)	43% / 65%	56% / 80%	+0,1% / +1,0%	-16.000 (-0,0%)	+118.000 (+0,3%)
5.7	GWS und Prognos (LUTZ u.a. [2018b]); GWS (ULRICH, LEHR und LUTZ [2018])	Energiewende	k.A. / ca. 17%	53% / 81%	+2,45% / +3,8%	+222.300 +(0,52%)	+377.400 (+1,0%)

Ab.	Studie	Reformszenario	Treibhausgasemissionen		BIP	Erwerbstätige / Beschäftigte	
			Referenz	Reformszenario			
			2030 / 2050	2030 / 2050	2030 / 2050	2030	2050
			Reduktion gegenüber 1990		Änderung gegenüber Referenz		
5.7	Prognos-Team (HOCH u.a. [2019, S. 13-14])	wie vorstehend (nur bis 2015)	-	-	-	2015: +71.000	-
5.8	GWS und IAB (MÖNNIG u.a. [2020])	11 Einzelmaßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030	k.A.	k.A.	2035: ca. -4 Mrd. EUR (real)	2035: ca. +4.000	-
5.8	Öko-Institut, Fraunhofer ISI, Prognos, M-Five, IREES und FiBL (REPENNING u.a. [2019])	Sektorziele 2030 des Klimaschutzplans 2050, Hauptmaßnahme: a) Effizienz b) erneuerbare Energien	41% / -	a) 56% / - b) 56% / -	ohne crowding-out:  a) +1,1% / - b) +1,6% / -	a) +427.000 (+1,2%) b) +307.000 (+0,9%)	-
5.8	BCG und Prognos (GERBERT u.a. [2018]); Prognos-Team (HOCH u.a. [2019, S. 15-38])	a) 80%-Zielszenario b) 95%-Zielszenario	45% / 61%	a) 52% / 80% b) 57% / 95%	mit vollständigem crowding-out:  a) +0,5% / - b) +0,3% / -	a) +30.000 b) ±0	
					a) +0,5% / +0,6% bis +0,9% b) +0,9% / +0,9%	a) +42.000 bis +49.000 b) +77.000	a) +50.000 bis +72.000 b) +43.000

Ab.	Studie	Reformszenario	Treibhausgasemissionen		BIP	Erwerbstätige / Beschäftigte	
			Referenz	Reformszenario			
			2030 / 2050	2030 / 2050	2030 / 2050	2030	2050
			Reduktion gegenüber 1990		Änderung gegenüber Referenz		
5.8	Prognos (BURRET u.a. [2020])	a) 80%- Zielszenario (nationaler Alleingang) b) 95%- Zielszenario (europäischer Klimaschutz) c) 95%- Zielszenario (globaler Klimaschutz)	45% / 61%	a) 52% / 80% b) 57% / 95% c) 57% / 95%	2030 / 2040: a) +0,3% / +0,6% b) +0,8% / +1,4% c) +0,8% / +1,4%	a) ±0 b) -0,2% c) -0,3%	k.A.
5.8	Prognos, Fraunhofer ISI, GWS und IINAS (KEMMLER u.a. [2021])	Klimaschutzplan 2050: a) Zielszenario 1 b) Zielszenario 2 c) Klimaschutzprogramm 2030	42% / 62%	a) 55% / 85% b) 55% / 86% c) 52% / 87%	a) +1,7% / +0,25% b) +1,4% / +0,57% c) +1,4% / +0,35%	a) +0,42% b) +0,36% c) +0,46%	a) +0,09% b) +0,30% c) +0,22%
5.8	GWS, BIBB und IAB (MÖNNIG u.a. [2021])	Emissionsreduktion bis 2030 um 65% gegenüber 1990	(55%)	65%	k.A.	+359.000	-
5.9	DIW, adelphi, GWS und Roland Berger (BLAZEJC-ZAK u.a. [2019])	zusätzliche Exportchancen durch globalen Klimaschutz	-	-	+1,2% / -	+110.000 (+0,3%)	-

Ab.	Studie	Reformszenario	Treibhausgasemissionen		BIP	Erwerbstätige / Beschäftigte	
			Referenz	Reformszenario			
			2030 / 2050	2030 / 2050	2030 / 2050	2030	2050
			Reduktion gegenüber 1990		Änderung gegenüber Referenz		
5.10	GWS und IÖW (LEHR u.a. [2020])	19 Einzelmaßnahmen zur Klimaresilienz	-	-	bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis je nach Maßnahme -1,71% bis +1,32% (vgl. Abbildung 48)	bis 2050 in Jahren ohne Schadensereignis je nach Maßnahme -1.550 bis +6.130 (vgl. Abbildung 49)	
5.11	GWS und DIW (Lehr u.a. [2019])	a) Verbesserte Effizienz b) Nachhaltigere Mobilität c) Ökologische Landwirtschaft und Neubesiedlungsabgabe		Änderung der (energiebedingten) Treibhausgasemissionen gegenüber der Referenz: a) 5,0% / - b) 0,9% / - c) k.A. / -	a) +0,4% / - b) +0,05% / - c) -0,13% / -	Nur Neubesiedlungsabgabe: c) -18.600 (-0,05%) ohne Exporteffekt: a) +100.000 b) +30.000 mit Exporteffekt: a) +225.000 b) +160.000	-

Anmerkung: Ab.: Abschnitt; r: retrospektiv; p: prospektiv; ohne Sensitivitätsanalysen (Abschnitt 5.12).

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der angegebenen Quellen.

## 6 Fazit

Der Klimawandel dürfte die größte (ökologische) Herausforderung der nächsten Dekaden für die gesamte Menschheit sein. Die Weltgemeinschaft hat sich 2015 im Pariser Klimaabkommen verpflichtet, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf 2°C, möglichst auf 1,5°C zu begrenzen. Dafür bedarf es einer drastischen Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen. Die Europäische Union hat jüngst ihr klimapolitisches Ziel verschärft und sich auf eine Reduktion ihrer Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55%<sup>63</sup> gegenüber 1990 verpflichtet, bis 2050 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden, danach negative Emissionen. Deutschland hat ebenfalls jüngst seine klimapolitischen Ziele verschärft und sich auf eine Reduktion seiner Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65% gegenüber 1990 verpflichtet, bis 2045 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden, nach 2050 negative Emissionen. Keinerlei Verpflichtungen gibt es jenseits des innereuropäischen Luftverkehrs bislang für den internationalen Flug- und Seeverkehr. Seit 2005 benötigen die Energiewirtschaft und die energieintensive Industrie in der Europäischen Union für ihre Treibhausgasemissionen Emissionszertifikate, die an der Börse gehandelt werden. Dort überschritt der Preis für das Recht, eine Tonne Kohlendioxid-Äquivalent zu emittieren, Ende 2020 erstmals auf deutlich über 30 EUR, seit Anfang Mai 2021 liegt die Börsennotierung bei über 50 EUR.

Die Treibhausgasemissionen in Deutschland waren im Jahr 2019 um 35% geringer als 1990. Insbesondere aufgrund des Wirtschaftseinbruchs infolge der weltweiten Corona-Pandemie waren sie im Jahr 2020 um 41% geringer als 1990. 2020 waren 83% der Treibhausgasemissionen energiebedingt, jeweils 8% stammten aus Industrieprozessen und der Landwirtschaft. Energiebedingte Treibhausgasemissionen lassen sich insbesondere durch eine verbesserte (End-) Energieeffizienz, also etwa durch eine energetische Sanierung von Gebäuden, sowie durch die Nutzung erneuerbarer Energien anstelle von fossilen Energieträgern reduzieren. Beide Maßnahmen erfordern zusätzliche Investitionen und ersetzen Importe fossiler Energieträger. Die Technologie für die Nutzung von Wasserkraft, Sonne und Wind zur Stromerzeugung ist vorhanden und grundsätzlich auch wirtschaftlich einsetzbar. Allein durch die Nutzung von Strom werden sich allerdings nicht alle Emissionen vermeiden lassen. Daher dürfte ergänzend aus erneuerbaren Energien erzeugter, sog. „grüner“ Wasserstoff für bestimmte Industrieprozesse, insbesondere die Primärstahlerzeugung<sup>64</sup>, benötigt werden. Zudem können Wasserstoff und seine Folgeprodukte (synthetische Kraft- und Brennstoffe) auch energetisch genutzt werden, wobei im Idealfall hierfür die bestehende Infrastruktur für fossile Brennstoffe weiter verwendet werden kann. Anders als Strom ist Wasserstoff zudem lagerfähig und kann über große Distanzen transportiert werden, kann mithin aus Regionen jenseits Europas importiert werden. Zur Erzeugung, zum Transport, zur Speicherung und zur Nutzung von Wasserstoff besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf, um einen (wirtschaftlichen) Einsatz im großen Stil zu ermöglichen. Zur Kompensation unvermeidbarer Emissionen insbesondere von

<sup>63</sup> Dies entspricht einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 52,8%.

<sup>64</sup> In Deutschland werden etwa 70% des Stahls aus Eisenerz erzeugt (Primärstahlerzeugung) und rund 30% durch Einschmelzen von Stahlschrott (Sekundärstahlerzeugung). Letzteres ist günstiger und mit geringeren Emissionen verbunden.

bestimmten Industrieprozessen oder der Landwirtschaft werden voraussichtlich (natürliche) Kohlenstoffsenken und ergänzend künstliche Kohlenstoffspeicher (im Untergrund) erforderlich sein.

Die erneuerbaren Energien haben in den letzten zwei Dekaden in Deutschland erheblich an Bedeutung gewonnen, 2020 wurde knapp ein Fünftel des (Bruttoend-) Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt. Gleichzeitig wurden fossile Energieträger sukzessive weniger genutzt, dies gilt allerdings nicht für Gas. Auch die Kernkraft hat in den letzten anderthalb Dekaden an Bedeutung verloren. Drei der verbliebenen sechs Kernkraftwerke sollen Ende 2021 abgeschaltet werden, die letzten drei ein Jahr später. Gleichzeitig haben sich durch diese Entwicklung Niveau und Struktur der Beschäftigung in der Energiewirtschaft verändert. Die direkte Beschäftigung aus dem laufenden Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und die indirekte Beschäftigung durch den Bezug von Vorleistungen hat zusammen von 2000 bis 2018 von 25.000 auf 155.000 zugenommen, zuletzt entfielen davon 60% auf die Bereitstellung biogener Brenn- und Kraftstoffe (Biomasse und Biokraftstoffe). Dieser Aufwuchs hat die Beschäftigungsverluste im laufenden Betrieb des konventionellen Energiesektors (einschließlich Kohlenbergbau) nahezu exakt kompensiert.<sup>65</sup> Die heimische Steinkohleförderung wurde mit dem Auslaufen seiner Subventionierung 2018 beendet. Durch den laufenden Betrieb des Steinkohlenbergbaus gab es 2000 gut 101.000 direkt und indirekt Beschäftigte. Die Kraftwerkskapazitäten für die Kohleverstromung sollen sukzessive bis Ende 2038 abgebaut werden. Dies bedeutet zugleich einen Ausstieg aus der Braunkohleförderung, weil Braunkohle aufgrund ihres niedrigen Energiegehalts und der damit verbundenen hohen Transportkosten rentabel nur fördernah verstromt werden kann. Durch den laufenden Betrieb des Braunkohlenbergbaus gab es 2000 noch gut 31.000 direkt und indirekt Beschäftigte, 2017 waren es noch gut 22.000. FRONDEL u.a. [2018, S. 35] weisen darauf hin, „(...) dass die gesamtwirtschaftliche Bedeutung des Braunkohlesektors selbst in den Braunkohleregionen eher geringer ist, als dies die öffentlichen Diskussionen über die Braunkohleindustrie gelegentlich nahelegen, in denen dessen tatsächliche Relevanz mitunter überzeichnet wird.“

Die direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen der Energiewirtschaft in konventionelle Stromerzeugung und Kohlenbergbau schwankte von 2000 bis 2017 zwischen 30.000 (2001) und 91.000 (2009), zuletzt (2017) waren es 43.000. Die direkte und indirekte Beschäftigung durch Investitionen in erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugung stieg sukzessive von 80.000 im Jahr 2000 auf 304.000 im Jahr 2011, um dann weitgehend sukzessive bis 2018 auf 149.000 zurückzugehen. Die Entwicklung wurde maßgeblich von der Solarenergie geprägt: Hier nahm die Beschäftigung von 8.000 im Jahr 2000 auf 146.000 im Jahr 2011 zu, um dann auf knapp 30.000 im Jahr 2017 abzunehmen, zuletzt (2018) stieg sie wieder auf gut 33.000. Ursache für den Einbruch ab dem Jahr 2012 waren die 2011 entstandenen deutlichen globalen Überkapazitäten in der Produktion von Zellen und Modulen für Photovoltaik, wodurch die Preise abrupt fielen. Eine große Bedeutung hat außerdem die Windenergie: Hier stieg die Be-

---

<sup>65</sup> Ohne Berücksichtigung der vergleichsweise geringen indirekten Beschäftigung aufgrund der Gewinnung von Erdöl und Erdgas, der Mineralölverarbeitung, der Gasversorgung und der Elektrizitäts- und FernwärmeverSORGUNG.

beschäftigung von 41.000 im Jahr 2000 weitgehend sukzessive auf 128.000 im Jahr 2016, sank allerdings anschließend bis auf 81.000 im Jahr 2018.

Die direkte und indirekte Beschäftigung durch Aktivitäten der Energiewirtschaft insgesamt (einschließlich Investitionen in Netze und Energiespeicher) nahm von rund 540.000 im Jahr 2000 zunächst auf etwa 800.000 im Jahr 2011 zu, um dann weitgehend sukzessive bis auf rund 650.000 im Jahr 2017 zurückzugehen. Aufwuchs und Schwankungen sind wesentlich von Investitionen in erneuerbare Energien geprägt. „Erneuerbare Energien sind kapitalintensiv, die Wertschöpfung entsteht im Wesentlichen in der Bauphase der Anlagen (...)“ (BÖHMER u.a. [2015, S. 55]).

Auch künftig werden für den Ausbau der erneuerbaren Energien in erheblichem Umfang Arbeitskräfte benötigt. Vergleichsweise wenig arbeitsintensiv hingegen sind offenbar Erzeugung, Speicherung und Transport von (grünem) Wasserstoff. Soweit er mit inländischem Strom erzeugt wird, werden jedoch Arbeitskräfte für den Ausbau der erneuerbaren Energien benötigt. Durch eine globale Nutzung der Wasserstofftechnologie ergeben sich zusätzliche Exporte, insbesondere von Elektrolyseanlagen. Für ein geschätztes Exportvolumen von durchschnittlich 39 Mrd. EUR jährlich würden bei den Herstellern und aufgrund des Bezugs von Vorleistungen sowie durch die zusätzliche Nachfrage durch das dort generierte Einkommen 470.000 Arbeitskräfte benötigt.

Etliche Studien projizieren nicht nur direkt und indirekt Beschäftigte aufgrund von Maßnahmen etwa zum Klimaschutz, sondern analysieren darüber hinaus die gesamtwirtschaftlichen Rückkopplungen etwa aufgrund veränderter Preise und Löhne (Nettoeffekte). Dabei werden jeweils verschiedene Szenarien miteinander verglichen. Eines der Szenarien geht jeweils als Vergleichspunkt (Referenz) davon aus, dass die spezifische Maßnahme etwa zum Klimaschutz nicht ergriffen wird. Die Szenarien werden meist mehrstufig analysiert. Zunächst werden die ökologischen Auswirkungen projiziert, beispielsweise die Treibhausgasemissionen. Anschließend werden die ökologischen in ökonomische Impulse übersetzt, deren Auswirkungen wiederum mit makroökonomischen Modellen analysiert werden. Die prospektiven Studien beziehen sich auf die Zeit bis 2030, 2035 oder 2050, nur vereinzelt erfolgt auch oder ausschließlich eine retrospektive Analyse ab 1996 bzw. 2000.

Allen hierzu ausgewerteten zwölf Studien zufolge führen umfassende Maßnahmen zum Klimaschutz ebenso wie isolierte Maßnahmen zum Klimaschutz im Energie- oder Gebäudesektor sowie ein gezielter Ausbau erneuerbarer Energien zu einer leichten Erhöhung der Wirtschaftsleistung. Nach den Projektionen führt dies meist in geringerem Umfang zu einem ebenfalls höheren Arbeitskräftebedarf, vereinzelt wird trotz erhöhter Wirtschaftsleistung ein sehr geringfügig reduzierter Arbeitskräftebedarf projiziert. Dabei berücksichtigt eine Studie bereits die jüngst verschärften Klimaziele Deutschlands, nach denen bis 2030 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65% gegenüber 1990 erreicht werden soll. „Die wichtigsten Treiber für die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Energiewende sind die Investitionsimpulse in alle Teilbereiche der Energiewende. Dabei stehen den Mehrinvestitionen in Energieeffizienz und erneuerbare Energien inklusive Netzausbau auch geringere Investitionen in konventionelle Kraftwerke gegenüber.“ (LUTZ u.a. [2018b, S. 69f]) Abweichende gesamtwirtschaft-

liche Projektionen gibt es für die Stahlindustrie, den Atomausstieg und teilweise für die Verkehrswende:

