

CLIMATE CHANGE

12/2020

Treibhausgasminderungs- wirkung des Klimaschutzprogramms 2030 (Kurzbericht)

CLIMATE CHANGE 12/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums
für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3718 41 002 0

FB000160/ZW

Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 (Kurzbericht)

Teilbericht des Projektes „THG-Projektion:
Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der
EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019
(„Politikszenerien IX“)

von

Ralph O. Harthan, Julia Repenning, Ruth Blanck, Hannes
Böttcher, Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz,
Klaus Hennenberg, Wolfram Jörß, Sylvie Ludig, Felix Chr.
Matthes, Roman Mendelewitsch, Lorenz Moosmann, Mar-
garethe Scheffler, Kirsten Wiegmann
Öko-Institut, Berlin

Heike Brugger, Tobias Fleiter, Tim Mandel, Matthias Reh-
feldt
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
(Fraunhofer ISI), Karlsruhe

Jan Steinbach
Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES
GmbH), Karlsruhe

Berechnungen für das Referenzszenario zu den Quellgrup-
pen Landwirtschaft und LULUCF wurden durch das Thünen-
Institut erstellt. Autoren: Andreas Gensior, Bernhard Oster-
burg, Claus Rösemann, Wolfgang Stümer, Bärbel Tiemeyer

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Natur-
schutz und nukleare Sicherheit sowie des Umweltbun-
desamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

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

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Schicklerstr. 5-7
10179 Berlin

Abschlussdatum:

März 2020

Redaktion:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Arbeitsgruppe IK III 1 Grundsatzangelegenheiten des Klimaschutzes, Klimaschutzplan
Johanna Wehkamp

Umweltbundesamt
Fachgebiet V 1.2 Strategien und Szenarien zu Klimaschutz und Energie
Kai Wehmann

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, März 2020

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

Kurzbeschreibung: Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030

Die Bundesregierung hat am 9. Oktober 2019 das Klimaschutzprogramm 2030 beschlossen, um die Klimaziele für das Jahr 2030 zu erreichen. Am 18. Dezember 2019 beschloss der Vermittlungsausschuss zwischen Bundestag und Bundesrat einige Ergänzung bzw. Änderungen am Klimaschutzprogramm 2030. Am 15. Januar 2020 einigten sich die Bundesregierung und die Ministerpräsidenten der vom Kohleausstieg betroffenen Länder auf einen Stilllegungspfad für Kohlekraftwerke. Am 29. Januar 2020 verabschiedete die Bundesregierung den Entwurf zum Kohleausstiegsgesetz.

Im Rahmen dieses Projektes wird eine Gesamtabstschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 vorgenommen. Die Methodik entspricht dem Projektionsbericht 2019. Die Ergebnisse werden in der Systematik des Klimaschutzplans 2050 dargestellt.

Basis der Abschätzung sind die Parametrisierungen der Maßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030, wie vom Bundeskabinett am 9. Oktober 2019 und vom Vermittlungsausschuss am 18. Dezember 2019 beschlossen. Weitere Annahmen wurden mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und dem Umweltbundesamt abgestimmt. Dieser Kurzbericht stellt die Hauptergebnisse und wesentliche Treiber dar.

Dieser Bericht umfasst zwei Szenarien:

- a) REF: Referenzszenario zum Klimaschutzprogramm 2030 mit zum Teil aktualisierten Daten und harmonisierten Annahmen gegenüber dem Projektionsbericht 2019.
- b) KSPr (Jan 2020): Gesamtabstschätzung des Klimaschutzprogramms 2030 (Stand 29. Januar 2020).

Für die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und internationalen Luft- und Seeverkehr) wird im Referenzszenario (REF) im Vergleich zu 1990 bis 2030 eine Minderung von 41,2 % erreicht, bis 2035 von 44,1 %. Für das Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)) ergibt sich bis 2030 eine Minderung von 51,0 % und bis 2035 von 59,6 %.

Insgesamt gilt zu berücksichtigen, dass die Abschätzung der Minderungswirkung bis zum Jahr 2030 mit großen Unsicherheiten behaftet ist und kein Anspruch auf eine exakte Vorhersage bestehen kann. Die vorliegende Studie beschreibt ein mögliches, wahrscheinliches Szenario der Emissionsentwicklung in Deutschland.

Abstract: Greenhouse gas reduction effects of the Climate Action Programme 2030

On 9 October 2019, the German Government agreed on the Climate Action Programme 2030, pursuing the objective to meet the 2030 climate targets. On 18 December 2019, the mediation committee between the Federal Parliament and the Federal Council adopted additions and amendments to the Climate Action Programme 2030. On 15 January 2020, the Federal Government and the prime ministers of the Länder which are affected by the coal phase-out agreed on a decommissioning schedule for coal power plants. On 29 January 2020, the Federal Government adopted the draft Coal Phase-out Act.

In this project, the overall greenhouse gas mitigation effect of the Climate Action Programme 2030 is estimated. The methodology corresponds to the German Projection Report 2019. The results are presented in the structure of the Climate Action Plan 2050.

The assessment is based on the parametrization of the measures that form part of the Climate Action Programme 2030 as adopted by the Federal Cabinet on 9 October 2019 and the mediation committee on 18 December 2019. Further assumptions were agreed with the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and the German Environment Agency. This short report presents key results and main drivers.

This report comprises two scenarios:

- c) REF: Reference scenario of the Climate Action Programme 2030 with partly updated data and harmonized assumptions in comparison to the Projection Report 2019.
- d) KSPr (Jan 2020): Comprehensive assessment of the Climate Action Programme 2030 (as of 29 January 2020).

For total greenhouse gas emissions (excluding land use, land-use change and forestry as well as international aviation and maritime transport) in the reference scenario (REF), the reduction compared to 1990 amounts to 41.2 % by 2030 and to 44.1 % by 2035. In the scenario Climate Action Programme 2030 (KSPr (Jan 2020)), a total reduction of 51.0 % by 2030 and of 59.6 % by 2035 is estimated.