- › Stahlindustrie: Eine Studie zur Stahlindustrie untersucht die Auswirkungen einer derart erhöhten Bepreisung von deren Treibhausgasemissionen, dass die Emissionen bis 2035 um 55% gegenüber 1990 bzw. 54% gegenüber 2018 zurückgehen. Der dafür erforderliche Preis beträgt 105 EUR je Tonne. Ohne gleichzeitigen globalen Klimaschutz oder einem finanziellen Ausgleich an der Grenze verteuert dies die heimische Stahlproduktion, so dass sie durch Stahlimporte verdrängt wird. Auch eine Primärstahlerzeugung durch Wasserstoffreduktion erfolgt nicht, da deren angenommene Mehrkosten die Emissionskosten übersteigen. Im Ergebnis erfolgt in diesem Szenario eine treibhausgasschädliche Stahlproduktion im Ausland. Letztlich verweist dies auf die Notwendigkeit, möglichst rasch technische und wirtschaftliche Fortschritte bei der Nutzung von Wasserstoff zu erzielen: „Die H2-Direktreduktion in der Stahlindustrie als Anwendungstechnologie ist durch mittlere relative Marktgröße, jedoch großes Innovationspotenzial charakterisiert, da solche Anlagen spezifisch sehr teuer sind und es weltweit bisher nur wenige Erfahrungen mit dieser Technologie gibt. Durch die besondere Rolle der etablierten deutschen Stahlindustrie nicht nur im Inland, sondern auch in Europa und weltweit besteht in Deutschland und insbesondere in NRW auf Grund der hohen Stahlkompetenz jedoch ein großes Wertschöpfungspotenzial, wenn diese Technologie rechtzeitig entwickelt und gleichzeitig entsprechende Rahmenbedingungen im Hinblick auf den weltweiten Wettbewerb geschaffen werden.“ (MICHALSKI u.a. [2019, S. 154])
- › Atomausstieg: Zu den Nettoeffekten eines Atomausstiegs liegt lediglich eine ältere Studie aus dem Jahr 2011 vor, die einen Atomausstieg bis 2025 mit einer Nutzung der Kernenergie über 2030 hinaus vergleicht. Dabei werden für den Atomausstieg eine verstärkte Nutzung fossiler Energieträger und zusätzliche Nettostromimporte unterstellt. Die dadurch erforderlichen zusätzlichen Importe an Strom und fossilen Energieträgern werden nur teilweise durch vermindernde Uranimporte kompensiert. Hier dürfte die Ursache für den projizierten Rückgang des Bruttoinlandsprodukts um 0,3% und von Erwerbstätigkeit und Beschäftigung um 0,1% im Jahr 2030 liegen. Würden stattdessen erneuerbare Energien ausgebaut, dürften die Rückgänge geringer ausfallen oder sogar überkompensiert werden.
- › Verkehrswende: Die Kraftfahrzeugindustrie wird angesichts der Treibhausgasemissionen der von ihnen hergestellten Verbrennungsmotoren in besonderem Maße von der Verkehrswende betroffen sein. Dementsprechend legen drei Studien zur Verkehrswende den Fokus auf den Landverkehr, wobei jeweils zumindest von einer teilweisen Elektrifizierung der Fahrzeuge ausgegangen wird. Allerdings untersuchen sie unterschiedliche Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen und kommen zu heterogenen gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen. Zwei Studien projizieren einen Rückgang des Arbeitskräftebedarfs aufgrund der Verkehrswende, in der Spur gibt es danach über 100.000 weniger Beschäftigte. Diese beiden Studien gehen allerdings davon aus, dass der für den Fahrzeugbetrieb erforderliche Strom vollständig importiert bzw. mit dem bisherigen Strommix erzeugt wird. Mithin vernachlässigen sie den zusätzlichen Arbeitskräftebedarf, der sich ergibt, wenn der zusätzliche benötigte Strom im Inland durch erneuerbare Energien erzeugt wird. Einer dritten Studie zufolge hat die Verkehrswende im Zeitverlauf schwankende Auswirkungen, das Arbeitsvolumen ist danach zeitweise um über 200.000 Vollzeitäquivalente geringer

und zeitweilig um über 700.000 Vollzeitäquivalente höher. Diese Studie berücksichtigt erforderliche begleitende Investitionen beispielsweise für die Stromversorgung des Verkehrs. Zudem geht sie davon aus, dass die Verkehrswende den Inlandsabsatz der deutschen Automobilindustrie vermindert und deren Exporte erhöht. Ein rückläufiger Arbeitskräftebedarf dürfte in allen Studien auch oder sogar maßgeblich dadurch resultieren, dass der Elektroantrieb einfacher und günstiger in der Herstellung ist als der bisherige Verbrennungsmotor. Insgesamt dürften die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Verkehrswende einerseits davon abhängen, welche Effekte ihr zugerechnet werden, und andererseits davon, wie sich die nationale und internationale Marktposition der deutschen Autoindustrie im Verhältnis zu ihren internationalen Konkurrenten dadurch entwickelt: „Eine solche Strukturverschiebung in der Produktionsweise, wie sie gegenwärtig in der Automobilindustrie zu beobachten ist, führt zwar zu Jobverlusten, allerdings könnten die erwartbaren Verluste aufgrund eines ‚verschlafenen‘ Strukturwandels deutlich höher ausfallen. Vor allem in Anbetracht des angekündigten globalen Umbaus hin zu Klimaschutz könnten die entgangenen Exporte, die dieser exportstarken Branche drohen, wenn sie nicht auf elektrische Antriebsstränge umsatteln würde, zu deutlich stärkeren Erwerbstätigkeitenverlusten führen als der Wechsel in der Produktionsweise.“ (MÖNNIG u.a. [2021, S. 14]) GERBERT u.a. [2018, S. 102] sind skeptisch hinsichtlich der Vorleistungen: „Am Beispiel der Elektromobilität ist noch nicht sicher, ob es gelingt, die traditionell hohen Wertschöpfungsanteile im Fahrzeugbau der Vergangenheit auch auf zukünftige Technologien zu übertragen.“

Eine Studie befasst sich mit 19 Einzelmaßnahmen zur Klimaresilienz. Sie geht davon aus, dass aufgrund des Klimawandels in mehrjährigen Abständen konzentriert Klimaereignisse wie extreme Hochwasser und extreme Hitze auftreten. Bei den einzelnen Maßnahmen wird meist davon ausgegangen, dass sie kontinuierlich mit gleichem Investitions- bzw. Ausgabevolumen bis 2050 durchgeführt werden. In Jahren ohne Schadensereignis werden dadurch meist Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung geringfügig erhöht. Für Jahre mit Extremwetterereignissen werden keine Ergebnisse ausgewiesen. In diesen Jahren reduzieren die Maßnahmen die eingetretenen Schäden und den Aufwand zu ihrer Beseitigung. Daher dürften Wirtschaftsleistung und Beschäftigung in Schadensjahren oftmals geringer als ohne die untersuchten schadensbegrenzenden Maßnahmen sein. Hier zeigt sich eine offenkundige Schwäche des Bruttoinlandsprodukts als Wohlfahrtsmaß: Weder materielle oder ökologische Schäden noch der Verbrauch natürlicher Ressourcen reduzieren es, die Beseitigung eingetretener Schäden erhöht es jedoch.

Direkte Auswirkungen hat der Klimaschutz insbesondere auf Niveau und Struktur des Arbeitskräftebedarfs jener Branchen, die selbst oder deren Produkte in erheblichem Umfang Treibhausgasemissionen verursachen, die Investitionsgüter für den Klimaschutz herstellen oder erneuerbare Energien betreiben. Dies betrifft insbesondere den Kohlenbergbau, die Energieversorgung, die Stahl- und Fahrzeugindustrie, den Maschinenbau, das Baugewerbe und den Verkehrssektor, aber auch die Chemische Industrie, die Zementindustrie und die Landwirtschaft. In den genannten Industriebranchen mit Ausnahme der Energieversorgung sowie im Landverkehr waren im Dezember 2020 zwischen 83% und 89% der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten Männer und lediglich zwischen 11% und 17% Frauen (vgl. Tabelle 40 im Anhang zu Abschnitt 2.3). Höher war der Frauenanteil hingegen in der Energie-

versorgung (27%) und in der Land- und Forstwirtschaft (33%) sowie in den vergleichsweise kleinen Branchen Luftfahrt (54%) und Schifffahrt (30%). Indirekt sind weitere Branchen und ihr Arbeitskräftebedarf betroffen, vor allem Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (Frauenanteil: 21%).

Nur wenige Studien differenzieren die projizierten Effekte auf die Erwerbstätigkeit nach Berufen. Tendenziell sind Produktions- und Fertigungsberufe, Bau- und Verkehrsberufe vom Klimaschutz betroffen. Hier ist der Frauenanteil ebenfalls deutlich unterdurchschnittlich (vgl. Tabelle 41 im Anhang zu Abschnitt 2.3). Lediglich in den ebenfalls betroffenen Berufen der Unternehmensführung und -organisation sind mit 63% überproportional Frauen tätig.

Insgesamt sind nach den vorliegenden Studien die Auswirkungen von Klimaschutz, Energiewende, Maßnahmen zur Klimaresilienz und weiteren Umweltschutzmaßnahmen auf das Niveau von Wirtschaftsleistung und Erwerbstätigkeit gering. Tendenziell wirken diese Maßnahmen ökonomisch stimulierend. Gleichzeitig führen sie zu Strukturverschiebungen. Im Vergleich zu den Auswirkungen des gesamten Strukturwandels auf die Erwerbstätigkeit ist der Beitrag der ökologisch motivierten Maßnahmen jedoch gering. Dabei dürfte der Anpassungsdruck sowohl insgesamt als auch aufgrund der ökologisch motivierten Maßnahmen auf Männer deutlich höher als auf Frauen sein.

BURRET u.a. [2020, S. 180] resümieren zum nationalen Klimaschutz: „Nur mit international abgestimmten Anstrengungen kann der globale Temperaturanstieg im handhabbaren Zielkorridor gehalten werden. Für Deutschland lohnt sich Klimaschutz jedoch auch, wenn nicht alle Länder gleichermaßen mitmachen.“

Die vorliegend berücksichtigten Studien zu den Nettoeffekten wurden überwiegend von ähnlichen Konsortien erstellt, die meist ähnliche Fragestellungen mit ähnlichen Methoden untersucht und dabei oftmals ähnliche Ergebnisse erzielt haben.<sup>66</sup> Insoweit ist es nicht überraschend, dass einige Aspekte nicht oder nur eingeschränkt untersucht wurden:

- › Kosten mangelnden Klimaschutzes: „Bei der quantitativen Analyse der Szenarien unberücksichtigt bleiben die Kosten des Nichthandelns, da diese nicht hinreichend quantifiziert werden können“ (BURRET u.a. [2020, S. 161]). Dies gilt für die vorliegend berücksichtigten Studien mit Ausnahme jener zur Klimaresilienz generell.
- › Verzögerter Klimaschutz: Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eines verstärkten Klimaschutzes werden regelmäßig im Vergleich zu einem Referenzszenario ausgewiesen, in dem künftig keinerlei zusätzlicher Klimaschutz betrieben wird. Ein solches Referenzszenario erscheint jedoch unrealistisch. Realistisch erscheint vielmehr eine Alternative, in der später verstärkt Klimaschutz betrieben wird, wobei dann zusätzliche Anstrengungen erforderlich sein dürften, um die Treibhausgasemissionen rascher zu senken und ggf. um die zunächst unterlassene Reduktion nachträglich zu kompensieren.

---

<sup>66</sup> Die hier berücksichtigten Studien zu Nettoeffekten sind Auftragsarbeiten. Mithin dürfte regelmäßig der jeweilige Auftraggeber die Fragestellung vorgegeben haben. Bei jeweils ähnlicher Fragestellung ist dann die Bildung ähnlicher Konsortien ebenso wie die Verwendung ähnlicher Methoden nahe liegend.

- › Instrumentierung: Die vorliegenden Studien untersuchen meist die Auswirkungen eines Bündels an (technischen) Maßnahmen, das ggf. zuvor zur Erreichung einer bestimmten Reduktion der Treibhausgasemissionen konstruiert wurde. Tatsächlich können und werden jedoch politisch nur teilweise Maßnahmen vorgegeben, vielfach bedarf es (politischer) Instrumente. Beispielsweise lässt sich eine energetische Sanierung von 2% des Gebäudebestandes jährlich kaum „anordnen“, sondern lediglich indirekt über politische Instrumente befördern. Inwieweit und welche (technischen) Maßnahmen aufgrund eines (politischen) Instruments tatsächlich durchgeführt werden, ist eine empirische Frage, die in den vorliegenden Studien meist nicht untersucht wurde. Tendenziell dürften in der Realität nicht genau jene Maßnahmen in genau jenem Umfang umgesetzt werden, die politisch beabsichtigt sind. LUTZ u.a. [2018b, S. 84] führen hierzu aus: „Je nach konkreter Instrumentierung können gerade auf sektoraler Ebene auch deutliche ‚Nebenwirkungen‘ bei Produktion, Beschäftigung oder Preisen auftreten. Da die konkrete Instrumentierung nicht bekannt ist, kann sie in dieser Analyse auch nicht untersucht werden.“ Umgekehrt ist es möglich, dass durch finanzielle Anreize wie etwa durch die Bepreisung von Treibhausgasemissionen ökonomisch optimale Lösungen zum Klimaschutz umgesetzt werden, die weder von der Politik noch von der Forschung vorhergesehen wurden.
- › Wertschöpfungsketten und Außenhandel: Klimaschutz und andere ökologische Ziele können auf mehreren Ebenen Wertschöpfungsketten und Außenhandel beeinflussen:
- Zunächst dürften Klimaschutz und andere ökologische Ziele mit zusätzlichen Kosten verbunden sein. Dies wird vielfach die internationale Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigen. Vereinfachend unterstellen die vorliegenden Studien meist, dass an der Grenze ein Ausgleich erfolgt oder global oder zumindest in Europa ähnliche Ziele verfolgt werden. Vereinzelt werden zwar hinsichtlich des Auslands alternative Annahmen getroffen, wobei dann jedoch meist die projizierten ökonomischen Konsequenzen durch ergänzende Annahmen gesteuert werden.
  - Gleichzeitig wird technologischer Fortschritt erzwungen, ggf. sogar subventioniert. Daraus kann sofort oder später ein Wettbewerbsvorteil resultieren. Dies wird zwar verschiedentlich thematisiert, jedoch untersucht keine der vorliegend berücksichtigten Studien explizit den Effekt ökologischer Vorgaben auf den technologischen Fortschritt und letztlich die Wettbewerbsfähigkeit.
  - Werden aufgrund von Klimaschutz oder anderer ökologischer Ziele Produkte oder Produktionsverfahren modifiziert, so kann dies die Fertigungstiefe und die erforderlichen Vorleistungen verändern. Veränderte Vorleistungen können verstärkt im Inland oder verstärkt im Ausland bezogen werden, etwa weil es dort etablierte Hersteller gibt oder die Transportkosten höher oder niedriger als ursprünglich sind. Insgesamt kann dadurch die Wertschöpfung im Inland gestärkt oder geschwächt werden. Soweit erkennbar, wird dies in den vorliegenden Studien nur teilweise berücksichtigt.

LUTZ u.a. [2018b, S. 78f] führen hierzu aus: „Für die Bestimmung der ökonomischen Effekte der Energiewende ist die Frage, welche Exporte durch die Energiewende ausgelöst werden, sehr wichtig. Treibt Deutschland im ungünstigen Fall die Energiewende im Alleingang voran, gibt es keine first-mover-Vorteile durch die frühzeitige Spezialisierung. Folgen andere Länder wie z.B. im Fall des EEG dagegen mit Regulierung und Anlagen

dem deutschen Vorbild, ergeben sich zusätzliche Exportmöglichkeiten für die Hersteller entsprechender Energiewendegüter und Dienstleistungen (...).“

- › Handelsbilanz: „Da Deutschland den Großteil der Energieträger, insbesondere bei Erdöl, Erdgas, Steinkohle und Uran, importiert, verbessert sich mit sinkenden Energieausgaben auch die Handelsbilanz. Ein nicht zu unterschätzender Nebeneffekt ist die verringerte Abhängigkeit von internationalen Energiepreisschwankungen. Angesichts der aktuell sehr hohen deutschen Handelsbilanzüberschüsse ist die Wirkung verringelter Energieimporte differenziert zu betrachten (...).“ (SCHLESINGER u.a. [2014, S. 313]) Damit befasst sich keine der hier berücksichtigten Studien genauer.
- › Sensitivitätsanalysen: Klimaschutz und Energiewende sind mit Investitionen verbunden. Inwieweit diese Investitionen gesamtwirtschaftlich stimulierend wirken, hängt u.a. von Beschränkungen auf dem Arbeitsmarkt und bei Investitionen ab: „For assessment of climate and energy policies, it is therefore essential to consider whether the models are assuming that particular constraints [financial and / or labour market] are in operation, and whether those assumptions are appropriate for the policy that is being examined“ (CHEWPREECHA u.a. [2017, S. 50]). Generell wären daher Sensitivitätsanalysen hilfreich, mit denen die Auswirkungen dieser und anderer Annahmen auf die Projektionsergebnisse sichtbar werden. Allerdings sind für die vorliegenden Fragestellungen Sensitivitätsanalysen aufwändig und wurden (daher) nur selten durchgeführt. Sensitivitätsanalysen dürften auch zu verbesserten Einsichten führen, wie von OEI u.a. [2020, S. 103] angemahnt: „The main aim of models has never been to provide numbers, but insights.“
- › Fachkräftemangel: „Für den Übergang [in eine treibhausgasneutrale Ökonomie] sind verstärkt Fachkräfte und Experten gefragt, deren Ausbildung und gezielte Beschäftigung sichergestellt werden muss. Schon heute übersteigt die Nachfrage nach Fachkräften für bspw. Gebäudesanierung die bestehenden Kapazitäten.“ (REPENNING u.a. [2019, S. 336]) „Es zeigt sich, dass der Fachkräftemangel in einigen Berufshauptgruppen - vor allem in den baunahen Bereichen - in Zukunft noch stärker zunimmt, als ohne die zusätzlichen Maßnahmen zur Erreichung eines klimaneutralen Deutschlands auch schon zu erwarten wäre. Eine Vielzahl an politischen Instrumenten steht potenziell zur Verfügung, um diese drohende Lücke zwischen Arbeitsangebot und Arbeitsnachfrage zu schließen (Qualifizierung, Zuwanderung, Digitalisierung, Automatisierung, ...).“ (MÖNNIG u.a. [2021, S. 25]) Es fehlen berufsbezogene Erkenntnisse, ob und ggf. in welchem Zeitraum in welchen Berufen ein Fachkräftemangel spezifische Klimaschutzmaßnahmen behindern könnte und welche Abhilfe möglich und erforderlich ist.
- › Qualifikationsanforderungen: Durch den Klimaschutz und andere ökologisch motivierte Maßnahmen können sich Qualifikationsanforderungen ändern, die nicht nur zu Verschiebungen zwischen den Berufen führen, sondern neue Berufsbilder erfordern. Soweit bekannt, gibt es hierzu keine eingehenden Untersuchungen.