Overall, it needs to be taken into consideration that the assessment of the mitigation effect up to 2030 involves large uncertainties and does not claim to represent an exact prediction. The present study describes a possible, likely scenario of the emissions development in Germany.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	12
Wesentliche Ergebnisse	13
1 Einleitung.....	17
2 Ergebnisse – Treibhausgasemissionen	20
2.1 Gesamtergebnisse.....	20
2.1.1 Referenzszenario	20
2.1.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	22
2.1.3 Vergleich der Ergebnisse der Szenarien mit den Klimaschutzzielen	25
2.2 Sektor Energiewirtschaft.....	29
2.2.1 Referenzszenario	29
2.2.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	32
2.3 Sektor Industrie.....	37
2.3.1 Referenzszenario	37
2.3.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	39
2.4 Sektor Gebäude	41
2.4.1 Referenzszenario	41
2.4.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	42
2.5 Sektor Verkehr	43
2.5.1 Referenzszenario	43
2.5.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	45
2.6 Sektor Landwirtschaft	46
2.6.1 Referenzszenario	46
2.6.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	47
2.7 Sektor LULUCF.....	48
2.7.1 Referenzszenario	48
2.7.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	49
2.8 Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges	50
2.8.1 Referenzszenario	50
2.8.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030	51
3 Ergebnisse – Primär- und Endenergieverbrauch.....	53

3.1	Primärenergieverbrauch	53
3.1.1	Referenzszenario	53
3.1.2	Szenario Klimaschutzprogramm 2030	54
3.2	Endenergieverbrauch.....	55
3.2.1	Referenzszenario	55
3.2.2	Szenario Klimaschutzprogramm 2030	56
	Literaturverzeichnis.....	58
A	Anhang	61
A.1	Emissionsentwicklung in den Jahren 2017 bis 2019 sowie Sensitivitätsrechnung für 2020	61
A.2	Abschätzung der Treibhausgas-Minderung durch Windenergieanlagen an Land.....	66
A.3	Weitere Ergebnistabellen	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	13
Abbildung 2:	Treibhausgasemissionen im ESR-Sektor.....	16
Abbildung 3:	Trend der Treibhausgasemissionen, 1990-2030	28
Abbildung 4:	Bruttostromverbrauch im Referenzszenario (REF), 1990-2035	30
Abbildung 5:	Bruttostromerzeugung im Referenzszenario (REF), 1990-2035	31
Abbildung 6:	Bruttostromverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035	33
Abbildung 7:	Bruttostromerzeugung im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035	34
Abbildung 8:	Primärenergieverbrauch im Referenzszenario (REF), 2008-2035	53
Abbildung 9:	Primärenergieverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035	54
Abbildung 10:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Referenzszenario (REF), 2008-2035	55
Abbildung 11:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)) im Vergleich zu den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Mio. t CO ₂ e	14
Tabelle 2:	Vergleich der Szenarienergebnisse für das Jahr 2030 mit den Klimaschutzzielen im Bundes-Klimaschutzgesetz in Mio. t CO ₂ e	15
Tabelle 3:	Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes	18
Tabelle 4:	Vorläufige Zielwerte aus der EU-Klimaschutzverordnung (Effort Sharing Regulation)	18
Tabelle 5:	Treibhausgasemissionen im Referenzszenario (REF), 1990-2035	21
Tabelle 6:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und im ESR-Sektor im Referenzszenario (REF), 1990-2035	22
Tabelle 7:	Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	23
Tabelle 8:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und im ESR-Sektor im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	25
Tabelle 9:	Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)) im Vergleich zu den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Mio. t CO ₂ e	26
Tabelle 10:	Vergleich der Szenarienergebnisse für das Jahr 2030 mit den Klimaschutzzielen im Bundes-Klimaschutzgesetz	27
Tabelle 11:	Vergleich der Szenarienergebnisse mit den Klimaschutzzielen für den ESR-Bereich	29
Tabelle 12:	Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft im Referenzszenario (REF), 1990-2035.....	32
Tabelle 13:	Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	37
Tabelle 14:	Treibhausgasemissionen der Industrie im Referenzszenario (REF), 1990-2035	38
Tabelle 15:	Treibhausgasemissionen der Industrie im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	40
Tabelle 16:	Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors im Referenzszenario (REF), 1990-2035.....	41
Tabelle 17:	Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	43
Tabelle 18:	Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors im Referenzszenario (REF), 1990-2035.....	44
Tabelle 19:	Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035	45

Tabelle 20:	Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 1990-2035	46
Tabelle 21:	Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft im Referenzszenario (REF), 1990-2035.....	47
Tabelle 22:	Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 1990-2035	48
Tabelle 23:	Treibhausgasemissionen des LULUCF-Sektors im Referenzszenario (REF), 1990-2035.....	49
Tabelle 24:	Treibhausgasemissionen des LULUCF-Sektors im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 1990-2035	50
Tabelle 25:	Treibhausgasemissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges im Referenzszenario (REF), 1990-2035	51
Tabelle 26:	Treibhausgasemissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 1990-2035	52
Tabelle A - 1:	Angesetzte Brennstoffpreise der Sensitivitätsrechnung für den Stromsektor, 2020	63
Tabelle A - 2:	Sensitivitätsrechnung für den Stromsektor, 2020.....	63
Tabelle A - 3:	Bruttostromverbrauch im Referenzszenario (REF), 1990-2035	67
Tabelle A - 4:	Bruttostromerzeugung im Referenzszenario (REF), 1990-2035	68
Tabelle A - 5:	Bruttostromverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 2008-2035	69
Tabelle A - 6:	Bruttostromerzeugung im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 2008-2035	70
Tabelle A - 7:	Primärenergieverbrauch im Referenzszenario (REF), 2008-2035	71
Tabelle A - 8:	Primärenergieverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 2008-2035	72
Tabelle A - 9:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Referenzszenario (REF), 2016-2035	73
Tabelle A - 10:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 2016-2035	74
Tabelle A - 11:	Vergleich der Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes und der berechneten Emissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr) in den Sektoren Gebäude und Verkehr	75

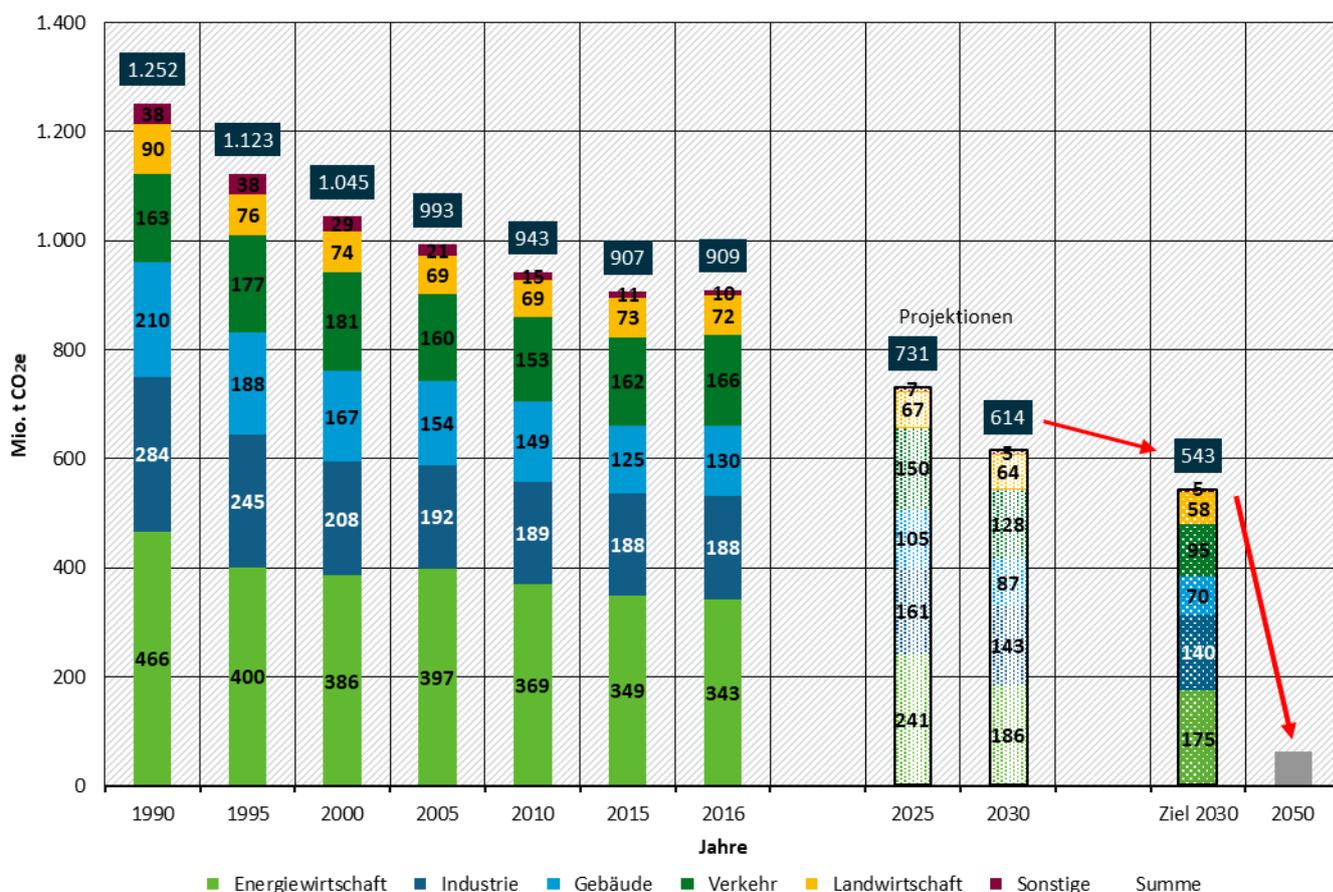
Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CRF	Common Reporting Format
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
ESD	Effort Sharing Decision
ESR	Effort Sharing Regulation
ETS	Emissions Trading Scheme
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
HFKW	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
KSG	Klimaschutzgesetz
KSP	Klimaschutzplan 2050
KSPr (Jan 2020)	Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (Stand Januar 2020)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
KWSB	Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LULUCF	Land use, land-use change and forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
MAC	Mobil air conditioning (Mobile Klimaanlage)
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MWMS	Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario
NECP	National Energy and Climate Plan (Nationaler Energie- und Klimaplan)
NEZB	Niedrigstenergiegebäudestandard
NF₃	Stickstofftrifluorid
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
ODS	Ozone-depleting substances (ozonschädigende Substanzen)
PB	Projektionsbericht
REF	Referenzszenario zum Klimaschutzprogramm 2030 (Stand 2019)
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt

Wesentliche Ergebnisse

Abbildung 1 stellt die projizierte Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 im Zeitverlauf dar. Daraus wird ersichtlich, dass auf Basis des aktuellen Klimaschutzprogramms die Klimaschutzziele für die Jahre 2025 und 2030 nicht eingehalten werden. Bis 2030 wird eine Minderung von ca. 51 % erreicht. Damit wird das Gesamtminde-
rungsziel aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz um 70,7 Mio. t CO₂e verfehlt.¹ Besonders groß sind die Zielverfehlungen in den Sektoren Verkehr und Gebäude², gefolgt von der Energiewirtschaft.

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035



Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES

Tabelle 1 vergleicht die Treibhausgasemissionen der einzelnen Sektoren im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)) mit den jeweiligen Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Darstellung zeigt, dass die emissionsintensiven Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude und Verkehr bereits im Jahr 2025 zum Teil deutlich die Ziele verfehlen.

¹ Grundsätzlich gilt zu berücksichtigen, dass die Abschätzung der Minderungswirkung eines politischen Programms im Bereich der Klimaschutzpolitik immer mit großen Unsicherheiten verbunden ist, da Annahmen über volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen und zur Umsetzung der Maßnahmen getroffen werden müssen. Es kann sich nicht um eine exakte Prognose, sondern lediglich um die Beschreibung eines möglichen und nach derzeitigen Kenntnissen, wahrscheinlichen Szenarios, handeln. Die entsprechenden Unsicherheiten sind also bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

² Vgl. Tabelle A - 11.

In der Energiewirtschaft beträgt die Zielverfehlung trotz Reduktion der am Markt befindlichen Braun- und Steinkohlekapazitäten und der Einhaltung der angestrebten Ausbauziele Erneuerbarer Energien rund 11 Mio. t CO₂e im Jahr 2030. Die Zielverfehlung im Gebäudesektor und im Verkehrssektor steigt zwischen 2025 und 2030 an (in 2025 beträgt diese 11 Mio. t CO₂e bzw. 27 Mio. t CO₂e, im Jahr 2030 beträgt sie 17 Mio. t CO₂e bzw. 33 Mio. t CO₂e). Damit wird deutlich, dass trotz der Einführung einer CO₂-Bepreisung durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) die beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen in diesen beiden Sektoren nicht ausreichen, um die jeweiligen Ziele zu erfüllen.

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)) im Vergleich zu den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Mio. t CO₂e

	2025			2030		
	Ziel ³	KSPr (Jan 2020)	Differenz	Ziel	KSPr (Jan 2020)	Differenz
Energiewirtschaft	Nicht festgelegt			175,0	186,1	11,1
Industrie	163,0	160,7	-2,3	140,0	143,4	3,4
Gebäude	94,0	105,4	11,4	70,0	86,8	16,8
Verkehr	123,0	150,0	27,0	95,0	128,4	33,4
Landwirtschaft	64,0	67,1	3,1	58,0	64,1	6,1
Abfallwirtschaft und Sonstiges	7,0	6,6	-0,4	5,0	4,9	-0,1
Gesamt	Nicht festgelegt			543,0	613,7	70,7
LULUCF		9,5		0,0	16,3	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, (Bundesregierung 2019b)

Fett markierte Zahlen stellen eine Zielverfehlung dar, *kursiv* markierte Zahlen eine Übererfüllung der Ziele.

Tabelle 2 vergleicht die Ergebnisse des Referenzszenarios und des Szenarios Klimaschutzprogramm 2030 mit den jeweiligen Sektorzielen für das Jahr 2030.