In den vorliegend berücksichtigten Studien sind die projizierten ökonomischen Auswirkungen des Klimaschutzes ganz überwiegend ein Annex zu einer originär klimapolitischen Fragestellung. Insoweit erlaubt die Literaturoauswertung auch vorsichtige klimapolitische Schlussfolgerungen, wobei die umfangreiche Literatur hierzu weniger vollständig ausgewertet wurde:

- › Tempo: Grundsätzlich erscheint ein ambitionierter Klimaschutz aus mehreren Gründen zweckmäßig:
- Ein ambitionierter Klimaschutz in Europa dürfte ohne einen ambitionierten Klimaschutz in Deutschland als deren größter Volkswirtschaft politisch und ökonomisch wenig realistisch sein. Analog erscheint ein ambitionierter globaler Klimaschutz ohne einen ambitionierten europäischen Klimaschutz politisch unrealistisch. Insgesamt könnte daher ein ambitionierter nationaler Klimaschutz zu einem ambitionierten globalen Klimaschutz beitragen und damit einen relevanten Effekt auf das globale Klima auch jenseits der nationalen Emissionen haben.
  - Ein ambitionierter Klimaschutz erfordert die Entwicklung neuer Technologien. Dadurch können sich zusätzliche Exportchancen ergeben, die einerseits wirtschaftlich vorteilhaft sind und andererseits den globalen Klimaschutz beschleunigen können.
  - Beim derzeitigen Niveau an Treibhausgasemissionen ist eine Vermeidung vergleichsweise günstig zu erreichen, die günstigsten Maßnahmen sind sogar wirtschaftlich vorteilhaft (vgl. die in Abschnitt 5.8 skizzierte Studie von GERBERT u.a. [2018, S. 83]). Die künftige Vermeidung der „letzten“ Treibhausgasemissionen hingegen ist vergleichsweise aufwändig und teuer, die teuerste erforderliche Maßnahme zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95% gegenüber 1990 kostet nach derzeitiger Projektion fast 400 EUR je Tonne Kohlendioxid-Äquivalent. Durch eine kurzfristige zusätzliche Reduktion von Treibhausgasemissionen sind später zusätzliche Emissionen möglich, dies ist insgesamt günstiger. Alternativ kann auf die später zusätzlichen möglichen Emissionen verzichtet werden und so ein zusätzlicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.
  - Eingesetzte Technologie wird grundsätzlich aus technischen und / oder wirtschaftlichen Gründen irgendwann ausgetauscht oder muss mit größerem Aufwand instand gesetzt werden.<sup>67</sup> Dieser Zeitpunkt dürfte unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten meist optimal sein, um eine zuvor genutzte klimaschädliche durch eine klimafreundliche Technologie zu ersetzen. Damit wird ein späterer Austausch im Interesse des Klimaschutzes zu einem wirtschaftlich ungünstigen Zeitpunkt vermieden. Insgesamt liegt es daher nahe, dass bei ohnehin anstehenden Ersatz- und Neuinvestitionen grundsätzlich klimafreundliche Technologie beschafft wird.
- › Ambitionierte Zielvorgabe beschränkt Handlungsmöglichkeiten: „Grundsätzlich sind verschiedene Pfade zur Zielerreichung möglich. Je ambitionierter die Zielvorgabe ist, desto schmäler wird der Handlungskorridor.“ (LUTZ u.a. [2018b, S. 7])
- › Kohlendioxidspeicherung: Für die Netto-Treibhausgasneutralität, die bis 2045 erreicht werden soll, und erst recht für die Negativemissionen, die nach 2050 erreicht werden sollen, ist - nach jetzigen Kenntnisstand - eine Kohlendioxidspeicherung (im Untergrund) unerlässlich, um - ebenfalls nach jetzigen Kenntnisstand - unvermeidbare Prozessemissionen insbesondere der Industrie und der Landwirtschaft zu kompensieren.

<sup>67</sup> Beispielsweise müssen Hochöfen zur Primärstahlerzeugung etwa alle 15 bis 20 Jahre ertüchtigt werden.

- › Wasserstoffnutzung für Industrieprozesse: Nach jetzigem Kenntnisstand lassen sich bei bestimmten Industrieprozessen Treibhausgasemissionen nur durch die Nutzung von Wasserstoff vermeiden. Hierzu gehört insbesondere die Primärstahlerzeugung. Gleichwohl sind noch technische Fragen offen und die Technologie ist bislang nicht wirtschaftlich. Insgesamt besteht daher Forschungsbedarf zu Erzeugung, Transport, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff, der mit großer Priorität vorangetrieben werden sollte. Letztlich muss im Interesse des Klimaschutzes der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien gewonnen werden („grüner“ Wasserstoff). Übergangsweise, um insbesondere die technische Entwicklung der Wasserstoffnutzung voranzutreiben, kann auch „blauer“ oder „türkiser“ Wasserstoff verwendet werden, bei dem das aus seiner Herstellung resultierende Kohlendioxid dauerhaft gespeichert wird. Insoweit geht die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung (Deutscher Bundestag [2020a]) in die richtige Richtung.
- › Energetische Nutzung von Wasserstoff versus Strom: Derzeit ist noch offen, inwieweit eine energetische Nutzung von grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten (synthetische Kraft- und Brennstoffe) anstelle von grünem Strom perspektivisch vorteilhaft ist. Vom Ausmaß der künftigen Wasserstoffnutzung (anstelle von Strom) hängt ab, welche Infrastruktur benötigt wird und aufgebaut werden muss (Stromnetze, Gasnetze, Elektrolyse-, Umwandlungs- und Kohlendioxidabscheideanlagen, Speicher, Motoren, ...). Hierzu ist ebenfalls weitere Forschung erforderlich, die mit großer Priorität betrieben werden sollte. Grundsätzlich bietet Wasserstoff gegenüber Strom verschiedene Vorteile (Transportmöglichkeit über große Distanzen und daher Import aus Regionen jenseits Europas möglich; Lagerfähigkeit; Weiternutzung bestehender Infrastruktur). Diesen Vorteilen stehen Umwandlungsverluste bei der Erzeugung von Wasserstoff, der Energiebedarf für den Transport und die ggf. geringere Effizienz bei der letztendlichen Nutzung im Vergleich zu Strom gegenüber (zum Vergleich von verstärkter Elektrifizierung und verstärkter Wasserstoffnutzung vgl. die in Abschnitt 4.7 skizzierte Studie von MICHALSKI u.a. [2019]).
- › Beschleunigter Ausbau erneuerbarer Energien: Derzeit werden knapp 20% des Endenergiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt. Um Treibhausgasneutralität zu erreichen, müssen es 100% werden. Daher ist ein erheblicher Zubau an erneuerbaren Energien erforderlich. Dies gilt grundsätzlich unabhängig vom Ausmaß einer künftigen Nutzung von grünem Wasserstoff, da zu dessen Erzeugung ebenfalls Strom benötigt wird. Es liegt nahe, den Ausbau erneuerbarer Energien mit möglichst hohem Tempo und jenseits der gesetzlichen Ausbauziele des EEG und des WindSeeG zu verfolgen.

## Literatur

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [2020]: *Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2019*, Stand September 2020, Berlin.

Internet:

[https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=awt\\_2019\\_d.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=awt_2019_d.pdf)

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [2021]: *Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020*, Stand 14. März 2021, Berlin.

Internet:

[https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=ageb\\_jahresbericht2020\\_2021\\_0406b\\_dt.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2020_2021_0406b_dt.pdf)

BAUER, STEFANIE, INES THOBE, MARC INGO WOLTER, GERD ZIKA, CHRISTOF RÖTTGER, ROBERT HELMRICH, MANUEL SCHANDOCK, FRANZISKA MOHAUPT und RIA MÜLLE [2021]: *Branchen und Berufe für den Übergang in eine Green Economy*, Eine aktualisierte Bestandsaufnahme, Studie abgeschlossen im März 2020, Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Bundesinstitut für Berufsbildung und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Umwelt, Innovation, Beschäftigung 03/2020, März 2021, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-18\\_uib\\_03-2021\\_branchen\\_berufe\\_green\\_economy.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-18_uib_03-2021_branchen_berufe_green_economy.pdf)

BERLEMANN, MICHAEL, JULIA FREESE, MARC ANDRÉ LUIK, JAN ERIK WESSELHÖFT und JOACHIM RAGNITZ [2012]: *Erstellung einer regionalisierten Strukturdatenprognose (Los 1)*, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegung auf die Verkehrsträger“, Helmut Schmidt Universität Hamburg und ifo Institut für Wirtschaftsforschung, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Dezember 2012, Hamburg u.a.

Internet:

<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/verkehrsverflechtungsprognose-2030-strukturdatenprognose-los-1.pdf?blob=publicationFile>

BERTENRATH, ROMAN, CORNELIUS BÄHR, ANNA KLEISSNER und THILO SCHAEFER [2018]: *Folgenabschätzung Klimaschutzplan*, und Strukturwandel in den Braunkohleregionen, Institut der deutschen Wirtschaft Köln im Auftrag des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins, 15. Oktober 2015, Köln.

Internet:

[https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user\\_upload/Studien/Gutachten/PDF/2018/Gutachten\\_Endbericht\\_DEBRIV\\_final.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2018/Gutachten_Endbericht_DEBRIV_final.pdf)

BERTHOLD, DANIEL, SIMON MADER, WOLFGANG SCHADE, STEFANIE SCHÄFER, CHRISTIAN SCHERF und UDO WAGNER [2019]: *Transformation der Mobilität aus regionaler Sicht*, Fortschreibung des Status quo von Wertschöpfung und Beschäftigung in der Mobilität auf Kreisebene, Arbeitspapier von AP3 des Projektes: Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität: Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035, M-Five und Fraunhofer ISI, 27. September 2019, Karlsruhe.

Internet:

[https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five\\_HBS\\_NM\\_AP3\\_Analyse\\_Kreisebene\\_2035\\_190927\\_FINAL.pdf](https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five_HBS_NM_AP3_Analyse_Kreisebene_2035_190927_FINAL.pdf)

BERTHOLD, DANIEL, SIMON MADER, WOLFGANG SCHADE, CHRISTIAN SCHERF, MEIKE STICH und UDO WAGNER [2020]: *Gesamtwirtschaftliche Wirkungen durch die Transformation zu nachhaltiger Mobilität*, Arbeitspapier aus AP5 des Projektes: Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität: Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035, M-Five und Fraunhofer ISI, 31. Januar 2020, Karlsruhe.

Internet:

[https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five\\_AP5\\_Gesamtwirtschaftliche\\_Analyse\\_Nachhaltige\\_Mobilit%C3%A4t\\_200131\\_FINAL.pdf](https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five_AP5_Gesamtwirtschaftliche_Analyse_Nachhaltige_Mobilit%C3%A4t_200131_FINAL.pdf)

BLAZEJCZAK, JÜRGEN, und DIETMAR EDLER [2021]: *Arbeitskräftebedarf nach Sektoren, Qualifikationen und Berufen zur Umsetzung der Investitionen für ein klimaneutrales Deutschland*, Kurzstudie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Mai 2021, Berlin.

Internet:

[https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag\\_de/themen\\_az/klimaschutz/pdf/2105\\_Kurzstudie\\_Arbeitskräftebedarf\\_Klimaneutralitaet.pdf](https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/klimaschutz/pdf/2105_Kurzstudie_Arbeitskräftebedarf_Klimaneutralitaet.pdf)

BLAZEJCZAK, JÜRGEN, DIETMAR EDLER, MARTIN GORNIG, BIRGIT GEHRKE und ULRICH SCHASSE [2021]: *Ökonomische Indikatoren von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz - Aktualisierung 2020*, Investitionen, Umsätze und Beschäftigung in ausgewählten Bereichen, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung und Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS) des Instituts für Wirtschaftspolitik der Leibniz Universität Hannover (LUH), im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Umwelt, Innovation, Beschäftigung 04/2021, März 2021, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-22\\_uib\\_04-2021\\_indikatoren\\_energieeffizienz.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-22_uib_04-2021_indikatoren_energieeffizienz.pdf)

BLAZEJCZAK, JÜRGEN, DIETMAR EDLER, WALTER KAHLENBORN, MANUEL LINSENMEIER, MALTE OEHLMANN, KERSTIN BACHER, KORA TÖPFER, ULRIKE LEHR, CHRISTIAN LUTZ, ANNE NIETERS, MARKUS FLAUTE, RALPH BÜCHELE und GORDON WOLGAM [2019]: *Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz (II): Die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzzüchter und -dienstleistungen*, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, adelphi, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung und Roland Berger, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Climate Change 18/2019, Mai 2019, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-07\\_texte\\_18-2019\\_chancen-klimaschutz\\_wachsende-weltmaerkte.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-07_texte_18-2019_chancen-klimaschutz_wachsende-weltmaerkte.pdf)

BÖHMER, MICHAEL, ALMUT KIRCHNER, JENS HOBOHM, JOHANN WEIß und ALEXANDER PIEGSA [2015]: *Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Energiewirtschaft*, Schlussbericht, Prognos, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 10. März 2015, München u.a.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/wertschoepfungs-und-beschaeftigungseffekte-der-energiewirtschaft.pdf?blob=publicationFile&v=4>

BRANDES, JULIAN, MARKUS HAUN, CHARLOTTE SENKPIEL, CHRISTOPH KOST, ANDREAS BETT und HANS-MARTIN HENNING [2020]: *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem*, Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen - Update unter einer Zielvorgabe von 65% CO2-Reduktion in 2030 und 100% in 2050, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg.

Internet:

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Zielverschaerfung.pdf>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021a]: *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland*, unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand: Februar 2021, o.O.

Internet:

<https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020.pdf?blob=publicationFile&v=31>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [2021b]: *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien 2000 bis 2019*, März 2021, o.O.<sup>68</sup>

Internet:

<https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihe-der-beschaeftigungszahlen-seit-2000.html>

Bundesregierung [2007]: *Integriertes Energie- und Klimaprogramm*, Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte, 5. Dezember 2007, Berlin.

Internet:

<https://www.cducsu.de/sites/default/files/2007-12-05-integriertes-energie-und-klimaprogramm.pdf>

BURRET, HEIKO, ALMUT KIRCHNER, MICHEAL SCHLESINGER, KAI GRAMKE, JOCHEN SPUCK, CHRISTIAN LUTZ, MAXIMILIAN BANNING, ULRIKE LEHR, MARC INGO WOLTER, ROMAN BERTENRATH, MANUEL FRITSCH, ANNA KLEISSNER, KARL LICHTBLAU, PHILIPP SCHADE, BENITA ZINK [2020]: *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen.*, Studie von Prognos mit Beiträgen von EconSight, GWS und TwinEconomics im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (Hrsg.), November 2020, München.

Internet:

[https://www.vbw-zukunftsrat.de/klima2030/vbw%20ZKR%202020\\_Klima%202030\\_Studie.pdf](https://www.vbw-zukunftsrat.de/klima2030/vbw%20ZKR%202020_Klima%202030_Studie.pdf)

CHEWPREECHA, UNNADA, KOSTAS FRAGKIADAKIS, PANAGIOTIS FRAGKOS, MARY GOLDMAN, RICHARD LEWNEY, LEONIDAS PAROUSSOS, HECTOR POLLITT und JON STENNING [2017]: *Case study - technical analysis on capacity constraints and macroeconomic performance*, Technical Study on the Macroeconomics of Climate and Energy Policies, Cambridge Econometrics und E3-Modelling im Auftrag der Europäischen Kommission, September 2017, Brüssel.

Internet:

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/case\\_study\\_2\\_capacity\\_constraints\\_and\\_macro\\_performance.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/case_study_2_capacity_constraints_and_macro_performance.pdf)

---

<sup>68</sup> Quelle für die ausgewiesenen Ergebnisse sind Berechnungen des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung.

DAMBECK, HANS, FLORIAN ESS, HANNO FALKENBERG, ANDREAS KEMMLER, ALMUT KIRCHNER, SVEN KREIDELMEYER, MARCUS KOEPP, SEBASTIAN LÜBBERS, ALEXANDER PIÉGSA, SINA SCHEFFER, THORSTEN SPILLMANN, NILS THAMLING, AUREL WÜNSCH, MARCO WÜNSCH, INKA ZIEGENHAGEN, WIEBKE ZIMMER, RUTH BLANCK, HANNES BÖTTCHER, WOLF KRISTIAN GÖRZ, KLAUS HENNENBERG, FELIX CHR. MATTHES, MARGARETHE SCHEFFLER, KIRSTEN WIEGMANN, CLEMENS SCHNEIDER, GEORG HOLTZ, MATHIEU SAURAT, ANNIKA TÖNYES und STEFAN LECHTENBÖHMER [2021]: *Klimaneutrales Deutschland 2045*, Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, Version 1.3, Mai 2021, Berlin.

Internet:

[https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/2021\\_KNDE2045\\_Zusammenfassung\\_DE\\_WEB.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/2021_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf)

DAMBECK, HANS, FLORIAN ESS, HANNO FALKENBERG, ANDREAS KEMMLER, ALMUT KIRCHNER, SVEN KREIDELMEYER, SEBASTIAN LÜBBERS, ALEXANDER PIÉGSA, SINA SCHEFFER, THORSTEN SPILLMANN, NILS THAMLING, AUREL WÜNSCH, MARCO WÜNSCH, INKA ZIEGENHAGEN, WIEBKE ZIMMER, RUTH BLANCK, HANNES BÖTTCHER, WOLF KRISTIAN GÖRZ, KLAUS HENNENBERG, FELIX CHR. MATTHES, MARGARETHE SCHEFFLER, KIRSTEN WIEGMANN, CLEMENS SCHNEIDER, GEORG HOLTZ, MATHIEU SAURAT, ANNIKA TÖNYES und STEFAN LECHTENBÖHMER [2020]: *Klimaneutrales Deutschland*, In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65 % im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals, Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, Version 1.2, Juni 2021, Berlin.

Internet:

[https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020\\_10\\_KNDE/A-EW\\_195\\_KNDE\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf)

DE VITA, ALESSIA, IZABELA KIELICHOWSKA, PAVLA MANDATOWA, P. CAPROS, E. DIMOPOULOU, S. EVANGELOPOULOU, T. FOTIOU, M. KANNAVOU, P. SISKOS, G. ZAZIAS, LOUISE DE VOS, ALI DADKHAH und GUILLAUME DEKELVER [2018]: *Technology pathways in decarbonisation scenarios*, Juli 2018, o.O.

Internet:

[https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/2018\\_06\\_27\\_technology\\_pathways\\_-finalreportmain2.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/2018_06_27_technology_pathways_-finalreportmain2.pdf)

DEHNEN, NICOLA, ANSELM MATTES und THURE TRABER [2015]: *Die Beschäftigungseffekte der Energiewende*, DIW Econ, Eine Expertise für den Bundesverband WindEnergie e.V. und die Deutsche Messe AG, April 2015, Berlin.

Internet:

[https://diw-econ.de/wp-content/uploads/804\\_DIW-Econ\\_Besch%C3%A4ftigungseffekte-der-Energiewende\\_v5.0.pdf](https://diw-econ.de/wp-content/uploads/804_DIW-Econ_Besch%C3%A4ftigungseffekte-der-Energiewende_v5.0.pdf)

Deutsche Emissionshandelsstelle [2012]: *Versteigerung von Emissionsberechtigungen in Deutschland: Auswertungen und Hintergründe aus fünf Jahren Verkauf und Versteigerung am Übergang zur dritten Handelsperiode des EU-Emissionshandels*, Stand Juni 2012, Berlin.

Internet:

<https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/versteigerung/5-Jahre-Auktionierung.pdf?blob=publicationFile&v=1>

Deutsche Emissionshandelsstelle [2017]: *Treibhausgasemissionen 2016*, Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2016), Stand Mai 2017, Berlin.

Internet:

<https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2016.pdf?blob=publicationFile&v=5>

Deutsche Emissionshandelsstelle [2021]: *Treibhausgasemissionen 2020*, Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2020), Stand Mai 2021, Berlin.