In der Energiewirtschaft sind die Minderungen der Treibhausgasemissionen vor allem auf die Reduktion der installierten Leistung von Braun- und Steinkohle am Markt zurückzuführen. Der weitere Ausbau der Erneuerbaren Energien⁴ ist ein weiterer wichtiger Treiber der Emissionsreduktion. Gegenüber der Referenzentwicklung werden durch das Klimaschutzprogramm 2030 im Jahr 2030 83 Mio. t CO₂e eingespart.

In der Industrie werden die Treibhausgasminderungen durch Effizienzmaßnahmen, Brennstoffwechsel, Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft, CO₂-arme Produktionsverfahren und CO₂-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung sowie die Einführung des CO₂-Preises im Nicht-ETS-Bereich bestimmt. Gegenüber der Referenzentwicklung werden durch das Klimaschutzprogramm 2030 im Jahr 2030 9 Mio. t CO₂e eingespart.

³ Für das Jahr 2025 wurde im Bundes-Klimaschutzgesetz keine zulässige Jahresemissionsmenge für die Energiewirtschaft festgelegt. Damit kann auch das Gesamtziel für dieses Jahr nicht ausgewiesen werden.

⁴ Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Zielverfehlung auch höher ausfallen kann, sofern das geplante Ziel des Ausbaus Erneuerbarer Energien nicht erreicht wird. Siehe Anhang A.2 für eine entsprechende Einschätzung.

Im Bereich Gebäude sinken die Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 um 4 Mio. t CO₂e gegenüber der Referenzentwicklung. Hier wirkt ein Bündel von Maßnahmen, die vor allem auf eine Verbesserung der Förderung im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Wärme abzielen, sowie die Einführung des CO₂-Preises.

Im Verkehrssektor ist der größte Treiber für die Minderung die (auf EU-Ebene bereits beschlossene) Fortschreibung der CO₂-Standards von Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und Lkw, an zweiter Stelle folgt der beschlossene CO₂-Preis. Gegenüber der Referenzentwicklung werden im Verkehrssektor durch das Klimaschutzprogramm 2030 im Jahr 2030 insgesamt 22 Mio. t CO₂e eingespart.

Im Sektor Landwirtschaft prägen sinkende Stickstoffüberschüsse sowie die Förderung des Ökolandbaus die Treibhausgasminderungen. Gegenüber der Referenzentwicklung werden durch das Klimaschutzprogramm 2030 im Jahr 2030 4 Mio. t CO₂e eingespart.

Im Sektor Abfallwirtschaft werden die Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 um 1 Mio. t CO₂e reduziert, vor allem durch die Ausweitung der Deponiebelüftung und die Optimierung der Gasfassung. Damit erreicht der Bereich das Sektorziel.

Im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) werden die Treibhausgasemissionen durch das Klimapaket um 3 Mio. t CO₂e durch Maßnahmen zum Humuserhalt und zum Schutz von Moorböden gegenüber der Referenzentwicklung gemindert.

Tabelle 2: Vergleich der Szenarienergebnisse für das Jahr 2030 mit den Klimaschutzzielen im Bundes-Klimaschutzgesetz in Mio. t CO₂e

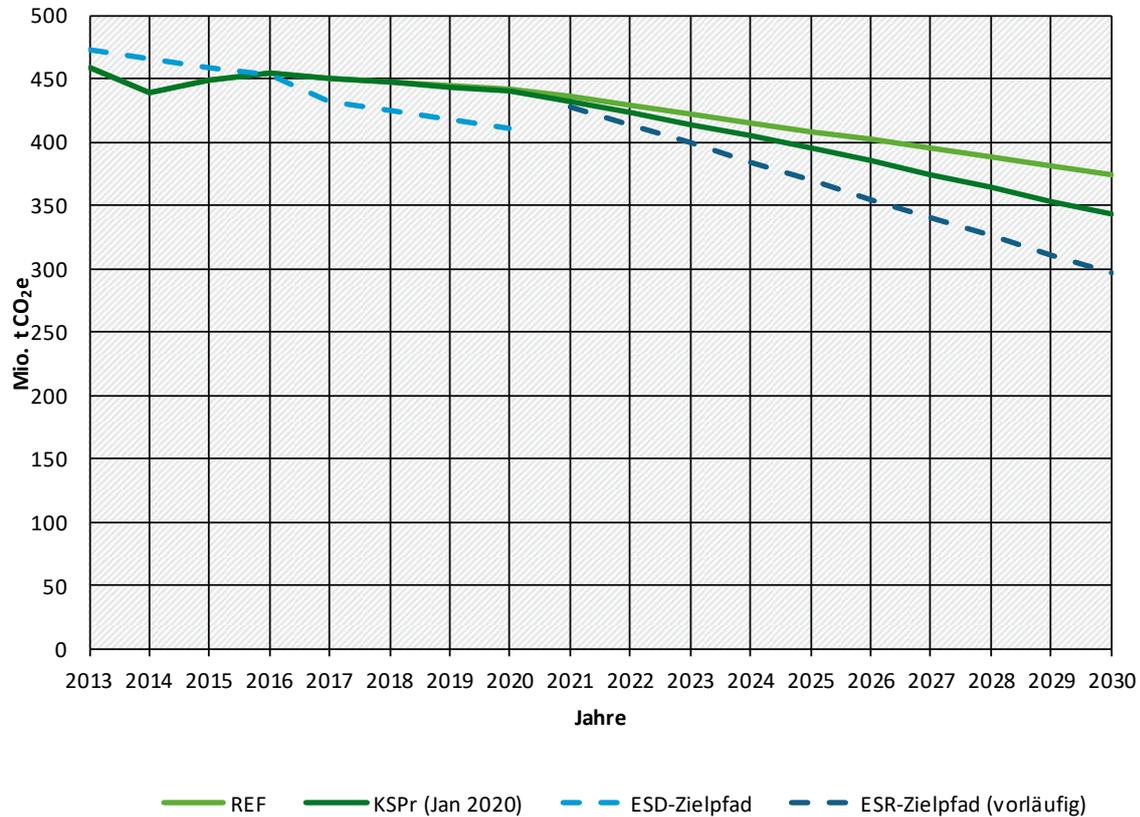
Sektor	Sektorziele ⁵	Geschätzte Treibhausgasemissionen 2030		
		Referenzentwicklung	KSPR (Jan 2020)	Zusätzliche Einsparung ggü. Referenzentwicklung
Mio. t CO ₂ e				
Energiewirtschaft	175,0	269,0	186,1	82,9
Industrie	140,0	152,4	143,4	9,0
Gebäude	70,0	91,2	86,8	4,4
Verkehr	95,0	150,3	128,4	21,9
Landwirtschaft	58,0	67,8	64,1	3,7
Abfallwirtschaft und Sonstiges	5,0	5,8	4,9	0,9
Gesamt	543,0	736,5	613,7	122,8
LULUCF	0,0	19,0	16,3	2,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

⁵ Laut dem Entwurf des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Bundesregierung 2019b), Anlage 2 zu § 4, entsprechen die zulässigen Jahremissionsmengen dem unteren Rand der Sektorziele für 2030. Für den LULUCF-Sektor werden im Bundes-Klimaschutzgesetz keine Sektorziele ausgewiesen. Laut Klimaschutzplan soll im LULUCF-Sektor die Senkenleistung jedoch bis 2030 erhalten bleiben. Das Bundes-Klimaschutzgesetz weist ebenfalls auf Maßnahmen zum Erhalt der Nettosenke hin (§9 (1)). Aus diesen Vorgaben ergibt sich eine Nettoemission für den Sektor von höchstens 0 Mio. t CO₂e.

Mit Blick auf die Ziele im Rahmen der EU-Klimaschutzverordnung (ESR) zeigt sich, dass der Zielpfad mit dem Klimaschutzprogramm 2030 nicht erreicht wird (Abbildung 2). Zu Beginn der Dekade (2020) ergibt sich, noch unter der bis 2020 geltenden Effort Sharing Decision (ESD), eine Zielverfehlung von insgesamt 30 Mio. t CO₂e. Im Verlauf der Dekade wächst die Zielverfehlung deutlich an und erreicht im Jahr 2030 46 Mio. t CO₂e.

Abbildung 2: Treibhausgasemissionen im ESR-Sektor



Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, Berechnungen Öko-Institut basierend auf den Emissionen der Sektoren, die im Rahmen der Effort Sharing Decision (ESD) für 2016, 2017 und 2018 erfasst werden, siehe auch (Öko-Institut 2019).

1 Einleitung

Mit dem Klimaschutzprogramm 2030 hat die Bundesregierung am 9. Oktober 2019 ein umfassendes Programm zur Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland beschlossen. Kernelemente sind das Bundes-Klimaschutzgesetz, das Brennstoffemissionshandelsgesetz, das Gesetz zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030 in Steuerrecht, der ausgehandelte Kompromiss zum Kohleausstieg und ein umfangreiches Investitionsprogramm.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 auf Grundlage der beschlossenen Einzelmaßnahmen sowie der übergreifenden Maßnahmen abzuschätzen und in Relation zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung für 2030 zu setzen. Mit einem umfassenden Modellierungsvorhaben wurde die Abschätzung der Minderungswirkung der beschlossenen Maßnahmen in den einzelnen Emissionssektoren – Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges – in ein übergeordnetes Modell integriert. Hierdurch konnten Wechselwirkungen zwischen den Sektoren berücksichtigt werden, die in einer rein sektoralen Analyse nicht systematisch erfasst werden können.

Mit dem Vorhaben „Politiksznarien IX“ kommt das Umweltbundesamt (UBA) damit dem im Klimaschutzprogramm 2030 formulierten Arbeitsauftrag (Bundesregierung 2019c) nach, die Minderungswirkung des Programms unter der Berücksichtigung entsprechender Wechselwirkungen abzuschätzen. Entsprechend dem dort formulierten Auftrag hat parallel zu der vorliegenden Abschätzung ein Forschungskonsortium im Auftrag des BMWi eine vergleichbare Abschätzung vorgelegt.

Grundsätzlich gilt zu berücksichtigen, dass entsprechende Szenarien immer mit Unsicherheiten verbunden sind, da weitreichende Annahmen zu vielen wesentlichen Parametern getroffen werden müssen. Daher müssen die Ergebnisse als ein mögliches und unter jetzigen Voraussetzungen wahrscheinliches Szenario betrachtet werden.

Die Begutachtung der Minderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 erfolgt jeweils vor dem Hintergrund der durch die Bundesregierung und den Bundestag beschlossenen, rechtlich verbindlichen, Ziele zur Minderung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030. Hierfür sind vor allem (i) das Bundes-Klimaschutzgesetz und (ii) die EU-Klimaschutzverordnung (sog. Effort Sharing Regulation) maßgeblich.

Auf nationaler Ebene wurde mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (Bundesregierung 2019b) ein rechtlich verbindlicher Rahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele bis zum Jahr 2030 geschaffen. Demnach müssen die Treibhausgasemissionen insgesamt bis 2030 auf 543 Mio. t CO₂e sinken (dies entspricht einer Minderung um rund 56 Prozent ggü. 1990). Im Jahr 2018 wurden in Deutschland insgesamt 858,4 Mio. t CO₂e emittiert (UBA 2020). Zum einen wird mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz das Ziel der langfristigen Treibhausgasneutralität im Jahr 2050 in § 1 des Gesetzes angestrebt. In § 3 wird dem Zieljahr 2030 eine Minderungsquote der Treibhausgasemissionen von mindestens 55 Prozent zugeordnet. Ergänzend sind in Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes für die Jahre zwischen 2020 und 2030 jahresspezifische, maximal zulässige Emissionsmengen für die einzelnen Sektoren vorgegeben (Tabelle 3). Zeichnet sich ab, dass die in einem Jahr maximal zulässige Emissionsmenge in einem Sektor nicht eingehalten werden kann, so muss die Bundesregierung Sofortprogramme vorlegen, die die Einhaltung der Ziele in den Folgejahren ermöglichen. In jedem Klimaschutzprogramm legt die Bundesregierung unter Berücksichtigung des jeweils aktuellen Klimaschutz-Projektionsberichts fest, welche Maßnahmen sie zur Erreichung der Klimaschutzziele in den einzelnen Sektoren ergreifen wird.

Tabelle 3: Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes

Jahresemissionsmenge (Mio. t CO ₂ e)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Energiewirtschaft	280		257								175
Industrie	186	182	177	172	168	163	158	154	149	145	140
Gebäude	118	113	108	103	99	94	89	84	80	75	70
Verkehr	150	145	139	134	128	123	117	112	106	101	95
Landwirtschaft	70	68	67	66	65	64	63	61	60	59	58
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	9	8	8	7	7	7	6	6	5	5
Summe	813										543

Quelle: (Bundesregierung 2019b), Anlage 2 zu §4

Mit der EU-Klimaschutzverordnung ist die Bundesregierung verpflichtet, die Treibhausgasemissionen in den Sektoren, die nicht vom europäischen Emissionshandel umfasst sind, bis 2030 um 38 Prozent gegenüber dem Jahr 2005 zu mindern. Konkret beinhaltet dieses Ziel die Emissionen in den Sektoren Gebäude, Verkehr (bis auf internationalen Luft- und Seeverkehr), Landwirtschaft sowie Teile der Industrie und des Energiesektors. Mit der EU-Klimaschutzverordnung wird auch ein jahresscharfer Minderungspfad für diese Sektoren für die Jahre zwischen 2021 und 2030 vorgegeben, der aus den Emissionen in den Vorjahren ermittelt und im Herbst 2020 von der Europäischen Kommission offiziell für jedes Land per Durchführungsrechtsakt erlassen wird. Tabelle 4 zeigt die vorläufigen Zielwerte für die Gesamtbudgets der zulässigen Treibhausgasemissionen jenseits des EU-Emissionshandels. Verfehlen die Mitgliedsstaaten ihre jahresscharfen Ziele im Rahmen der EU-Klimaschutzverordnung und können sie die Mehremissionen nicht durch eigene stärkere Emissionsminderungen in früheren Jahren ausgleichen, müssen sie Emissionszuweisungen von anderen Mitgliedsstaaten erwerben.