Internet:

<https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf?blob=publicationFile&v=2>

Deutscher Bundestag [2010]: „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung und 10-Punkte-Sofortprogramm - Monitoring und Zwischenbericht der Bundesregierung“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 17/3049, 28. September 2010, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/17/030/1703049.pdf>

Deutscher Bundestag [2014a]: „Erster Fortschrittsbericht Energiewende“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 18/3487, 3. Dezember 2014, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/18/034/1803487.pdf>

Deutscher Bundestag [2014b]: „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 18/3484, 5. Dezember 2014, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/18/034/1803484.pdf>

Deutscher Bundestag [2015]: „Energieeffizienzstrategie Gebäude, Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 18/6782, 19. November 2015, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/18/067/1806782.pdf>

Deutscher Bundestag [2016]: „Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 18/10370, 18. November 2016, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/18/103/1810370.pdf>

Deutscher Bundestag [2019a]: „Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 19/13900, 11. Oktober 2019, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/19/139/1913900.pdf>

Deutscher Bundestag [2019b]: „Energieeffizienzstrategie 2050 der Bundesregierung“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 19/16065, 19. Dezember 2019, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/19/160/1916065.pdf>

Deutscher Bundestag [2020a]: „Nationale Wasserstoffstrategie“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 19/20363, 12. Juni 2020, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/19/203/1920363.pdf>

Deutscher Bundestag [2020b]: „Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 19/20380, 22. Juni 2020, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/19/203/1920380.pdf>

Deutscher Bundestag [2020c]: „Handlungskonzept Stahl - Für eine starke Stahlindustrie in Deutschland und Europa“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache*, 19/21469, 17. Juli 2020, Berlin.

Internet:

<https://dserver.bundestag.de/btd/19/214/1921469.pdf>

EDLER, DIETMAR, und JÜRGEN BLAZEJCZAK [2020]: *Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes in Deutschland in den Jahren 2016 und 2017*, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Umwelt, Innovation und Beschäftigung 04/2020, Dezember 2020, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020\\_12\\_01\\_uib\\_04-2020\\_umweltbeschaeftigung\\_2016\\_2017.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_01_uib_04-2020_umweltbeschaeftigung_2016_2017.pdf)

EMELE, LUKAS, RALPH O. HARTHAN und LORENZ MOOSMANN [2019]: *Projektionsbericht 2019 für Deutschland - Zusammenfassung in der Struktur des Klimaschutzplans*, Öko-Institut e.V. im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Climate Change 13/2019, September 2019, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-06\\_climate-change\\_33-2019\\_pb19-ksp2050\\_teilbericht-psz-ix.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-06_climate-change_33-2019_pb19-ksp2050_teilbericht-psz-ix.pdf)

Europäische Kommission [2018]: *Ein sauberer Planet für alle, Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft*, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank, COM(2018) 773 final, 28. November 2018, Brüssel.

Internet:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773>

Europäische Kommission [2021]: „Fit für 55“: *auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030*, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2021) 550 final, 14. Juli 2021, Brüssel.

Internet:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550>

Europäischer Rat [2007]: *Europäischer Rat (Brüssel), 8./9. März 2007, Schlussfolgerungen des Vorsitzes*, 7224/07, CONCL 1, 9. März 2007, Brüssel.

Internet:

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7224-2007-INIT/de/pdf>

Europäischer Rat [2014]: *Tagung des Europäischen Rates (23./24. Oktober 2014) - Schlussfolgerungen*, EUCO 169/14, CO EUR 13, CONCL 5, 24. Oktober 2014, Brüssel.

Internet:

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-169-2014-INIT/de/pdf>

European Commission [2016]: *EU Reference Scenario 2016*, Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050, 15. Juli 2016, Brüssel.

Internet:

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016\\_report\\_final-web.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf)

European Commission [2018]: *A Clean Planet for all, A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, In-depth analysis in support on the Commission, Communication COM(2018) 773, 28. November 2018, Brüssel.

Internet:

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/european\\_commission\\_-\\_a\\_european\\_strategic\\_long\\_term\\_vision\\_for\\_a\\_prosperous\\_modern\\_competitive\\_and\\_climate\\_neutral\\_economy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/european_commission_-_a_european_strategic_long_term_vision_for_a_prosperous_modern_competitive_and_climate_neutral_economy.pdf)

FRONDEL, MANUEL, RÜDIGER BUDDE, JOCHEN DEHIO, RONALD JANßen-TIMMEN, MICHAEL ROTHGANG und TORSTEN SCHMIDT [2018]: *Erarbeitung aktueller vergleichender Strukturdaten für die deutschen Braunkohleregionen*, Endbericht, RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Projektbericht für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Januar 2018, Essen.

Internet:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/endbericht-rwi-erarbeitung-aktueller-vergleichender-strukturdaten-deutsche-braunkohleregionen-kurz.pdf? blob=publicationFile&v=12](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/endbericht-rwi-erarbeitung-aktueller-vergleichender-strukturdaten-deutsche-braunkohleregionen-kurz.pdf?blob=publicationFile&v=12)

GERBERT, PHILIPP, PATRICK HERHOLD, JENS BURKHARDT, STEFAN SCHÖNBERGER, FLORIAN RECHENMACHER, ALMUT KIRCHNER, ANDREAS KEMMLER und MARCO WÜNSCH [2018]: *Klimapfade für Deutschland*, The Boston Consulting Group und Prognos, Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie, Januar 2018, o.O.

Internet:

[https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade\\_fuer\\_Deutschland\\_BDI-Studie /Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie /Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf)

GORES, SABINE, und JAKOB GRAICHEN [2017]: *Ansätze zur Bewertung und Darstellung der nationalen Emissionsentwicklung unter Berücksichtigung des EU-ETS*, Öko-Institut, im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Climate Change 08/2017, März 2017, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-03-01\\_climate-change\\_08-2017\\_ets-zieldarstellung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-03-01_climate-change_08-2017_ets-zieldarstellung.pdf)

GORES, SABINE, und JAKOB GRAICHEN [2021]: *Aktueller Stand der Emissionen*, Öko-Institut, Mai 2021, o.O.

Internet:

[https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stand\\_der\\_Emissionsentwicklung\\_Mai\\_2021.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stand_der_Emissionsentwicklung_Mai_2021.pdf)

GÖRLACH, BENJAMIN, VOLKER KATHÖFER, LISA BUCHNER, FRANK GAGELMANN, INGA GUD-DAS, TIMO HOHMUTH, OLAF HÖLZER-SCHOPohl, CHRISTOPH KÜHLEIS, JÜRGEN LANDGREBE, SONJA LANGE, ANKE OLANIYON, KATJA ROSENBOHM, YVONNE SCHMIDT, OLIVER SCHWALB, WOLFGANG SEIDEL, JULIANE STEEGMANN, CHRISTINA THORNE, MATTHIAS WOLF und FRANK WOLKE [2009]: *Emissionshandel: Auswertung der ersten Handelsperiode 2005-2007*, Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt, Januar 2009, Berlin.

Internet:

[https://www.dehst.de/DE/service/archivsuche/archiv/SharedDocs/downloads/DE/Zuteilung/Zuteilung\\_2005-2007/Auswertung\\_1\\_HP.html](https://www.dehst.de/DE/service/archivsuche/archiv/SharedDocs/downloads/DE/Zuteilung/Zuteilung_2005-2007/Auswertung_1_HP.html)

HERMANN, HAUKE, BENJAMIN GREINER, FELIX CHR. MATTHES und VANESSA COOK [2017]: *Die deutsche Braunkohlenwirtschaft*, Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen, Studie des Öko-Instituts im Auftrag von Agora Energiewende und der European Climate Foundation, Version 1.2, Mai 2017, Berlin.

Internet:

[https://static.agora-energiwende.de/fileadmin/Projekte/2017/Deutsche\\_Braunkohlenwirtschaft/Agora\\_Die-deutsche-Braunkohlenwirtschaft\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiwende.de/fileadmin/Projekte/2017/Deutsche_Braunkohlenwirtschaft/Agora_Die-deutsche-Braunkohlenwirtschaft_WEB.pdf)

HERMANN, HAUKE, KATJA SCHUMACHER und HANNAH FÖRSTER [2018]: *Beschäftigungsentwicklung in der Braunkohleindustrie: Status quo und Projektion*, Öko-Institut, im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Climate Change 18/2018, Juli 2018, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/2018-07-25\\_climate-change\\_18-2018\\_beschaeftigte-braunkohleindustrie.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/2018-07-25_climate-change_18-2018_beschaeftigte-braunkohleindustrie.pdf)

HOCH, MARKUS, JANNIS LAMBERT, ALMUT KIRCHNER, RICHARD SIMPSON, MYRNA SANDHÖVEL und TABEA MÜNDLEIN [2019]: *Jobwende*, Effekte der Energiewende auf Arbeit und Beschäftigung, Friedrich-Ebert-Stiftung, Projekt „Für ein besseres Morgen“, Bonn.

Internet:

<http://library.fes.de/pdf-files/fes/15696-20210201.pdf>

International Energy Agency [2017]: *World Energy Outlook 2017*, o.O.

Internet:

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/4a50d774-5e8c-457e-bcc9-513357f9b2fb/World\\_Energy\\_Outlook\\_2017.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/4a50d774-5e8c-457e-bcc9-513357f9b2fb/World_Energy_Outlook_2017.pdf)

International Energy Agency [2019]: *World Energy Outlook 2019*, o.O.

Internet:

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change [2021]: *Climate Change 2021*, The Physical Science Basis, 7. August 2021, o.O.

Internet:

[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)

KALTENBORN, BRUNO [2019a]: „Wirkungen des anstehenden demographischen Wandels auf die sozialen Sicherungssysteme in Deutschland“, *Zukunftslabor Schleswig-Holstein*, Demographie und Digitalisierung #ZLabSH, MICHAEL OPIELKA (Hrsg.), ISÖ-Text, Nr. 2019-1, April 2019, Norderstedt, S. 24-110.

Internet:

[https://www.isoe.org/wp-content/uploads/2019-4-16-IS%C3%96-Text-2019-1-Zukunftslabor-Schleswig-Holstein-Demographie-und-Digitalisierung\\_korrigiert.pdf](https://www.isoe.org/wp-content/uploads/2019-4-16-IS%C3%96-Text-2019-1-Zukunftslabor-Schleswig-Holstein-Demographie-und-Digitalisierung_korrigiert.pdf)

KALTENBORN, BRUNO [2019b]: *Auswirkungen der Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland*, Literaturstudie, Hans-Böckler-Stiftung, Forschungsförderung, Working Paper, Nr. 157, Oktober 2019, Düsseldorf.

Internet:

[https://www.boeckler.de/pdf/p\\_fofoe\\_WP\\_157\\_2019.pdf](https://www.boeckler.de/pdf/p_fofoe_WP_157_2019.pdf)

KEMMLER, ANDREAS, ALMUT KIRCHNER, ALEX AUF DER MAUR, FLORIAN ESS, SVEN KREIDELMEYER, ALEXANDER PIÉGSA, THORSTEN SPILLMANN, SAMUEL STRAßBURG, MARCO WÜNSCH, INKA ZIEGENHAGEN, BARBARA SCHLOMANN, PATRICK PLÖTZ, CHRISTIAN LUTZ, LISA BECKER und UWE FRITSCHE [2021]: *Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050*, Gesamtdokumentation der Szenarien, Bericht von Prognos, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung und Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Februar 2021 Basel.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/energiewirtschaftliche-projektionen-und-folgeabschaetzungen-2030-2050.pdf?blob=publicationFile&v=22>

Kommission für „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ [2019]: *Abschlussbericht*, Januar 2019, Berlin.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommision-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?blob=publicationFile>

LEHR, ULRIKE, DIETMAR EDLER, PHILIP ULRICH, JÜRGEN BLAZEJCZAK und CHRISTIAN LUTZ [2019]: *Beschäftigungschancen auf dem Weg zu einer Green Economy - szenarienbasierte Analyse von (Netto-)Beschäftigungswirkungen*, Abschlussbericht, Studie abgeschlossen im Oktober 2015, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Umweltbundesamt (Hrsg.), Umwelt, Innovation, Beschäftigung 03/2019, Juli 2019, Dessau-Roßlau.

Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/beschaeftigungschancen-auf-dem-weg-zu-einer-green>

LEHR, ULRIKE, MARKUS FLAUTE, LARA AHMANN, ANNE NIETERS, JESKO HIRSCHFELD, MALTE WELLING, CLARA WOLFF, ANNA GALL, JOHANNA KERSTING, MALIN MAHLBACHER und CHARLOTTE VON MÖLLENDORFF [2020]: *Vertiefte ökonomische Analyse einzelner Politikinstrumente und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel*, Abschlussbericht, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), November 2020, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/  
publikationen/2020\\_11\\_27\\_cc\\_43\\_2020\\_politikinstrumente-klimaanpassung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_11_27_cc_43_2020_politikinstrumente-klimaanpassung.pdf)

LEHR, ULRIKE, PHILIP ULRICH, CHRISTIAN LUTZ, INES THOBE, DIETMAR EDLER, MARLENE O'SULLIVAN, SONJA SIMON, TOBIAS NAEGLER, UWE PFENNING, FRANK PETER, FABIAN SAKOWSKI und PETER BICKEL [2015]: *Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen*, Endbericht, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Prognos, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, März 2015, Osnabrück u.a.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/beschaeftigung-durch-erneuerbare-energien-in-deutschland.html>

LIMBERS, JAN, MICHAEL BÖHMER und MICHAEL SCHLESINGER [2020]: *Klimapolitische Herausforderungen der Stahlindustrie in Deutschland*, Bericht von Prognos im Auftrag der Wirtschaftsvereinigung Stahl, September 2020, Freiburg.

Internet:

[https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-05/  
prognos\\_studie\\_herausforderungen\\_stahlindustrie\\_deutschland.pdf](https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-05/prognos_studie_herausforderungen_stahlindustrie_deutschland.pdf)

LUTZ, CHRISTIAN, LISA BECKER, ULRIKE LEHR und BARBARA BREITSCHOPF [2018a]: Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, GWS Research Report 2018/08, November 2018, Osnabrück.

Internet:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/  
moegliche-engpaesse-fuer-die-energiewende.pdf?blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/moegliche-engpaesse-fuer-die-energiewende.pdf?blob=publicationFile&v=8)

LUTZ, CHRISTIAN, und BARBARA BREITSCHOPF [2016]: *Systematisierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte und Verteilungswirkungen der Energiewende*, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, GWS Research Report 2016/01, Juni 2016, Osnabrück.

Internet:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/systematisierung-gesamtwirtschaftlichen-effekte-und-verteilungswirkungen-der-energiewende.pdf? blob=publicationFile&v=12](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/systematisierung-gesamtwirtschaftlichen-effekte-und-verteilungswirkungen-der-energiewende.pdf?blob=publicationFile&v=12)

LUTZ, CHRISTIAN, MARKUS FLAUTE, ULRIKE LEHR, ANDREAS KEMMLER, ALMUT KIRCHNER, ALEX AUF DER MAUR, INKA ZIEGENHAGEN, MARCO WÜNSCH, SYLVIE KOZIEL, ALEXANDER PIÉGSA und SAMUEL STRABBURG [2018b]: *Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende*, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung und Prognos, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, GWS Research Report 2018/04, September 2018, Osnabrück.

Internet: <http://www.gws-os.com/discussionpapers/gws-researchreport18-4.pdf>

MAIER, TOBIAS, GERD ZIKA, MICHAEL KALINOWSKI, ANKE MÖNNIG, MARC INGO WOLTER und CHRISTIAN SCHNEEMANN [2018]: *Bevölkerungswachstum bei geringer Erwerbslosigkeit*, BIBB-Report, Jg. 12, H. 7, November 2018, Bonn.

Internet:

<https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/9376>

MAIER, TOBIAS, GERD ZIKA, MICHAEL KALINOWSKI, STEFANIE STEEG, ANKE MÖNNIG, MARC INGO WOLTER, MARKUS HUMMEL und CHRISTIAN SCHNEEMANN [2020]: *COVID-19-Krise: Die Arbeit geht weiter, der Wohlstand macht Pause*, Ergebnisse der sechsten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen bis zum Jahr 2040, BIBB-Report, Jg. 14, H. 4, Oktober 2020, Bonn.

Internet:

<https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/download/16757>

MERTEN, FRANK, ALEXANDER SCHOLZ, CHRISTINE KRÜGER, SIMON HECK, YANN GIRARD, MARC MECKE und MARIUS GOERGE [2020]: *Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung*, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie und DIW Econ, Studie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW, 3. November 2020, Wuppertal.

Internet:

<https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>

MICHALSKI, JAN, MATTHIAS ALTMANN, ULRICH BÜNGER und WERNER WEINDORF [2019]: *Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen*, ludwig bölkow systemtechnik, Eine Expertise für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Mai 2019, Düsseldorf.

Internet:

[https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/bericht\\_wasserstoffstudie\\_nrw-2019-04-09\\_komp.pdf](https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/bericht_wasserstoffstudie_nrw-2019-04-09_komp.pdf)

MÖNNIG, ANKE, CHRISTIAN LUTZ, LISA BECKER, TOBIAS MAIER und GERD ZIKA [2021]: *Arbeitsmarkteffekte eines klimaneutralen Langfristpfads bis 2030*, Endbericht, Zusammenfassung der Ergebnisse, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Bundesinstitut für Berufsbildung und Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, April 2021, Osnabrück.

Internet:

[https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/2021-05-18\\_Arbeitsmarkteffekte\\_KNDE.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/2021-05-18_Arbeitsmarkteffekte_KNDE.pdf)

MÖNNIG, ANKE, CHRISTIAN SCHNEEMANN, ENZO WEBER und GERD ZIKA [2020]: *Das Klimaschutzprogramm 2030, Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung*, IAB-Discussion Paper 2/2020, 16. Januar 2020, Nürnberg.

Internet:

<http://doku.iab.de/discussionpapers/2020/dp0220.pdf>

MÖNNIG, ANKE, CHRISTIAN SCHNEEMANN, ENZO WEBER, GERD ZIKA und ROBERT HELM-RICH [2018]: *Elektromobilität 2035, Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen*, IAB-Forschungsbericht 8/2018, 5. Dezember 2018, Nürnberg.

Internet:

<http://doku.iab.de/forschungsbericht/2018/fb0818.pdf>

Nationale Wasserstoffrat [2021]: *Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021 - 2025*, Juli 2021, o.O.

Internet:

[https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/NWR\\_Aktionsplan\\_Wasserstoff\\_2021-2025\\_WEB-Bf.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/NWR_Aktionsplan_Wasserstoff_2021-2025_WEB-Bf.pdf)

o.V. [o.J.]: *Projektionsbericht 2017 für Deutschland*, gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, o.O.