Tabelle 4: Vorläufige Zielwerte aus der EU-Klimaschutzverordnung (Effort Sharing Regulation)

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Mio. t CO ₂ e									
428,3	413,6	398,9	384,3	369,6	354,9	340,2	325,6	310,9	296,2

Quelle: Berechnungen Öko-Institut basierend auf den Emissionen der Sektoren, die im Rahmen der Effort Sharing Decision (ESD) für 2016, 2017 und 2018 erfasst werden, siehe auch (Öko-Institut 2019).

In der nachfolgenden Abschätzung wurden sämtliche Beschlüsse der Bundesregierung mit Bezug zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030, die bis zum 29. Januar 2020 getroffen wurden, berücksichtigt. Das bedeutet, dass sowohl die im Vermittlungsausschuss zwischen Bund und Ländern am 18. Dezember 2019 erzielte Einigung (unter anderem zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030 im Steuerrecht und zum Brennstoffemissionshandelsgesetz, hier insbesondere zum CO₂-Preisfad), als auch der Kabinettsbeschluss vom 29. Januar 2020 zum Zeitplan für die Stilllegung von Braun- und Steinkohle-Kraftwerken in der Berechnung berücksichtigt worden sind.

Soweit Beschlüsse zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms 2030 noch ausstehen, wurden Annahmen zur Parametrisierung (d.h. von welcher Umsetzung der Maßnahmen vor dem Hintergrund der jetzigen Beschlusslage und der bisherigen Umsetzung vergleichbarer Maßnahmen auszugehen ist) getroffen und mit dem Umweltbundesamt und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit abgestimmt. Diese Annahmen werden erwartungsgemäß im Laufe der Umsetzung durch konkrete Beschlüsse ersetzt werden, die von diesen Annahmen abweichen können bzw. werden.

Methodisch folgt der Bericht dem Ansatz des Projektionsberichts der Bundesregierung, der bereits im Mai 2019 veröffentlicht wurde und eine detaillierte Beschreibung der hier verwendeten Modelle enthält (Bundesregierung 2019d). Für die Berechnungen wurden im Zuge der Vorarbeiten zum Projektionsbericht ressortabgestimmte Rahmendaten verwendet. Im Gegensatz zum Projektionsbericht 2019 werden alle Ergebnisse gemäß der Sektorsystematik des Klimaschutzplans 2050 dargestellt⁶, um die Lesbarkeit mit Bezug auf die Klimaschutzziele zu vereinfachen.

Dieser Kurzbericht umfasst die Hauptergebnisse der Berechnungen sowie eine kurze Darstellung der wesentlichen Treiber der Ergebnisse. Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens und der Annahmen sowie der Ergebnisse (einschließlich einer Abschätzung der Minderungswirkung der Einzelmaßnahmen) wird in der Langfassung zu dieser Modellierung dokumentiert, deren Veröffentlichung für Frühjahr 2020 vorgesehen ist.

In diesem Bericht werden zwei Szenarien dargestellt:

- ▶ **Referenzszenario („REF“):** Stellt das Referenzszenario zum Klimaschutzprogramm 2030 dar. In einigen Sektoren basiert das Referenzszenario auf den Modellierungen des Mit-Maßnahmen-Szenarios des Projektionsberichts 2019 (MMS). Für die Sektoren Verkehr, Gebäude, Energiewirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges wurde das Referenzszenario auf Grund von zum Teil aktualisiert vorliegenden Daten, die in der Modellierung berücksichtigt wurden, neu berechnet. Zum anderen wurden Annahmen mit anderen vorliegenden Abschätzungen abgeglichen und harmonisiert. Die Änderungen gegenüber dem MMS des Projektionsberichts 2019 werden in den jeweiligen Kapiteln zu den einzelnen Sektoren kurz beschrieben. Dieses Szenario ist notwendig, um die zusätzliche Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 in Bezug zu einer aktuellen Referenz zu setzen.
- ▶ **Szenario Klimaschutzprogramm 2030 („KSP (Jan 2020)“):** Stellt die Abschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 mit Stand vom 29. Januar 2020 dar.

Kapitel 2 stellt die Ergebnisse des Referenzszenarios und des Szenarios Klimaschutzprogramm 2030 in Bezug auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen sowie zum Bruttostromverbrauch und zur Stromnachfrage dar.

Kapitel 3 stellt die Entwicklung der Primär und Endenergieverbräuche dar.

Der Anhang enthält weiterführende Informationen zu den Kapiteln zu den einzelnen Sektoren.

⁶ Eine Erläuterung der methodischen Unterschiede zwischen der internationalen Inventarstruktur und der Abgrenzung der Sektoren gemäß dem Klimaschutzplan kann (UBA 2019c) entnommen werden.

2 Ergebnisse – Treibhausgasemissionen

2.1 Gesamtergebnisse

Dieser Abschnitt stellt die Gesamtergebnisse des Referenzszenarios sowie des Szenarios Klimaschutzprogramm 2030 dar. Eine detaillierte Diskussion der Sektorergebnisse kann den Abschnitten 2.2 bis 2.8 entnommen werden.