Internet:

[http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14\\_lcgs\\_pams\\_projections/projections/envwqc4\\_g/170426\\_PB\\_2017\\_-final.pdf](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcgs_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017_-final.pdf)

OEI, PAO-YU, CASIMIR LORENZ, SOPHIE SCHMALZ, HANNA BRAUERS, PHILIPP HERPICH, CHRISTIAN VON HIRSCHHAUSEN, CLAUDIA KEMFERT, BARBARA DRÖSCHEL, JAN HILDEBRAND, JURI HORST, UWE KLANN, PATRICK MATSCHOSS, MICHAEL PORZIG, IRINA RAU, BERNHARD WERN, HANS-ULRICH BRAUTZSCH, GERHARD HEIMPOLD, KATJA HEINISCH, OLIVER HOLTEMÖLLER, CHRISTOPH SCHULT, HAUKE HERMANN, DIRK HEYEN, KATJA SCHUMACHER und CORNELIA ZIEHM [2019]: *Klimaschutz und Kohleausstieg: Politische Strategien und Maßnahmen bis 2030 und darüber hinaus*, Abschlussbericht, Studie abgeschlossen im April 2018, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme, Institut für Wirtschaftsforschung Halle und Öko-Institut, im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Climate Change 27/2019, Juli 2019, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-25\\_climate-change\\_27-2019\\_kohleausstieg\\_v2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-25_climate-change_27-2019_kohleausstieg_v2.pdf)

OEI, PAO-YU, THORSTEN BURANDT, KARLO HAINSCH, KONSTANTIN LÖFFLER und CLAUDIA KEMFERT [2020]: „Lessons from Modeling 100% Renewable Scenarios Using GENeSYS-MOD“, *Economics of Energy and Environmental Policy*, Jg. 9, H. 1,S. 103-120.

Internet:

[https://www.econstor.eu/bitstream/10419/222463/1/Oei\\_2020\\_Lessons%20Modelling%20Renewable.pdf](https://www.econstor.eu/bitstream/10419/222463/1/Oei_2020_Lessons%20Modelling%20Renewable.pdf)

O’SULLIVAN, MARLENE, und DIETMAR EDLER [2020]: „Gross Employment Effects in the Renewable Energy Industry in Germany - An Input–Output Analysis from 2000 to 2018“, *Sustainability*, Jg. 12, H. 15, Artikelnr. 6163, 31. Juli 2020, S. 1-21 und Anhang.

Internet:

<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6163/pdf>  
<http://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6163/s1>

O’SULLIVAN, MARLENE, DIETMAR EDLER und ULRIKE LEHR [2015]: *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz - Zulieferung für den Monitoringbericht 2015* -, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, September 2015, o.O.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bruttopbeschaeftigung-durch-erneuerbare-energien.pdf?blob=publicationFile&v=13>

O'SULLIVAN, MARLENE, DIETMAR EDLER und ULRIKE LEHR [2016]: *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz - Zulieferung für den Monitoringbericht 2015* -, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, September 2016, o.O.

Internet:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/bruttobeschaeftigung-erneuerbare-energien-monitoringbericht-2015.pdf? blob=publicationFile&v=11](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/bruttobeschaeftigung-erneuerbare-energien-monitoringbericht-2015.pdf?blob=publicationFile&v=11)

O'SULLIVAN, MARLENE, DIETMAR EDLER und ULRIKE LEHR [2018]: *Ökonomische Indikatoren des Energiesystems: Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000 - 2016*, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, DIW Berlin, Politikberatung kompakt 127, Februar 2018, Berlin.

Internet:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-und-energiewirtschaftliche-gesamtrechnung.pdf? blob=publicationFile&v=16](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-und-energiewirtschaftliche-gesamtrechnung.pdf?blob=publicationFile&v=16)

O'SULLIVAN, MARLENE, DIETMAR EDLER und ULRIKE LEHR [2019]: *Ökonomische Indikatoren der Energiebereitstellung: Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000 - 2017*, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, DIW Berlin, Politikberatung kompakt 135, Januar 2019, Berlin.

Internet:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-der-energiebereitstellung.pdf? blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-der-energiebereitstellung.pdf?blob=publicationFile&v=2)

PERNER, JENS, DAVID BOTHE, ANDREA LÖVENICH, THILO SCHAEFER und MANUEL FRITSCH [2018]: *Synthetische Energieträger - Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel*, Eine Untersuchung der Marktpotentiale, Investitions- und Beschäftigungseffekte, Frontier Economics und Institut der deutschen Wirtschaft Köln, im Auftrag des Instituts für Wärme und Oeltechnik (IWO), der Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland und des Bundesverbandes mittelständischer Mineralölunternehmen, 24. September 2018, o.O.

Internet:

[https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user\\_upload/Studien/Gutachten/PDF/IW-Frontier-Studie\\_PTX\\_Markt\\_und\\_Besch%C3%A4ftigungsperspektiven.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/IW-Frontier-Studie_PTX_Markt_und_Besch%C3%A4ftigungsperspektiven.pdf)

PIEPRZYK, BJÖRN, und MATTHIAS STARK [2021]: *Das „BEE-Szenario 2030“*, 65 Prozent Treibhausgasminderung bis 2030 - Ein Szenario des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE), Version 2021, Bundesverband Erneuerbare Energie, April 2021, Berlin.

Internet:

[https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere\\_Stellungnahmen/BEE/20210416\\_BEE-Szenario\\_2030\\_final.pdf](https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere_Stellungnahmen/BEE/20210416_BEE-Szenario_2030_final.pdf)

REICHERT, GÖTZ [2009]: *Klimaschutz in der Europäischen Union*, Das EU-Klimaschutzzpaket vom 23. April 2009, Centrum für Europäische Politik (CEP), cepDossier, September 2009, Freiburg im Breisgau.

Internet:

[https://www.cep.eu/Studien/Klima-Dossier/cepDossier\\_EU-Klimaschutz.pdf](https://www.cep.eu/Studien/Klima-Dossier/cepDossier_EU-Klimaschutz.pdf)

PricewaterhouseCoopers [2016]: *Wirtschaftliche Bewertung des Aktionsprogramm Klimaschutz 2020*, Abschlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 18. November 2016, Frankfurt am Main.

Internet:

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Aktionsprogramm\\_Klimaschutz/aktionsprogramm\\_klimaschutz\\_2020\\_abschlussbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_abschlussbericht_bf.pdf)

REPENNING, JULIA, LUKAS EMELE, RUTH BLANCK, HANNES BÖTTCHER, GÜNTER DEHOUST, HANNAH FÖRSTER, BENJAMIN GREINER, RALPH HARTHAN, KLAUS HENNEBERG, HAUKE HERMANN, WOLFRAM JÖRß, CHARLOTTE LORECK, SYLVIE LUDIG, FELIX CHR. MATTHES, MARGARETHE SCHEFFLER, KATJA SCHUMACHER, KIRSTEN WIEGMANN, CARINA ZELL-ZIEGLER, SIBYLLE BRAUNGARDT, WOLFGANG EICHHAMMER, RAINER ELSLAND, TOBIAS FLEITER, JOHANNES HARTWIG, JUDIT KOCKAT, BEN PFLUGER, WOLFGANG SCHADE, BARBARA SCHLOMANN, FRANK SENSFUß und HANS-JOACHIM ZIESING [2016]: *Klimaschutzszenario 2050*, 2. Endbericht, Öko-Institut und Fraunhofer ISI, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umweltschutz, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 18. Dezember 2018, Berlin.

Internet:

<http://www.oeko.de/okodoc/2441/2015-598-de.pdf>

REPENNING, JULIA, LUKAS EMELE, SYLVIE LUDIG, THOMAS BERGMANN, RUTH BLANCK, VEIT BÜRGER, GÜNTER DEHOUST, RALPH HARTHAN, HAUKE HERMANN, LARA MIA HERRMANN, HANNAH FÖRSTER, BENJAMIN GREINER, KLAUS HENNENBERG, WOLFRAM JÖRB, CHARLOTTE LORECK, FELIX MATTHES, LOTHAR RAUSCH, MARGARETHE SCHEFFLER, KATJA SCHUMACHER, KIRSTEN WIEGMANN, CARINA ZELL-ZIEGLER, SIBYLLE BRAUNGARDT, WOLFGANG EICHHAMMER, TOBIAS FLEITER, BENJAMIN FRIES, BARBARA SCHLOMANN, JAN STEINBACH und HANS JOACHIM ZIESING [2020]: *Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU-Treibhausgasmonitorings („Politikszenarien VIII“)*, Öko-Institut und Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Abschlussdatum Oktober 2018, Climate Change 11/2020, Februar 2020, aktualisiert am 27. Januar 2021, Berlin.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-19\\_cc\\_11-2020\\_politikszenarien\\_viii.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-19_cc_11-2020_politikszenarien_viii.pdf)

REPENNING, JULIA, KATJA SCHUMACHER, THOMAS BERGMANN, RUTH BLANCK, HANNES BÖTTCHER, VEIT BÜRGER, JOHANNA CLUDIUS, LUKAS EMELE, WOLFRAM JÖRB, KLAUS HENNENBERG, HAUKE HERMANN, CHARLOTTE LORECK, SYLVIE LUDIG, FE-LIX MATTHES, CHRISTIAN NISSEN, MARGARETHE SCHEFFLER, KIRSTEN WIEGMANN, CARINA ZELL-ZIEGLER, TOBIAS FLEITER, LUISA SIEVERS, MATTHIAS PFAFF, NILS THAMLING, DOMINIK RAU, JOHANNES HARTWIG, SARAH WELTER, OLIVER LÖSCH und AXEL WIRZ [2019]: *Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung*, Öko-Institut, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Prognos, M-Five, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien und Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 3. Januar 2019, Berlin.

Internet:

<https://www.oeko.de/fileadmin/oeekodoc/Folgenabschaetzung-Klimaschutzplan-2050-Endbericht.pdf>

RÖHR, ULRIKE, GOTELIND ALBER und LISA GOOLDNER [2018]: *Gendergerechtigkeit als Beitrag zu einer erfolgreichen Klimapolitik: Forschungsreview, Analyse internationaler Vereinbarungen, Portfolioanalyse*, Forschungskonsortium Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Institut für sozial-ökologische Forschung und GenderCC – Women for Climate Justice e.V., im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Texte 23/2018, März 2018, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-03-15\\_texte\\_23-2018\\_gender-klima.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-03-15_texte_23-2018_gender-klima.pdf)

Sachverständigenrat für Umweltfragen [2017]: *Kohleausstieg jetzt einleiten*, Stellungnahme, Oktober 2017, Berlin.

Internet:

[https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2016\\_2020/2017\\_10\\_Stellungnahme\\_Kohleausstieg.pdf?blob=publicationFile&v=19](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2016_2020/2017_10_Stellungnahme_Kohleausstieg.pdf?blob=publicationFile&v=19)

SCHADE, WOLFGANG, SIMON MADER und UDO WAGNER [2017]: *Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität*, Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035, AP1: Leitbild nachhaltiger Mobilität: Szenarien Multi-Modalität-2035 und E-Straße 2035, M-Five und Fraunhofer ISI, 11. Oktober 2017, Karlsruhe.

Internet:

[http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-6330789.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-6330789.pdf)

SCHLESINGER, MICHAEL, PETER HOFER, ANDREAS KEMMLER, ALMUT KIRCHNER, SYLVIE KOZIEL, ANDREA LEY, ALEXANDER PIÉGSA, FRIEDRICH SEELENDT, SAMUEL STRASSBURG, KARSTEN WEINERT, DIETMAR LINDENBERGER, ANDREAS KNAUT, RAIMUND MALISCHKEK, SEBASTIAN NICK, TIMO PANKE, SIMON PAULUS, CHRISTIAN TODE, JOHANNES WAGNER, CHRISTIAN LUTZ, ULRIKE LEHR und PHILIP ULRICH [2014]: *Entwicklung der Energiemärkte - Energiereservenprognose*, Juni 2014, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Projekt Nr. 57/12, Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln und Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung, Basel u.a.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemärkte-energiereservenprognose-endbericht.pdf?blob=publicationFile&v=7>

SCHLESINGER, MICHAEL, PETER HOFER, ALMUT KIRCHNER, ALEXANDER PIÉGSA, SAMUEL STRASSBURG, DIETMAR LINDENBERGER, MICHAELA FÜRSCH, RAIMUND MALISCHKEK, STEPHAN NAGL, TIMO PANKE, JOHANNES TRÜBY, CHRISTIAN LUTZ, OLEKSIY KHOROSHUN und ULRIKE LEHR [2011]: *Energieszenarien 2011*, Juli 2011, Prognos, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel u.a.

Internet:

[http://www.gws-os.com/downloads/11\\_08\\_12\\_Energieszenarien\\_2011.pdf](http://www.gws-os.com/downloads/11_08_12_Energieszenarien_2011.pdf)

SEELENDT, FRIEDRICH, DOMINIK RAU, MALEK SAHNOUN, NORA LANGREDER, DOMINIK JESSING, DIMITRIS TSOUTSOLOPOULOS und ARTHUR GUZY [2021]: *Empirische Untersuchung des Marktes für Energiedienstleistungen, Energieaudits und andere Energieeffizienzmaßnahmen im Jahr 2020*, Endbericht 2020 - BfEE 17/2017, Prognos, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) und Kantar im Auftrag der Bundesstelle für Energieeffizienz (Hrsg.), Eschborn.

Internet:

[https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Downloads/BfEE/DE/Energiedienstleistungen/edl20\\_endbericht\\_v05.pdf](https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Downloads/BfEE/DE/Energiedienstleistungen/edl20_endbericht_v05.pdf)

SEEFELDT, FRIEDRICH, NILS THAMLING, RUTH OFFERMANN, ANDREAS KEMMLER, MARTIN PEHNT, PETER MELLWIG, AMANY VON OEHSEN, LARS-ARVID BRISCHKE, JOACHIM KIRCHNER, HOLGER CISCHINSKY, MICHAEL HÖRNER und CHRISTIAN VON MALOTTKI [2015]: *Energieeffizienzstrategie Gebäude*, Hintergrundpapier, Erstellt im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienzstrategie Gebäude, Prognos, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg und Institut für Wohnen und Umwelt, im Auftrag der Bundesstelle für Energieeffizienz, 1. Dezember 2015, Berlin u.a.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energieeffizienzstrategie-hintergrundinformation-gebaeude.pdf?blob=publicationFile&v=5>

SHISHLOV, IGOR, ROMAIN MOREL und VALENTIN BELLASSEN [2016]: „Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period“, *Climate Policy*, Jg. 16, H. 6, Juni 2016, S. 768-782.

Internet:

[https://www.researchgate.net/profile/Igor-Shishlov/publication/303899750\\_Compliance\\_of\\_the\\_Parties\\_to\\_the\\_Kyoto\\_Protocol\\_in\\_the\\_first\\_commitment\\_period/links/59e5af82aca272390edfe20e/Compliance-of-the-Parties-to-the-Kyoto-Protocol-in-the-first-commitment-period.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Igor-Shishlov/publication/303899750_Compliance_of_the_Parties_to_the_Kyoto_Protocol_in_the_first_commitment_period/links/59e5af82aca272390edfe20e/Compliance-of-the-Parties-to-the-Kyoto-Protocol-in-the-first-commitment-period.pdf)

SIEVERS, LUISA, ANNA GRIMM und CLAUS DOLL [2019]: *Transformation der Mobilität - Bestimmung der Beschäftigungseffekte in 2035 mit einem Input-Output-Modell*, Arbeitspapier 4 des Projektes im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung: Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität: Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035, M-Five und Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Internet:

[http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-6059659.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-6059659.pdf)

Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2015]: *Berufssektoren und Berufssegmente nach den Berufshauptgruppen der Klassifikation der Berufe 2010 (KldB 2010)*, 23. April 2015, Nürnberg.

Internet:

<https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Statischer-Content/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010/Systematik-Verzeichnisse/Generische-Publikationen/BerufssektorenundSegmenten.xls?blob=publicationFile&v=8>

Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2021a]: *Beschäftigte nach Berufen (KldB 2010) (Zeitreihe Quartalszahlen)*, Deutschland, Stichtag 31. Dezember 2020, 15. Juli 2021, Nürnberg.

Internet:

<https://statistik.arbeitsagentur.de/Statistikdaten/Detail/Aktuell/iiia6/beschaeftigung-sozbe-kldb2010-zeitreihe/kldb2010-zeitreihe-d-0-xlsx.xlsx?blob=publicationFile&v=1>

Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2021b]: *Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) (Quartalszahlen)*, Deutschland, Stichtag 31. Dezember 2020, 15. Juli 2021, Nürnberg.

Internet:

<https://statistik.arbeitsagentur.de/Statistikdaten/Detail/202012/iiia6/beschaeftigung-sozbe-wz-heft/wz-heft-d-0-202012-xlsx.xlsx?blob=publicationFile&v=1>

Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2021c]: *Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) (Zeitreihe Quartalszahlen)*, Deutschland, Stichtag 31. Dezember 2020, 15. Juli 2021, Nürnberg.

Internet:

<https://statistik.arbeitsagentur.de/Statistikdaten/Detail/202012/iiia6/beschaeftigung-sozbe-wz-heft/wz-heft-d-0-202012-xlsx.xlsx?blob=publicationFile&v=1>

Statistisches Bundesamt [2010]: *Input-Output-Rechnung im Überblick*, April 2010, Wiesbaden.

Internet:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen/Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Input-Output-Rechnung/input-output-rechnung-ueberblick-581511609004.pdf?blob=publicationFile&v=4>

Statistisches Bundesamt [2019a]: *Bevölkerung Deutschlands bis 2060*, 14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung - Hauptvarianten 1 bis 9 -, 27. Juni 2019, Wiesbaden.

Internet:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Publikationen/Downloads-Vorausberechnung/bevoelkerung-deutschland-2060-5124202199014.pdf?blob=publicationFile>

Statistisches Bundesamt [2019b]: *Bevölkerung Deutschlands bis 2060*, 14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung - Varianten 10 bis 21 -, 27. Juni 2019, Wiesbaden.

Internet:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Publikationen/Downloads-Vorausberechnung/bevoelkerung-deutschland-2060-5124202199024.pdf?blob=publicationFile>

Statistisches Bundesamt [2021a]: *Fachserie 18: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 2: Input-Output-Rechnung, Berichtsjahr 2017 (Revision 2019, Stand: August 2020)*, 15. Januar 2021, Wiesbaden.

Internet:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Input-Output-Rechnung/input-output-rechnung-2180200177004.pdf?blob=publicationFile>

Statistisches Bundesamt [2021b]: *Fachserie 18: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.5: Inlandsproduktberechnung, Lange Reihen ab 1970, Berichtsjahr 2020*, 2. Juni 2021, Wiesbaden.

Internet:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/inlandsprodukt-lange-reihen-pdf-2180150.pdf?blob=publicationFile>

TESKE, SVEN, THOMAS PREGGER, SONJA SIMON, TOBIAS NAEGLER, MARLENE O'SULLIVAN, STEPHAN SCHMID, BENJAMIN FRIESKE, JOHANNES PAGENKOPF, WINA CRIJNS- GRAUS, KATERINA KERMELI, W. ZITTEL, JAY RUTOVITZ, STEVE HARRIS, THOMAS ACKERMANN, RENA RUWAHATA und NILS MARTENSEN [2012]: *Energy [R]evolution, A sustainable world energy outlook*, Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC), Global Wind Energy Council (GWEC), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 4. Auflage, Juli 2012, Amsterdam (Niederlande).

Internet:

[https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Ackermann-4/publication/259895306\\_Energy\\_Revolution\\_-a\\_sustainable\\_world\\_energy\\_outlook\\_-4th\\_edition\\_2012\\_world\\_energy\\_scenario/links/00b7d53295547ce27f00000/Energy-Revolution-a-sustainable-world-energy-outlook-4th-edition-2012-world-energy-scenario.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Ackermann-4/publication/259895306_Energy_Revolution_-a_sustainable_world_energy_outlook_-4th_edition_2012_world_energy_scenario/links/00b7d53295547ce27f00000/Energy-Revolution-a-sustainable-world-energy-outlook-4th-edition-2012-world-energy-scenario.pdf)

THAMLING, NILS, ANDREAS KEMMLER, MARCO WÜNSCH, DOMINIK RAU, HANNO FALKENBERG, ANISSA SCHLICHTING, ANDREAS H. HERMELINK, UWE BIGALKE und MICHAEL MÜLLER [2017]: *Gesamtwirtschaftliche Einordnung der ESG*, Prognos, Ecofys, Deutsche Energie-Agentur und PricewaterhouseCoopers, Leistung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin u.a.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/gesamtwirtschaftliche-einordnung-esg.pdf?blob=publicationFile&v=12>

UECKERDT, FALKO, CHRISTIAN BAUER, ALOIS DIRNAICHNER, JORDAN EVERALL, ROMAIN SACCHI und GUNNAR LUDERER [2021]: „Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation“, *Nature Climate Change*, Jg. 11, H. 5, S. 384-393.

Internet:

[https://publications.pik-potsdam.de/pubman/item/item\\_25599](https://publications.pik-potsdam.de/pubman/item/item_25599)

ULRICH, PHILIP, und ULRIKE LEHR [2018]: *Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern*, Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2016 in den Bundesländern, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, GWS Research Report 2018/02, März 2018, Osnabrück.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erneuerbar-beschaeftigt-in-den-bundeslaendern.pdf?blob=publicationFile&v=8>

ULRICH, PHILIP, ULRIKE LEHR und CHRISTIAN LUTZ [2018]: *Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende in den Bundesländern*, Methodische Ansätze und Ergebnisse, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, GWS Research Report 2018/05, September 2018, Osnabrück.

Internet:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/gesamtwirtschaftliche-effekte-der-energiewende-in-den-bundeslaendern.pdf?blob=publicationFile&v=4>

Umweltbundesamt (Hrsg.) [2018]: *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018*, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2016, Climate Change 12/2018, Mai 2018, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-24\\_climate-change\\_12-2018\\_nir\\_2018.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-24_climate-change_12-2018_nir_2018.pdf)

Umweltbundesamt [2021a]: *Vorjahreschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2020*, 15. März 2021, Dessau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2021\\_03\\_10\\_trendtabellen\\_thg\\_nach\\_sektoren\\_v1.0.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2021_03_10_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx)

Umweltbundesamt (Hrsg.) [2021b]: *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021*, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2019, Climate Change 43/2021, Mai 2021, Dessau-Roßlau.

Internet:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-19\\_cc\\_43-2021\\_nir\\_2021\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-19_cc_43-2021_nir_2021_1.pdf)

United Nations Environment Programme [2020]: *Emissions Gap Report 2020*, Nairobi (Kenia).

Internet:

<https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/34426/EGR20.pdf>

WIETSCHEL, MARTIN, AXEL THIELMANN, PATRICK PLÖTZ, TILL GNANN, LUISA SIEVERS, BARBARA BREITSCHOPF, CLAUS DOLL und CORNELIUS MOLL [2017]: *Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland in Zeiten zunehmender Elektromobilität*, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Working Paper Sustainability and InnovationNo. S 09/2017, Karlsruhe.

Internet:

[https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2017/WP09-2017\\_Perspektiven-Automobilindustrie-Elektromobilitaet\\_Wietschel-et-al.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2017/WP09-2017_Perspektiven-Automobilindustrie-Elektromobilitaet_Wietschel-et-al.pdf)

WIETSCHEL, MARTIN, LIN ZHENG, MARLENE ARENS, CHRISTOPHER HEBLING, OMBENI RANZMEYER, ACHIM SCHAADT, CHRISTOPH HANK, ANDRÉ STERNBERG, SEBASTIAN HERKEL, CHRISTOPH KOST, MARIO RAGWITZ, ULRIKE HERRMANN und BENJAMIN PFLUGER [2021]: *Metastudie Wasserstoff - Auswertung von Energiesystemstudien*, Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats, Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE und Fraunhofer IEG (Hrsg.), Karlsruhe u.a.

Internet:

[https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/Metastudie\\_Wasserstoff-Abschlussbericht.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/Metastudie_Wasserstoff-Abschlussbericht.pdf)

WÖRLEN, CHRISTINE, LISA KEPPLER und GISA HOLZHAUSEN [2017]: *Arbeitsplätze in Braunkohleregionen - Entwicklungen in der Lausitz, dem Mitteldeutschen und Rheinischen Revier*, Kurzstudie von Arepo Consult für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, 1. Juli 2017, Berlin.

Internet:

[https://arepoconsult.com/wp-content/uploads/2019/11/2017\\_gruene\\_arbeitsplaetze-braunkohle\\_kurzstudie.pdf](https://arepoconsult.com/wp-content/uploads/2019/11/2017_gruene_arbeitsplaetze-braunkohle_kurzstudie.pdf)

ZIMMER, WIEBKE, RUTH BLANCK, THOMAS BERGMANN, MORITZ MOTTSCHALL, RUT VON WALDENFELS, HANNAH FÖRSTER, KATJA SCHUMACHER, RITA CYGANSKI, AXEL WOLFERMANN, CHRISTIAN WINKLER, MATTHIAS HEINRICHS, FRANK DÜNNEBEIL, HORST FEHRENBACH, CLAUDIA KÄMPER, KIRSTEN BIEMANN, JAN KRÄCK, MARTIN PETER, REMO ZANDONELLA und DAMARIS BERTSCHMANN [2016]: *Endbericht Renewability III*, Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors, Öko-Institut, Institut für Verkehrsforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg und INFRAS, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, November 2016, Berlin u.a.

Internet:

[https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/RenewabilityIII\\_Endbericht.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/RenewabilityIII_Endbericht.pdf)

**Alle Links wurden zuletzt am 9.11.2021 abgerufen.**

## Anhang zu Abschnitt 2.3

**Tabelle 40: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Deutschland nach Wirtschaftsabteilung und Geschlecht im Dezember 2020**

Nr.	Wirtschaftsabschnitt, -abteilung (Klassifikation der Wirtschaftszweige)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
<b>A</b>	<b>Land- und Forstwirtschaft, Fischerei</b>	<b>228.400</b>	<b>153.342</b>	<b>75.058</b>	<b>32,9%</b>
01	Landwirtschaft, Jagd und damit verbundene Tätigkeiten	204.422	134.074	70.348	34,4%
02	Forstwirtschaft und Holzeinschlag	21.698	17.615	4.083	18,8%
03	Fischerei und Aquakultur	2.280	1.653	627	27,5%
<b>B</b>	<b>Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden</b>	<b>62.687</b>	<b>54.117</b>	<b>8.570</b>	<b>13,7%</b>
05	Kohlenbergbau	9.804	8.423	1.381	14,1%
06	Gewinnung von Erdöl und Erdgas	3.283	2.555	728	22,2%
07	Erzbergbau	759	690	69	9,1%
08	Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau	38.237	33.195	5.042	13,2%
09	Erbringung von Dienstleistungen für den Bergbau und für die Gewinnung von Steinen und Erden	10.604	9.254	1.350	12,7%
<b>C</b>	<b>Verarbeitendes Gewerbe</b>	<b>6.817.327</b>	<b>5.087.454</b>	<b>1.729.873</b>	<b>25,4%</b>
10	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	630.312	326.143	304.169	48,3%
11	Getränkeherstellung	67.481	51.011	16.470	24,4%
12	Tabakverarbeitung	7.596	4.891	2.705	35,6%
13	Herstellung von Textilien	67.970	38.090	29.880	44,0%
14	Herstellung von Bekleidung	33.470	10.713	22.757	68,0%
15	Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	16.300	8.340	7.960	48,8%
16	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	112.559	93.738	18.821	16,7%
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	121.731	94.189	27.542	22,6%

Nr.	Wirtschaftsabschnitt, -abteilung (Klassifikation der Wirtschaftszweige)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
18	Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	120.730	77.507	43.223	35,8%
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	22.441	17.955	4.486	20,0%
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	339.258	250.061	89.197	26,3%
21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	161.607	82.103	79.504	49,2%
22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	388.718	291.020	97.698	25,1%
23	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	203.219	164.367	38.852	19,1%
	<i>darunter: Zementindustrie (235, 236)</i>	78.069	67.267	10.802	13,8%
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	269.099	236.643	32.456	12,1%
	<i>darunter: Stahlindustrie (241-243)</i>	136.553	121.061	15.492	11,3%
25	Herstellung von Metallerzeugnissen	799.286	646.115	153.171	19,2%
26	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	411.625	286.346	125.279	30,4%
27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	353.603	258.040	95.563	27,0%
28	Maschinenbau	1.051.177	873.544	177.633	16,9%
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	917.049	757.711	159.338	17,4%
30	Sonstiger Fahrzeugbau	174.652	146.694	27.958	16,0%
31	Herstellung von Möbeln	116.876	91.143	25.733	22,0%
32	Herstellung von sonstigen Waren	257.858	136.334	121.524	47,1%
33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	172.710	144.756	27.954	16,2%
<b>D</b>	<b>Energieversorgung</b>	<b>245.262</b>	<b>179.135</b>	<b>66.127</b>	<b>27,0%</b>
35	Energieversorgung	245.262	179.135	66.127	27,0%

Nr.	Wirtschaftsabschnitt, -abteilung (Klassifikation der Wirtschaftszweige)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
<b>E</b>	<b>Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen</b>	<b>263.221</b>	<b>213.345</b>	<b>49.876</b>	<b>18,9%</b>
36	Wasserversorgung	39.320	27.999	11.321	28,8%
37	Abwasserentsorgung	33.578	26.543	7.035	21,0%
38	Sammlung, Abfallbeseitigung, Rückgewinnung	186.345	155.504	30.841	16,6%
39	Beseitigung von Umweltverschmutzungen und sonstige Entsorgung	3.978	3.299	679	17,1%
<b>F</b>	<b>Baugewerbe</b>	<b>1.938.845</b>	<b>1.679.804</b>	<b>259.041</b>	<b>13,4%</b>
41	Hochbau	299.963	257.212	42.751	14,3%
42	Tiefbau	232.545	211.346	21.199	9,1%
43	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe	1.406.337	1.211.246	195.091	13,9%
<b>G</b>	<b>Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen</b>	<b>4.572.925</b>	<b>2.255.363</b>	<b>2.317.562</b>	<b>50,7%</b>
45	Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	677.324	535.974	141.350	20,9%
46	Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1.411.814	920.949	490.865	34,8%
47	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	2.483.787	798.440	1.685.347	67,9%
<b>H</b>	<b>Verkehr und Lagerei</b>	<b>1.884.494</b>	<b>1.431.911</b>	<b>452.583</b>	<b>24,0%</b>
49	Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	689.792	581.627	108.165	15,7%
50	Schifffahrt	19.776	13.785	5.991	30,3%
51	Luftfahrt	63.977	29.558	34.419	53,8%
52	Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr	751.321	567.194	184.127	24,5%
53	Post-, Kurier- und Expressdienste	359.628	239.747	119.881	33,3%
<b>I</b>	<b>Gastgewerbe</b>	<b>976.760</b>	<b>456.021</b>	<b>520.739</b>	<b>53,3%</b>
55	Beherbergung	279.466	106.341	173.125	61,9%

Nr.	Wirtschaftsabschnitt, -abteilung (Klassifikation der Wirtschaftszweige)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
56	Gastronomie	697.294	349.680	347.614	49,9%
<b>J</b>	<b>Information und Kommunikation</b>	<b>1.186.037</b>	<b>785.895</b>	<b>400.142</b>	<b>33,7%</b>
58	Verlagswesen	132.091	64.063	68.028	51,5%
59	Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen und Fernsehprogrammen; Kinos; Tonstudios und Verlegen von Musik	40.874	21.718	19.156	46,9%
60	Rundfunkveranstalter	59.597	29.684	29.913	50,2%
61	Telekommunikation	60.516	45.581	14.935	24,7%
62	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	811.431	577.949	233.482	28,8%
63	Informationsdienstleistungen	81.528	46.900	34.628	42,5%
<b>K</b>	<b>Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen</b>	<b>972.836</b>	<b>437.564</b>	<b>535.272</b>	<b>55,0%</b>
64	Erbringung von Finanzdienstleistungen	612.295	270.526	341.769	55,8%
65	Versicherungen u. Pensionskassen	165.923	83.531	82.392	49,7%
66	Mit Finanz- und Versicherungsdienstleistungen verbundene Tätigkeiten	194.618	83.507	111.111	57,1%
<b>L</b>	<b>Grundstücks- und Wohnungswesen</b>	<b>289.292</b>	<b>142.111</b>	<b>147.181</b>	<b>50,9%</b>
68	Grundstücks- und Wohnungswesen	289.292	142.111	147.181	50,9%
<b>M</b>	<b>Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen</b>	<b>2.355.142</b>	<b>1.146.271</b>	<b>1.208.871</b>	<b>51,3%</b>
69	Rechts- und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung	490.956	121.236	369.720	75,3%
70	Verwaltung und Führung von Unternehmen und Betrieben; Unternehmensberatung	743.799	377.657	366.142	49,2%
71	Architektur- und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung	620.373	399.916	220.457	35,5%
72	Forschung und Entwicklung	253.793	143.659	110.134	43,4%
73	Werbung und Marktforschung	140.708	64.841	75.867	53,9%

Nr.	Wirtschaftsabschnitt, -abteilung (Klassifikation der Wirtschaftszweige)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
74	Sonstige freiberufliche, wissenschaftliche und technische Tätigkeiten	68.377	35.075	33.302	48,7%
75	Veterinärwesen	37.136	3.887	33.249	89,5%
<b>N</b>	<b>Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen</b>	<b>2.222.267</b>	<b>1.301.019</b>	<b>921.248</b>	<b>41,5%</b>
77	Vermietung von beweglichen Sachen	86.075	59.905	26.170	30,4%
78	Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	691.367	488.503	202.864	29,3%
79	Reisebüros, Reiseveranstalter und Erbringung sonstiger Reservierungs-dienstleistungen	69.956	22.066	47.890	68,5%
80	Wach- und Sicherheitsdienste sowie Detekteien	184.314	144.826	39.488	21,4%
81	Gebäudebetreuung; Garten- und Landschaftsbau	814.641	398.898	415.743	51,0%
82	Dienstleistg. f. Untern. u. Privatpers. a.n.g.	375.914	186.821	189.093	50,3%
<b>O</b>	<b>Öffentliche Verwaltung, Verteidi-gung; Sozialversicherung</b>	<b>1.940.773</b>	<b>695.273</b>	<b>1.245.500</b>	<b>64,2%</b>
84	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	1.940.773	695.273	1.245.500	64,2%
P	Erziehung und Unterricht	1.381.683	396.231	985.452	71,3%
85	Erziehung und Unterricht	1.381.683	396.231	985.452	71,3%
<b>Q</b>	<b>Gesundheits- und Sozialwesen</b>	<b>5.158.299</b>	<b>1.192.074</b>	<b>3.966.225</b>	<b>76,9%</b>
86	Gesundheitswesen	2.635.907	520.093	2.115.814	80,3%
87	Heime (ohne Erholungs- und Ferien-heime)	1.090.477	226.946	863.531	79,2%
88	Sozialwesen (ohne Heime)	1.431.915	445.035	986.880	68,9%
<b>R</b>	<b>Kunst, Unterhaltung und Erholung</b>	<b>287.690</b>	<b>141.518</b>	<b>146.172</b>	<b>50,8%</b>
90	Kreative, künstlerische und unterhal-tende Tätigkeiten	69.161	37.632	31.529	45,6%
91	Bibl., Archive, Museen, zoolog. u. ä. Gärten	37.572	14.901	22.671	60,3%
92	Spiel-, Wett- und Lotteriewesen	56.156	20.533	35.623	63,4%

Nr.	Wirtschaftsabschnitt, -abteilung (Klassifikation der Wirtschaftszweige)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
93	Erbringung von Dienstleistungen des Sports, der Unterhaltung und der Erholung	124.801	68.452	56.349	45,2%
S	<b>Erbringung von sonstigen Dienstleistungen</b>	<b>848.933</b>	<b>275.102</b>	<b>573.831</b>	<b>67,6%</b>
94	Interessenvertr., kirchl. u. sonst. Verein	493.312	160.669	332.643	67,4%
95	Reparatur von Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern	33.464	23.889	9.575	28,6%
96	Erbringung von sonstigen überwiegend persönlichen Dienstleistungen	322.157	90.544	231.613	71,9%
T	<b>Private Haushalte mit Hauspersonal; Herstellung von Waren und Erbringung von Dienstleistungen durch private Haushalte für den Eigenbedarf ohne ausgeprägten Schwerpunkt</b>	<b>49.310</b>	<b>8.001</b>	<b>41.309</b>	<b>83,8%</b>
97	Private Haushalte mit Hauspersonal	48.580	7.468	41.112	84,6%
98	H. v. Waren, Dienstl. d. priv. Haushalte oaS	730	533	197	27,0%
U	<b>Exterritoriale Organisationen und Körperschaften</b>	<b>16.834</b>	<b>10.016</b>	<b>6.818</b>	<b>40,5%</b>
99	Exterritoriale Organisationen und Körperschaften	16.834	10.016	6.818	40,5%
	Keine Angabe	1.267	698	569	44,9%
	Insgesamt	33.700.284	18.042.265	15.658.019	46,5%

Anmerkung: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte mit Arbeitsort im Inland nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Auszgabe 2008).

Quelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2021b; 2021c], eigene Berechnungen.