2.1.1 Referenzszenario

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Referenzszenario (REF) in der Aggregation des Klimaschutzplans ist in Tabelle 5 dargestellt. Dabei handelt es sich um die neu angepasste Referenzentwicklung, die die Wirkung der im Projektionsbericht 2019 (PB 2019) berücksichtigten Maßnahmen sowie einige Aktualisierungen (siehe Kapitel zu den einzelnen Sektoren) abbildet. Die Modellierung zeigt eine gesamte Treibhausgasminderung von rund 32,3 % auf 847 Mio. t CO₂e im Jahr 2020, womit das Ziel der Bundesregierung (Minderung von 40 %) nicht erreicht wird. Die Modellierung wurde auf Basis der Inventarzahlen des Jahres 2016 durchgeführt.⁷ Verfügbare Zahlen für die Jahre 2017 und 2018 zeigen jedoch eine deutliche Abnahme der Treibhausgasemissionen, sodass im Jahr 2018 bereits eine Minderung von 31,4 % auf 858 Mio. t CO₂e erreicht wurde. Erste Abschätzung für das Jahr 2019 zeigen eine Fortsetzung dieses Trends, womit eine Minderung von 35,2 % auf 811 Mio. t CO₂e (Agora Energiewende 2020) bzw. um 35,7 % auf rund 805 Mio. t CO₂e (Abschätzung des Öko-Instituts auf Basis der Zahlen der AG Energiebilanzen (AGEB 2020)) erreicht wird und damit deutlich über der in diesem Bericht für das Jahr 2020 abgeschätzten Minderung (32,3 %) liegt. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den insgesamt sehr deutlichen Reduktionen der Treibhausgasemissionen in den Jahren 2017 bis 2019 wesentlich um Sonder- und Stichtagseffekte (windreiche Jahre, höhere Preise für CO₂-Emissionsberechtigungen, höhere Steinkohlepreise, niedrigere Erdgaspreise) handelt, sodass eine Fortschreibung auf das Jahr 2020 und darüber hinaus daraus nicht abgeleitet werden kann. Anhang A.1 enthält eine Diskussion dieser Effekte in den Jahren 2017 bis 2019, die zu diesen starken Emissionseinsparungen geführt haben.

Für das Jahr 2030 wird im Referenzszenario eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 41,2 % auf 737 Mio. t CO₂e projiziert, womit das Klimaziel der Bundesregierung von mindestens 55 % Minderung gegenüber 1990 deutlich verfehlt wird. Im Jahr 2035 beträgt die Minderung 44,1 %.

Neben den Sektoren, die ein Minderungsziel im Rahmen des Bundes-Klimaschutzgesetzes haben, sind auch die Emissionen aus dem LULUCF-Sektor und aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr dargestellt. Im LULUCF-Sektor nimmt die Senkenfunktion im Lauf der Zeit deutlich ab. Somit stellt dieser Sektor ab dem Jahr 2020 eine Treibhausgasquelle dar. Die Emissionen aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr nehmen im Projektionszeitraum ebenfalls zu.

⁷ Dies war der aktuelle Inventarstand zum Zeitpunkt der Abstimmung (August 2018) der Rahmendaten.

Tabelle 5: Treibhausgasemissionen im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Sektor	1990	2005	2010	2016	2017*	2018*	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e									
Energiewirtschaft	466,4	397,4	369,4	343,4	322,5	305,1	300,7	305,2	269,0	262,5
Industrie	283,8	191,6	188,5	188,2	197,7	194,9	176,2	164,5	152,4	147,9
Gebäude	209,7	153,9	148,5	130,0	123,4	116,6	125,1	106,8	91,2	77,5
Verkehr	163,3	159,9	153,0	165,6	167,9	162,3	166,4	159,5	150,3	138,6
Landwirtschaft	90,0	69,2	68,7	71,8	72,6	69,8	69,7	68,4	67,8	67,8
Abfallwirtschaft und Sonstiges	38,4	21,2	14,6	10,5	10,2	9,7	8,7	7,0	5,8	5,0
Gesamt	1251,6	993,1	942,8	909,4	894,3	858,4	846,8	811,4	736,5	699,3
<i>Änderung ggü. 1990 in %</i>	<i>0,0</i>	<i>-20,7</i>	<i>-24,7</i>	<i>-27,3</i>	<i>-28,8</i>	<i>-31,4</i>	<i>-32,3</i>	<i>-35,2</i>	<i>-41,2</i>	<i>-44,1</i>
Nachrichtlich:										
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	-26,6	-26,9	29,5	11,3	19,0	18,8
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	34,7	36,0	34,7	34,6	36,4	37,8	38,3
Gesamt inkl. nachrichtlich	1238,9	1011,2	958,9	929,7	903,6	866,1	910,8	858,8	792,9	756,4
<i>Änderung ggü. 1990 in %</i>	<i>0,0</i>	<i>-18,4</i>	<i>-22,6</i>	<i>-25,0</i>	<i>-27,1</i>	<i>-30,1</i>	<i>-26,5</i>	<i>-30,7</i>	<i>-36,0</i>	<i>-38,9</i>

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI und IREES

Aufgrund laufender methodischer Verbesserungen und Aktualisierungen im deutschen Treibhausgasinventar können die historischen Werte von den Angaben im *Klimaschutzplan 2050* abweichen.

*Werte für 2017 und 2018 aus aktuellen Inventardaten (UBA 2020).

Tabelle 6 beschreibt die Emissionsentwicklung im Referenzszenario in den vom Emissionshandel (ETS) und in den von der Effort Sharing Regulation (ESR)⁸ erfassten Sektoren. Bis 2030 gehen die Emissionen von stationären Anlagen im Emissionshandel um rund 31 % gegenüber dem Jahr 2005 zurück. Die Emissionen in den von der ESR erfassten Sektoren sinken bis 2030 um rund 21 % gegenüber 2005.⁹ Das Minderungsziel im Rahmen der ESR ist derzeit -38 % bis 2030 gegenüber 2005. Dies entspricht einer Reduktion der Gesamtemissionen auf 296 Mio. t CO₂e. in 2030. Damit wird das ESR-Minderungsziel im Referenzszenario deutlich verfehlt.

Die Berechnung der Emissionen der stationären Anlagen, die vom Emissionshandel erfasst werden, erfolgt, indem für die einzelnen CRF-Kategorien¹⁰ abgeschätzt wird, zu welchem Anteil sie

⁸ Bis 2020 Effort Sharing Decision (ESD).

⁹ Die Minderungsverpflichtungen der Mitgliedstaaten wurden in absolute Emissionsbudgets umgerechnet, um den seit 2008 erfolgten Veränderungen in der Zuordnung der verschiedenen Quellbereiche zum Geltungsbereich der Effort Sharing-Entscheidung und methodischen Änderungen bei der Inventarberechnung gerecht zu werden.

¹⁰ Beim sogenannten Common Reporting Format (CRF) handelt es sich um die offiziellen Inventarberichtstabellen unter der Klimarahmenkonvention. Die CRF-Kategorien weichen von den Sektorkategorien des Klimaschutzplans ab.

vom Emissionshandel erfasst werden. Hier treten naturgemäß Ungenauigkeiten auf, da die Modellierung nicht emissionshandelspflichtige Anlagen abbildet, sondern Inventarkategorien.