**Tabelle 41: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Deutschland nach Berufshauptgruppe und Geschlecht im Dezember 2020**

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
1	<b>Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau</b>	<b>486.827</b>	<b>346.955</b>	<b>139.872</b>	<b>28,7%</b>
11	Land-, Tier-, Forstwirtschaftsberufe	220.856	157.300	63.556	28,8%
12	Gartenbauberufe, Floristik	265.971	189.655	76.316	28,7%
2	<b>Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung</b>	<b>7.102.647</b>	<b>5.868.024</b>	<b>1.234.623</b>	<b>17,4%</b>
21	Rohstoffgewinnung und -aufbereit., Glas- und Keramikherst. und -verarb.	120.214	106.111	14.103	11,7%
22	Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	531.370	451.367	80.003	15,1%
23	Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	269.809	169.589	100.220	37,1%
24	Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	1.197.746	1.093.905	103.841	8,7%
25	Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	1.866.632	1.679.417	187.215	10,0%
26	Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	1.051.340	940.407	110.933	10,6%
27	Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe	1.132.018	895.270	236.748	20,9%
28	Textil- und Lederberufe	115.353	52.656	62.697	54,4%
29	Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	818.165	479.302	338.863	41,4%
3	<b>Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik</b>	<b>2.032.419</b>	<b>1.889.307</b>	<b>143.112</b>	<b>7,0%</b>
31	Bauplanung, Architektur, Vermessungsberufe	289.212	202.522	86.690	30,0%
32	Hoch- und Tiefbauberufe	622.361	612.426	9.935	1,6%
33	(Innen-) Ausbauberufe	376.945	363.583	13.362	3,5%
34	Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	743.901	710.776	33.125	4,5%

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
<b>4</b>	<b>Naturwissenschaft, Geografie und Informatik</b>	<b>1.388.691</b>	<b>1.061.376</b>	<b>327.315</b>	<b>23,6%</b>
41	Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe	417.623	260.424	157.199	37,6%
42	Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe	47.573	33.023	14.550	30,6%
43	Informatik- und andere IKT-Berufe	923.495	767.929	155.566	16,8%
<b>5</b>	<b>Verkehr, Logistik, Schutz und Sicherheit</b>	<b>4.519.273</b>	<b>3.121.172</b>	<b>1.398.101</b>	<b>30,9%</b>
51	Verkehr, Logistik (außer Fahrzeugführung)	2.147.466	1.557.954	589.512	27,5%
52	Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	1.147.467	1.082.246	65.221	5,7%
53	Schutz-, Sicherheits-, Überwachungsberufe	359.208	261.989	97.219	27,1%
54	Reinigungsberufe	865.132	218.983	646.149	74,7%
<b>6</b>	<b>Kaufmännische Dienstleistungen, Warenhandel, Vertrieb, Hotel und Tourismus</b>	<b>3.892.492</b>	<b>1.505.585</b>	<b>2.386.907</b>	<b>61,3%</b>
61	Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	1.046.028	642.251	403.777	38,6%
62	Verkaufsberufe	2.123.518	609.740	1.513.778	71,3%
63	Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	722.946	253.594	469.352	64,9%
<b>7</b>	<b>Unternehmensorganisation, Buchhaltung, Recht und Verwaltung</b>	<b>6.863.273</b>	<b>2.400.361</b>	<b>4.462.912</b>	<b>65,0%</b>
71	Berufe in Unternehmensführung und -organisation	4.326.990	1.582.294	2.744.696	63,4%
72	Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	1.390.957	537.161	853.796	61,4%
73	Berufe in Recht und Verwaltung	1.145.326	280.906	864.420	75,5%
<b>8</b>	<b>Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung</b>	<b>6.336.175</b>	<b>1.321.103</b>	<b>5.015.072</b>	<b>79,1%</b>
81	Medizinische Gesundheitsberufe	2.719.575	493.749	2.225.826	81,8%

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Insgesamt	Männer	Frauen	
		Anzahl		Anteil	
82	Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	965.843	198.300	767.543	79,5%
83	Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	1.951.609	313.288	1.638.321	83,9%
84	Lehrende und ausbildende Berufe	699.148	315.766	383.382	54,8%
<b>9</b>	<b>Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung</b>	<b>890.818</b>	<b>417.183</b>	<b>473.635</b>	<b>53,1%</b>
91	Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	106.655	36.181	70.474	66,1%
92	Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	602.441	273.571	328.870	54,6%
93	Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	65.274	31.991	33.283	51,0%
94	Darstellende, unterhaltende Berufe	116.448	75.440	41.008	35,2%
	Keine Zuordnung möglich	187.669	111.199	76.470	40,7%
	Insgesamt	33.700.284	18.042.265	15.658.019	46,5%

Anmerkung: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte mit Arbeitsort im Inland nach der Klassifikation der Berufe 2010.

Quelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2021a], eigene Berechnungen.

**Tabelle 42: Änderung des Arbeitskräftebedarfs nach Berufshauptgruppe bis 2040 nach der Basisprojektion der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion**

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
1	<b>Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau</b>	<b>1.002</b>	<b>-2,1%</b>	<b>-4,6%</b>	<b>-6,7%</b>	<b>-8,3%</b>	
11	Land-, Tier-, Forstwirtschaftsberufe	590	-3,7%	-7,3%	-10,5%	-13,6%	
12	Gartenbauberufe, Floristik	412	+0,2%	-0,7%	-1,2%	-0,7%	
2	<b>Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung</b>	<b>8.269</b>	<b>-2,8%</b>	<b>-7,7%</b>	<b>-11,9%</b>	<b>-15,5%</b>	
21	Rohstoffgewinnung und -aufbereit., Glas- und Keramikherst. und -verarb.	141	-7,8%	-15,6%	-22,7%	-29,1%	
22	Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	668	-3,7%	-9,1%	-13,6%	-17,7%	
23	Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	418	-3,6%	-7,7%	-10,8%	-13,2%	
24	Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	1.417	-5,6%	-12,2%	-18,1%	-23,0%	
25	Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	2.024	-4,0%	-9,1%	-13,8%	-17,7%	
26	Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	1.192	-3,4%	-8,2%	-12,1%	-15,1%	
27	Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe	1.174	-2,1%	-5,9%	-9,0%	-11,3%	
28	Textil- und Lederberufe	181	-9,4%	-14,9%	-19,3%	-23,2%	
29	Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	1.054	+5,5%	+2,8%	+0,0%	-2,8%	
3	<b>Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik</b>	<b>2.796</b>	<b>-2,9%</b>	<b>-7,6%</b>	<b>-10,9%</b>	<b>-13,4%</b>	
31	Bauplanung, Architektur, Vermessungsberufe	394	-0,3%	-3,6%	-5,1%	-5,8%	
32	Hoch- und Tiefbauberufe	741	-4,6%	-10,7%	-15,0%	-18,4%	
33	(Innen-) Ausbauberufe	608	-4,6%	-10,9%	-15,3%	-18,8%	
34	Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	1.053	-1,7%	-5,1%	-7,8%	-9,7%	

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020					
			2020	2025	2030	2035	2040	
<b>4</b>	<b>Naturwissenschaft, Geografie und Informatik</b>	<b>1.444</b>	<b>+2,8%</b>	<b>+4,6%</b>	<b>+7,5%</b>	<b>+11,3%</b>		
41	Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe	435	-4,1%	-7,8%	-10,1%	-11,0%		
42	Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe	70	+2,9%	+5,7%	+7,1%	+11,4%		
43	Informatik- und andere IKT-Berufe	939	+6,0%	+10,3%	+15,8%	+21,6%		
<b>5</b>	<b>Verkehr, Logistik, Schutz und Sicherheit</b>	<b>6.617</b>	<b>+0,9%</b>	<b>+0,0%</b>	<b>-0,3%</b>	<b>-0,0%</b>		
51	Verkehr, Logistik (außer Fahrzeugführung)	2.685	-0,4%	-2,3%	-3,8%	-5,0%		
52	Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	1.458	-0,3%	-1,9%	-2,8%	-3,3%		
53	Schutz-, Sicherheits-, Überwachungsberufe	819	+3,9%	+4,6%	+5,5%	+7,9%		
54	Reinigungsberufe	1.655	+2,5%	+3,3%	+4,7%	+6,9%		
<b>6</b>	<b>Kaufmännische Dienstleistungen, Warenhandel, Vertrieb, Hotel und Tourismus</b>	<b>5.667</b>	<b>+2,8%</b>	<b>+0,9%</b>	<b>-1,0%</b>	<b>-3,1%</b>		
61	Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	1.209	-2,2%	-5,5%	-8,3%	-10,8%		
62	Verkaufsberufe	3.064	-0,7%	-3,6%	-6,5%	-9,6%		
63	Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	1.394	+14,9%	+16,4%	+17,4%	+18,1%		
<b>7</b>	<b>Unternehmensorganisation, Buchhaltung, Recht und Verwaltung</b>	<b>8.941</b>	<b>-2,0%</b>	<b>-5,2%</b>	<b>-7,5%</b>	<b>-9,0%</b>		
71	Berufe in Unternehmensführung und -organisation	5.447	-2,5%	-6,1%	-8,8%	-10,8%		
72	Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	1.658	-1,4%	-3,6%	-5,0%	-6,0%		
73	Berufe in Recht und Verwaltung	1.836	-1,0%	-3,8%	-5,8%	-6,3%		
<b>8</b>	<b>Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung</b>	<b>8.816</b>	<b>+3,3%</b>	<b>+6,5%</b>	<b>+9,3%</b>	<b>+12,4%</b>		
81	Medizinische Gesundheitsberufe	3.422	+1,1%	+3,6%	+6,4%	+9,3%		

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
82	Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	1.339	+3,6%	+8,5%	+12,1%	+20,0%	
83	Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	2.327	+4,0%	+7,2%	+9,8%	+12,2%	
84	Lehrende und ausbildende Berufe	1.728	+6,5%	+9,5%	+12,4%	+12,7%	
<b>9</b>	<b>Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung</b>	<b>1.324</b>	<b>+4,2%</b>	<b>+5,5%</b>	<b>+7,6%</b>	<b>+10,6%</b>	
91	Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	134	+0,7%	-0,7%	-1,5%	-1,5%	
92	Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	759	+3,2%	+5,3%	+8,0%	+12,0%	
93	Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	164	+3,0%	+0,6%	+0,0%	-0,6%	
94	Darstellende, unterhaltende Berufe	267	+9,4%	+12,4%	+15,7%	+19,5%	
<b>0</b>	<b>Militär</b>	<b>176</b>	<b>-2,3%</b>	<b>-9,7%</b>	<b>-17,6%</b>	<b>-23,9%</b>	
01	Angehörige der regulären Streitkräfte	176	-2,3%	-9,7%	-17,6%	-23,9%	
	Insgesamt	45.052	+0,2%	-1,4%	-2,5%	-3,0%	
	Änderung gegenüber 2020 absolut in Tsd.						
	Insgesamt		+88	-610	-1.106	-1.371	
	Änderung in Berufshauptgruppen mit Zuwachs gegenüber 2020		+746	+1.098	+1.443	+1.877	
	Änderung in Berufshauptgruppen mit Reduktion gegenüber 2020		-658	-1.708	-2.549	-3.248	
	Anzahl Berufshauptgruppen ... gegenüber 2020						
	... mit Zuwachs ...		15	13	11	11	
	... mit Reduktionen ...		22	24	24	26	
	... ohne Änderung ...		0	0	2	0	

Anmerkung: dargestellt sind ausschließlich Projektionsergebnisse, auch für 2020.

Quelle: MAIER et al. [2020], <http://www.qube-data.de/>, eigene Berechnungen.

**Tabelle 43: Änderung des Arbeitskräftebedarfs nach Berufsgruppe bis 2040 nach der Basisprojektion der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektion**

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
111	Landwirtschaft	424	-4,2%	-8,0%	-11,6%	-15,1%	
112	Tierwirtschaft	28	-3,6%	-10,7%	-14,3%	-17,9%	
113	Pferdewirtschaft	24	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	
114	Fischwirtschaft	4	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	
115	Tierpflege	38	+2,6%	+2,6%	+2,6%	+5,3%	
116	Weinbau	15	-6,7%	-6,7%	-13,3%	-20,0%	
117	Forst- und Jagdwirtschaft, Land-schaftspflege	57	-5,3%	-10,5%	-14,0%	-17,5%	
121	Gartenbau	356	+0,6%	+0,0%	-0,3%	+0,8%	
122	Floristik	56	-1,8%	-5,4%	-7,1%	-10,7%	
211	Berg-, Tagebau und Sprengtechnik	26	-11,5%	-19,2%	-26,9%	-34,6%	
212	Naturstein- und Mineralaufbereitung und -verarbeitung und Baustoffherstel-lung	63	-7,9%	-17,5%	-25,4%	-31,7%	
213	Industrielle Glasherstellung und -verarbeitung	38	-5,3%	-10,5%	-15,8%	-21,1%	
214	Industrielle Keramikherstellung und -verarbeitung	14	-7,1%	-14,3%	-21,4%	-28,6%	
221	Kunststoff- und Kautschukherstellung und -verarbeitung	275	-2,2%	-6,2%	-9,8%	-13,5%	
222	Farb- und Lacktechnik	76	-5,3%	-11,8%	-17,1%	-22,4%	
223	Holzbe- und -verarbeitung	317	-4,7%	-11,0%	-16,1%	-20,2%	
231	Papier- und Verpackungstechnik	80	-6,3%	-12,5%	-18,8%	-23,8%	
232	Technische Mediengestaltung	205	+0,0%	-0,5%	+0,0%	+1,0%	
233	Fototechnik und Fotografie	37	-2,7%	-8,1%	-10,8%	-13,5%	
234	Drucktechnik und -weiterverarbeitung, Buchbinderei	96	-9,4%	-18,8%	-27,1%	-34,4%	
241	Metallerzeugung	102	-6,9%	-13,7%	-19,6%	-24,5%	
242	Metallbearbeitung	704	-5,5%	-12,4%	-18,3%	-23,6%	
243	Metalloberflächenbehandlung	47	-6,4%	-12,8%	-19,1%	-23,4%	

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
244	Metallbau und Schweißtechnik	407	-5,2%	-11,5%	-17,2%	-21,9%	
245	Feinwerk- und Werkzeugtechnik	157	-5,7%	-12,1%	-17,8%	-22,3%	
251	Maschinenbau- und Betriebstechnik	1.415	-3,9%	-9,0%	-13,6%	-17,5%	
252	Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik	609	-4,1%	-9,5%	-14,3%	-18,2%	
261	Mechatronik und Automatisierungs-technik	118	-0,8%	-2,5%	-4,2%	-4,2%	
262	Energietechnik	501	-4,2%	-9,8%	-14,2%	-18,0%	
263	Elektrotechnik	573	-3,3%	-8,0%	-11,9%	-14,8%	
271	Technische Forschung und Entwick-lung	294	+0,7%	+0,0%	+0,0%	+1,4%	
272	Technisches Zeichnen, Konstruktion und Modellbau	261	-2,3%	-6,5%	-10,0%	-12,6%	
273	Technische Produktionsplanung und -steuerung	619	-3,4%	-8,4%	-12,9%	-16,8%	
281	Textiltechnik und -produktion	48	-12,5%	-20,8%	-25,0%	-29,2%	
282	Textilverarbeitung	102	-7,8%	-12,7%	-17,6%	-21,6%	
283	Leder-, Pelzherstellung und -verarbeitung	31	-9,7%	-12,9%	-16,1%	-19,4%	
291	Getränkeherstellung	17	+0,0%	-11,8%	-17,6%	-23,5%	
292	Lebensmittel- und Genussmittelherstel-lung	391	-2,6%	-7,7%	-12,8%	-17,9%	
293	Speisenzubereitung	646	+10,5%	+9,6%	+8,2%	+6,8%	
311	Bauplanung und -überwachung, Archi-tектур	345	+0,0%	-3,2%	-4,6%	-5,5%	
312	Vermessung und Kartografie	49	-2,0%	-6,1%	-8,2%	-8,2%	
321	Hochbau	584	-4,8%	-11,1%	-15,6%	-19,2%	
322	Tiefbau	157	-3,8%	-8,9%	-12,7%	-15,3%	
331	Bodenverlegung	106	-3,8%	-10,4%	-14,2%	-17,0%	
332	Maler- und Lackierer-, Stuckateurar-beiten, Bauwerksabdichtung, Holz- und Bautenschutz	249	-5,2%	-11,6%	-16,5%	-20,5%	

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
333	Aus- und Trockenbau, Isolierung, Zimmerei, Glaserei, Rollladen- und Jalousiebau	253	-4,3%	-10,3%	-14,6%	-17,8%	
341	Gebäudetechnik	542	+0,6%	-0,9%	-2,0%	-2,6%	
342	Klempnerei, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik	312	-5,4%	-12,2%	-17,3%	-21,5%	
343	Ver- und Entsorgung	199	-2,0%	-5,5%	-8,5%	-10,6%	
411	Mathematik und Statistik	11	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	
412	Biologie	61	+1,6%	+4,9%	+9,8%	+18,0%	
413	Chemie	312	-5,8%	-10,9%	-14,7%	-17,6%	
414	Physik	51	-2,0%	-5,9%	-7,8%	-7,8%	
421	Geologie, Geografie und Meteorologie	17	+5,9%	+5,9%	+5,9%	+11,8%	
422	Umweltschutztechnik	29	+3,4%	+6,9%	+10,3%	+13,8%	
423	Umweltmanagement und -beratung	24	+0,0%	+4,2%	+4,2%	+8,3%	
431	Informatik	282	+2,8%	+3,9%	+6,0%	+8,5%	
432	IT-Systemanalyse, IT-Anwendungsberatung und IT-Vertrieb	218	+11,9%	+22,5%	+34,9%	+47,7%	
433	IT-Netzwerktechnik, IT-Koordination, IT-Administration und IT-Organisation	177	+2,8%	+4,0%	+5,6%	+7,3%	
434	Softwareentwicklung und Programmierung	262	+6,5%	+11,5%	+17,2%	+23,7%	
511	Technischer Betrieb des Eisenbahn-, Luft- und Schiffsverkehrs	24	+0,0%	-4,2%	-4,2%	-8,3%	
512	Überwachung und Wartung der Verkehrsinfrastruktur	48	+0,0%	-2,1%	-4,2%	-4,2%	
513	Lagerwirtschaft, Post und Zustellung, Güterumschlag	2.243	-0,8%	-2,9%	-4,6%	-6,0%	
514	Servicekräfte im Personenverkehr	66	+9,1%	+12,1%	+15,2%	+18,2%	
515	Überwachung und Steuerung des Verkehrsbetriebs	71	-1,4%	-5,6%	-7,0%	-9,9%	
516	Kaufleute - Verkehr und Logistik	233	+1,3%	+0,4%	-0,4%	-0,4%	
521	Fahrzeugführung im Straßenverkehr	1.234	-0,3%	-1,9%	-2,7%	-3,1%	
522	Fahrzeugführung im Eisenbahnverkehr	37	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
523	Fahrzeugführung im Flugverkehr	13	+15,4%	+30,8%	+38,5%	+46,2%	
524	Fahrzeugführung im Schiffsverkehr	10	+10,0%	+10,0%	+10,0%	+10,0%	+10,0%
525	Bau- und Transportgeräteführung	164	-1,8%	-6,1%	-8,5%	-10,4%	
531	Objekt-, Personen-, Brandschutz, Arbeitssicherheit	477	+4,2%	+5,5%	+7,3%	+10,5%	
532	Polizeivollzugs- und Kriminaldienst, Gerichts- und Justizvollzug	321	+3,7%	+3,4%	+2,8%	+4,0%	
533	Gewerbe- und Gesundheitsaufsicht, Desinfektion	21	+0,0%	+4,8%	+4,8%	+9,5%	
541	Reinigung	1.655	+2,5%	+3,3%	+4,7%	+6,9%	
611	Einkauf und Vertrieb	827	-1,9%	-5,1%	-7,7%	-10,0%	
612	Handel	220	-5,0%	-10,5%	-15,5%	-20,5%	
613	Immobilienwirtschaft und Facility-Management	162	+0,0%	-0,6%	-1,2%	-1,9%	
621	Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	1.837	-0,5%	-3,0%	-5,6%	-8,5%	
622	Verkauf von Bekleidung, Elektronik, Kraftfahrzeugen und Hartwaren	580	-1,0%	-3,6%	-6,0%	-8,8%	
623	Verkauf von Lebensmitteln	495	-0,6%	-4,6%	-8,9%	-13,1%	
624	Verkauf von drogerie- und apothekenüblichen Waren, Sanitäts- und Medizinbedarf	125	-1,6%	-4,8%	-8,0%	-11,2%	
625	Buch-, Kunst-, Antiquitäten- und Musikfachhandel	27	-7,4%	-14,8%	-22,2%	-29,6%	
631	Tourismus und Sport	108	+11,1%	+11,1%	+12,0%	+12,0%	
632	Hotellerie	232	+19,0%	+24,6%	+29,3%	+34,1%	
633	Gastronomie	986	+14,9%	+15,5%	+15,4%	+15,3%	
634	Veranstaltungsservice und -management	68	+7,4%	+10,3%	+13,2%	+14,7%	
711	Geschäftsführung und Vorstand	598	+1,5%	+1,0%	+1,2%	+2,2%	
712	Angehörige gesetzgebender Körperschaften und leitende Bedienstete von Interessenorganisationen	38	-2,6%	-7,9%	-10,5%	-10,5%	

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
713	Unternehmensorganisation und -strategie	1.847	-0,8%	-2,7%	-3,8%	-4,3%	
714	Büro und Sekretariat	2.708	-4,8%	-10,6%	-15,2%	-19,1%	
715	Personalwesen und -dienstleistung	256	+0,8%	+0,0%	-0,4%	-0,4%	
721	Versicherungs- und Finanzdienstleistungen	875	-1,8%	-4,3%	-5,8%	-7,0%	
722	Rechnungswesen, Controlling und Revision	531	-1,9%	-4,7%	-7,0%	-9,0%	
723	Steuerberatung	252	+0,8%	+1,2%	+2,0%	+3,6%	
731	Rechtsberatung, -sprechung und -ordnung	348	+0,0%	-0,3%	+0,3%	+2,0%	
732	Verwaltung	1.420	-1,3%	-4,8%	-7,4%	-8,5%	
733	Medien-, Dokumentations- und Informationsdienste	68	+1,5%	-1,5%	-2,9%	-2,9%	
811	Arzt- und Praxishilfe	799	-0,3%	+1,1%	+3,0%	+3,9%	
812	Medizinisches Laboratorium	114	-2,6%	-2,6%	-2,6%	-3,5%	
813	Gesundheits- und Krankenpflege, Rettungsdienst und Geburtshilfe	1.282	+1,2%	+4,2%	+7,3%	+11,7%	
814	Human- und Zahnmedizin	489	+0,4%	+2,9%	+5,9%	+8,2%	
815	Tiermedizin und Tierheilkunde	33	+0,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	
816	Psychologie und Psychotherapie	100	+10,0%	+22,0%	+36,0%	+49,0%	
817	Nicht ärztliche Therapie und Heilkunde	419	+0,5%	+2,1%	+4,3%	+6,2%	
818	Pharmazie	186	+7,5%	+10,8%	+11,8%	+15,1%	
821	Altenpflege	755	+4,4%	+11,4%	+16,0%	+28,6%	
822	Ernährungs- und Gesundheitsberatung, Wellness	34	+0,0%	+0,0%	+2,9%	+5,9%	
823	Körperpflege	365	+3,6%	+6,8%	+9,9%	+11,8%	
824	Bestattungswesen	23	+0,0%	+0,0%	-4,3%	-4,3%	
825	Medizin-, Orthopädie- und Rehatechnik	162	+1,2%	+1,9%	+3,1%	+4,9%	
831	Erziehung, Sozialarbeit, Heilerziehungspflege	1.799	+3,6%	+6,1%	+7,5%	+8,8%	

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd.	Änderung gegenüber 2020				
			2020	2025	2030	2035	2040
832	Hauswirtschaft und Verbraucherberatung	453	+7,3%	+15,0%	+23,6%	+32,0%	
833	Theologie und Gemeindearbeit	75	-5,3%	-12,0%	-18,7%	-25,3%	
841	Lehrtätigkeit an allgemeinbildenden Schulen	811	+4,3%	+8,6%	+9,6%	+8,5%	
842	Lehrtätigkeit für berufsbildende Fächer, betriebliche Ausbildung und Betriebspädagogik	201	-3,5%	-4,0%	-0,5%	-0,5%	
843	Lehr- und Forschungstätigkeit an Hochschulen	349	+13,8%	+15,8%	+20,3%	+20,3%	
844	Lehrtätigkeit an außerschulischen Bildungseinrichtungen	208	+10,1%	+13,5%	+18,3%	+21,6%	
845	Fahr- und Sportunterricht an außerschulischen Bildungseinrichtungen	159	+9,4%	+12,6%	+17,6%	+22,0%	
911	Sprach- und Literaturwissenschaften	3	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+33,3%	
912	Geisteswissenschaften	11	+0,0%	-9,1%	-9,1%	-18,2%	
913	Gesellschaftswissenschaften	108	+1,9%	+0,9%	+0,9%	+0,9%	
914	Wirtschaftswissenschaften	12	-8,3%	-8,3%	-16,7%	-16,7%	
921	Werbung und Marketing	529	+4,5%	+7,9%	+12,3%	+18,0%	
922	Öffentlichkeitsarbeit	36	+2,8%	+2,8%	+2,8%	+5,6%	
923	Verlags- und Medienwirtschaft	43	-2,3%	-2,3%	-2,3%	-2,3%	
924	Redaktion und Journalismus	151	+0,0%	-1,3%	-2,6%	-3,3%	
931	Produkt- und Industriedesign	20	+5,0%	+5,0%	+10,0%	+15,0%	
932	Innenarchitektur, visuelles Marketing, Raumausstattung	51	-2,0%	-7,8%	-11,8%	-13,7%	
933	Kunsthandwerk und bildende Kunst	54	+11,1%	+13,0%	+16,7%	+20,4%	
934	Kunsthandwerkliche Keramik- und Glasgestaltung	8	-12,5%	-25,0%	-37,5%	-50,0%	
935	Kunsthandwerkliche Metallgestaltung	24	+0,0%	-4,2%	-8,3%	-12,5%	
936	Musikinstrumentenbau	7	+0,0%	+0,0%	+0,0%	-14,3%	
941	Musik-, Gesangs- und Dirigententätigkeiten	69	+10,1%	+10,1%	+11,6%	+11,6%	
942	Schauspiel, Tanz und Bewegungskunst	40	+10,0%	+10,0%	+10,0%	+10,0%	

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	in Tsd. 2020	Änderung gegenüber 2020				
			2025	2030	2035	2040	
943	Moderation und Unterhaltung	25	+4,0%	+0,0%	-4,0%	-8,0%	
944	Theater-, Film- und Fernsehproduktion	36	+13,9%	+27,8%	+38,9%	+52,8%	
945	Veranstaltungs-, Kamera- und Ton-technik	69	+7,2%	+13,0%	+18,8%	+26,1%	
946	Bühnen- und Kostümbildnerei, Requisite	11	+18,2%	+18,2%	+27,3%	+36,4%	
947	Museumstechnik und -management	17	+5,9%	+5,9%	+5,9%	+5,9%	
01	Angehörige der regulären Streitkräfte (Berufshauptgruppe)	176	-2,3%	-9,7%	-17,6%	-23,9%	
	Insgesamt	45.052	+0,2%	-1,4%	-2,5%	-3,0%	
	Änderung gegenüber 2020 in Tsd.						
	Insgesamt		+88	-610	-1.106	-1.371	
	Änderung in Berufsgruppen mit Zu-wachs gegenüber 2020		+810	+1.189	+1.570	+2.041	
	Änderung in Berufsgruppen mit Re-duktion gegenüber 2020		-722	-1.799	-2.676	-3.412	
	Anzahl Berufsgruppen ... gegenüber 2020						
	... mit Zuwachs ...		53	50	51	55	
	... mit Reduktionen ...		67	79	82	82	
	... ohne Änderung ...		21	12	8	4	

Anmerkung: dargestellt sind ausschließlich Projektionsergebnisse, auch für 2020.

Quelle: MAIER et al. [2020], <http://www.qube-data.de>, eigene Berechnungen.

**Tabelle 44: Änderung der Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Berufshauptgruppe und Geschlecht bis 2040**

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Änderung gegenüber 2020			
		Männer		Frauen	
		2030	2040	2030	2040
<b>1</b>	<b>Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau</b>	-15.928	-28.740	-6.421	-11.586
11	Land-, Tier-, Forstwirtschaftsberufe	-11.464	-21.329	-4.632	-8.618
12	Gartenbauberufe, Floristik	-1.381	-1.381	-556	-556
<b>2</b>	<b>Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung</b>	-452.042	-911.179	-95.109	-191.711
21	Rohstoffgewinnung und -aufbereit., Glas- und Keramikherst. und -verarb.	-16.556	-30.855	-2.200	-4.101
22	Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	-41.218	-79.732	-7.306	-14.132
23	Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	-12.983	-22.314	-7.672	-13.187
24	Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	-133.554	-251.668	-12.678	-23.890
25	Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	-153.504	-297.881	-17.112	-33.207
26	Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	-77.315	-142.008	-9.120	-16.752
27	Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe	-52.618	-101.423	-13.914	-26.821
28	Textil- und Lederberufe	-7.855	-12.219	-9.353	-14.548
29	Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	+13.642	-13.642	+9.645	-9.645
<b>3</b>	<b>Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik</b>	-143.928	-253.394	-10.902	-19.194
31	Bauplanung, Architektur, Vermessungsberufe	-7.196	-11.822	-3.080	-5.061
32	Hoch- und Tiefbauberufe	-65.292	-112.402	-1.059	-1.823
33	(Innen-) Ausbauberufe	-39.468	-68.172	-1.450	-2.505
34	Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	-36.450	-68.850	-1.699	-3.209
<b>4</b>	<b>Naturwissenschaft, Geografie und Informatik</b>	+49.247	+119.809	+15.187	+36.948

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Änderung gegenüber 2020			
		Männer		Frauen	
		2030	2040	2030	2040
41	Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe	-20.355	-28.736	-12.287	-17.346
42	Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe	+1.887	+3.774	+831	+1.663
43	Informatik- und andere IKT-Berufe	+79.328	+166.017	+16.070	+33.631
<b>5</b>	<b>Verkehr, Logistik, Schutz und Sicherheit</b>	+1.415	-1.415	+634	-634
51	Verkehr, Logistik (außer Fahrzeugführung)	-35.975	-78.333	-13.613	-29.640
52	Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	-20.784	-35.629	-1.253	-2.147
53	Schutz-, Sicherheits-, Überwachungsberufe	+12.156	+20.793	+4.511	+7.716
54	Reinigungsberufe	+7.277	+15.216	+21.473	+44.899
<b>6</b>	<b>Kaufmännische Dienstleistungen, Warenhandel, Vertrieb, Hotel und Tourismus</b>	+14.081	-45.962	+22.323	-72.867
61	Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	-35.061	-69.590	-22.042	-43.751
62	Verkaufsberufe	-21.890	-58.705	-54.346	-145.746
63	Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	+41.659	+46.025	+77.103	+85.184
<b>7</b>	<b>Unternehmensorganisation, Buchhaltung, Recht und Verwaltung</b>	-124.569	-215.847	-231.606	-401.318
71	Berufe in Unternehmensführung und -organisation	-97.023	-170.808	-168.300	-296.288
72	Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	-19.439	-32.398	-30.897	-51.496
73	Berufe in Recht und Verwaltung	-10.710	-17.748	-32.957	-54.615
<b>8</b>	<b>Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung</b>	+85.566	+163.340	+324.819	+620.058
81	Medizinische Gesundheitsberufe	+17.892	+46.027	+80.655	+207.492
82	Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperpflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	+16.883	+39.690	+65.347	+153.623

Nr.	Berufsbereich, Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Änderung gegenüber 2020			
		Männer		Frauen	
		2030	2040	2030	2040
83	Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	+22.618	+38.235	+118.280	+199.950
84	Lehrende und ausbildende Berufe	+30.151	+40.019	+36.608	+48.588
<b>9</b>	<b>Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung</b>	+23.002	+44.113	+26.114	+50.082
91	Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	-270	-540	-526	-1.052
92	Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	+14.417	+32.800	+17.332	+39.430
93	Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	+195	-195	+203	-203
94	Darstellende, unterhaltende Berufe	+9.324	+14.692	+5.068	+7.987
Änderung gegenüber 2020 in Tsd.					
Insgesamt		-650,9	-1.265,1	+25,1	+9,8
Änderung in Berufshauptgruppen mit Zuwachs gegenüber 2020		+267,4	+463,3	+453,1	+830,1
Änderung in Berufshauptgruppen mit Reduktion gegenüber 2020		-918,4	-1.728,4	-428,1	-820,3
Anzahl Berufshauptgruppen ... gegenüber 2020					
... mit Zuwachs ...		13	11	13	11
... mit Reduktionen ...		23	25	23	25

Anmerkung: ohne Militär; es wurde angenommen, dass die von MAIER et al. [2020] projizierten Änderungen des Arbeitskräftebedarfs differenziert nach Berufshauptgruppe (vgl. Tabelle 42) auch für die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten gelten und die Geschlechterverteilung bei den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten differenziert nach Berufshauptgruppe gegenüber Dezember 2020 (Bundesagentur für Arbeit [2021a]; vgl. Tabelle 41) unverändert bleibt.

Quelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit [2021a], MAIER et al. [2020], <http://www.qube-data.de>, eigene Berechnungen.

## Anhang zu Kapitel 3

**Tabelle 45: Gütergruppen der Input-Output-Tabelle**

Lfd. Nr.	CPA	Gütergruppe
1	01	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Dienstleistungen
2	02	Forstwirtschaftliche Erzeugnisse und Dienstleistungen
3	03	Fische, Fischerei- und Aquakulturerzeugnisse
4	05	Kohle
5	06	Erdöl und Erdgas
6	07-09	Erze, Steine u. Erden, sonst. Bergbauerzeugn. u. Dienstleistg.
7	10-12	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke, Tabakerzeugnisse
8	13-15	Textilien, Bekleidung, Leder- und Lederwaren
9	16	Holz, Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)
10	17	Papier, Pappe und Waren daraus
11	18	Druckereileistungen, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger
12	19	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse
13	20	Chemische Erzeugnisse
14	21	Pharmazeutische Erzeugnisse
15	22	Gummi- und Kunststoffwaren
16	23.1	Glas und Glaswaren
17	23.2-23.9	Keramik, bearbeitete Steine und Erden
18	24.1-24.3	Roheisen, Stahl, Erzeugn. der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl
19	24.4	NE-Metalle und Halbzeug daraus
20	24.5	Gießereierzeugnisse
21	25	Metallerzeugnisse
22	26	DV-geräte, elektron. u. optische Erzeugnisse
23	27	Elektrische Ausrüstungen
24	28	Maschinen
25	29	Kraftwagen und Kraftwagenteile
26	30	Sonstige Fahrzeuge
27	31-32	Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren
28	33	Reparatur, Instandh. u. Installation v. Maschinen u. Ausrüstungen

Lfd. Nr.	CPA	Gütergruppe
29	35.1, 35.3	Elektr. Strom, Dienstleistg. der Elektriz.-, Wärme- und Kälteversorg.
30	35.2	Industriell erzeugte Gase, Dienstleistungen der Gasversorgung
31	36	Wasser, Dienstleistungen der Wasserversorgung
32	37-39	Dienstleistg. d. Abwasser-, Abfallentsorg. u. Rückgewinnung
33	41	Hochbauarbeiten
34	42	Tiefbauarbeiten
35	43	Vorb. Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten
36	45	Handelsleistungen mit Kfz, Instandhaltung und Reparatur an Kfz
37	46	Großhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz)
38	47	Einzelhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz)
39	49	Landverkehrs- und Transportleistungen in Rohrfernleitungen
40	50	Schifffahrtsleistungen
41	51	Luftfahrtleistungen
42	52	Lagereileistungen, sonstige Dienstleistungen für den Verkehr
43	53	Post-, Kurier- und Expressdienstleistungen
44	55-56	Beherbergungs- und Gastronomiedienstleistungen
45	58	Dienstleistungen des Verlagswesen
46	59-60	Dienstleistg. v. audiovisuell. Medien, Musikverlag. u. RF-veranstaltern
47	61	Telekommunikationsdienstleistungen
48	62-63	IT- und Informationsdienstleistungen
49	64	Finanzdienstleistungen
50	65	Dienstleistungen von Versicherungen und Pensionskassen
51	66	Mit Finanz- und Versicherungsdienstleistg. verbundene Dienstleistg.
52	68	Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens
53	69-70	Dienstleistungen der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung
54	71	Dienstleistg. v. Architektur- u. Ing.büros u.d..techn.,physik.U.suchung
55	72	Forschungs- und Entwicklungsleistungen
56	73	Werbe- und Marktforschungsleistungen
57	74-75	Sonst. freiberuf., wiss., techn. u. veterinärmedizinische Dienstleistg.

Lfd. Nr.	CPA	Gütergruppe
58	77	Dienstleistungen der Vermietung von beweglichen Sachen
59	78	Dienstleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften
60	79	Dienstleistg. v. Reisebüros, -veranstaltern u. sonst. Reservierungen
61	80-82	Wach-, Sicherheitsdienstl., wirtschaftl. Dienstleistg. a.n.g
62	84.1-84.2	Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung und der Verteidigung
63	84.3	Dienstleistungen der Sozialversicherung
64	85	Erziehungs- und Unterrichtsdienstleistungen
65	86	Dienstleistungen des Gesundheitswesens
66	87-88	Dienstleistungen von Heimen und des Sozialwesens
67	90-92	Dienstleistungen der Kunst, der Kultur und des Glücksspiels
68	93	Dienstleistungen des Sports, der Unterhaltung und der Erholung
69	94	Dienstleistg. d. Interessenvertr., kirchl. u. sonst. Vereinigungen
70	95	Reparaturarbeiten an DV-Geräten und Gebrauchsgütern
71	96	Sonstige überwiegend persönliche Dienstleistungen
72	97-98	Waren und Dienstleistungen privater Haushalte o.a.S.

Anmerkung: CPA: Classification of Products by Activity (europäische Güterklassifikation).

Quelle: Statistisches Bundesamt [2021a, S. 32].

**ISSN 2509-2359**