Tabelle 6: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und im ESR-Sektor im Referenzszenario (REF), 1990-2035

	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e						
Emissionen stationärer ETS ^a	518,9	478,9	452,9	402,4	400,7	360,0	350,5
Emissionen ESR ^b	471,6	461,3	454,1	442,1	408,5	374,2	346,6
Summe ESR und stationärer ETS ^c	990,5	940,2	907,0	844,6	809,1	734,3	697,1
Stationärer ETS ggü. 2005	0,0 %	-7,7 %	-12,7 %	-22,5 %	-22,8 %	-30,6 %	-32,5 %
ESR ggü. 2005	0,0 %	-2,2 %	-3,7 %	-6,2 %	-13,4 %	-20,6 %	-26,5 %
Zielpfad ESD; ESR (vorläufig)	---	---	452,4	410,9	369,6	296,2	---
Abweichung vom Zielpfad*	---	---	1,7	31,2	38,9	78,0	---
NF ₃ (außerhalb von ESD und ETS) ^d	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), (European Environment Agency (EEA) 2019), (European Commission (EC) 2013), (European Commission (EC) 2017), (Öko-Institut 2019), Berechnungen des Öko-Institut

Anmerkung: ^a Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. ^b Jahre 2005-2016 aus Konsistenzgründen (Vergleich mit Daten für 2020-2035) mit CRF-Kategorien berechnet; in der ab 2013 gültigen ETS-Abgrenzung. Entspricht nicht dem Basiswert für das Minderungsziel unter der Effort Sharing-Entscheidung. ^c Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs sowie sämtliche NF₃-Emissionen weder vom stationären ETS noch ESD erfasst sind (jedoch von der ESR). ^d NF₃-Emissionen sind von ESR, jedoch nicht von ESD und ETS erfasst.

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

2.1.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Tabelle 7 stellt die Entwicklung der absoluten Treibhausgasemissionen durch die Wirkung des Klimaschutzprogramms 2030 (KSPr (Jan 2020)) dar. Die Berechnungen ergeben eine gesamte Treibhausgasminderung von rund 32,6 % auf 844 Mio. t CO₂e im Jahr 2020, womit das Ziel der Bundesregierung (Minderung von 40 %) nicht erreicht wird.¹¹ Im Jahr 2030 ergibt sich eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 51,0 % auf 614 Mio. t CO₂e, womit das Klimaziel der Bundesregierung von einer Minderung um mindestens 55 % (543 Mio. t CO₂e (56,6 Prozent) gemäß Anlage 2 zu § 4 des Bundes-Klimaschutzgesetzes) verfehlt wird. Im Jahr 2035 bewirkt das Klimaschutzprogramm eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 59,6 % auf 506 Mio. t CO₂e.

Im LULUCF-Sektor nimmt die Senkenfunktion im Lauf der Zeit deutlich ab; wie im Referenzszenario stellt dieser Sektor ab dem Jahr 2020 eine Treibhausgasquelle dar. Die Emissionen aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr nehmen im Projektionszeitraum ebenfalls zu.

¹¹ Bezüglich der Emissionsentwicklung in den Jahren 2017-2019 sei auf Abschnitt 2.1.1 verwiesen.

Tabelle 7: Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Sektor	1990	2005	2010	2016	2017*	2018*	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e									
Energiewirtschaft	466,4	397,4	369,4	343,4	322,5	305,1	299,5	241,0	186,1	132,1
Industrie	283,8	191,6	188,5	188,2	197,7	194,9	174,9	160,7	143,4	133,0
Gebäude	209,7	153,9	148,5	130,0	123,4	116,6	124,8	105,4	86,8	69,3
Verkehr	163,3	159,9	153,0	165,6	167,9	162,3	166,3	150,0	128,4	103,7
Landwirtschaft	90,0	69,2	68,7	71,8	72,6	69,8	69,6	67,1	64,1	64,0
Abfallwirtschaft und Sonstiges	38,4	21,2	14,6	10,5	10,2	9,7	8,6	6,6	4,9	3,8
Gesamt	1251,6	993,1	942,8	909,4	894,3	858,4	843,9	730,9	613,7	505,9
<i>Änderung ggü. 1990 in %</i>	<i>0,0</i>	<i>-20,7</i>	<i>-24,7</i>	<i>-27,3</i>	<i>-28,8</i>	<i>-31,5</i>	<i>-32,6</i>	<i>-41,6</i>	<i>-51,0</i>	<i>-59,6</i>
Nachrichtlich										
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	-26,6	-26,9	29,5	9,5	16,3	15,2
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	34,7	36,0	34,7	34,5	35,9	37,3	37,6
Änderung ggü.1990										
Gesamt inkl. nachrichtlich	1238,9	1011,2	958,9	929,7	903,6	866,1	907,9	776,4	667,3	558,7
<i>Änderung ggü. 1990 in %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-18,4</i>	<i>-22,6</i>	<i>-25,0</i>	<i>-27,1</i>	<i>-30,1</i>	<i>-26,7</i>	<i>-37,3</i>	<i>-46,1</i>	<i>-54,9</i>

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI und IREES

Aufgrund laufender methodischer Verbesserungen und Aktualisierungen im deutschen Treibhausgasinventar können die historischen Werte von den Angaben im *Klimaschutzplan 2050* abweichen.

*Werte für 2017 und 2018 aus aktuellen Inventardaten (UBA 2020).

Tabelle 8 beschreibt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 in den vom Emissionshandel (ETS) und in den von der Effort Sharing Regulation (ESR) erfassten Sektoren. Bis 2030 gehen die Emissionen von stationären Anlagen im Emissionshandel um 48 % gegenüber dem Jahr 2005 zurück. Die Emissionen in den von der ESR erfassten Sektoren sinken bis 2030 um 27 % gegenüber 2005 auf 343 Mio. t CO₂e, womit das Minderungsziel (-38 % bzw. 296 Mio. t CO₂e) wie im Referenzszenario deutlich verfehlt wird.

Tabelle 8: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und im ESR-Sektor im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 1990-2035

	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e						
Emissionen stationärer ETS ^a	518,9	478,9	452,9	400,8	332,9	269,1	208,5
Emissionen ESR ^b	471,6	461,3	454,1	440,9	396,0	342,5	295,4
Summe ESR und stationärer ETS^c	990,5	940,2	907,0	841,7	728,9	611,6	503,8
<i>Zielpfad ESD; ESR (vorläufig)</i>	---	---	452,4	410,9	370,8	296,2	---
Abweichung vom ESD/ESR-Zielpfad*	---	---	1,7	30,0	25,2	46,3	---
<i>Stationärer ETS ggü. 2005</i>	0,0 %	-7,7 %	-12,7 %	-222,8 %	-35,9 %	-48,1 %	-59,8 %
<i>ESR ggü. 2005</i>	0,0 %	-2,2 %	-3,7 %	-6,5 %	-16,0 %	-27,4 %	-37,4 %
NF ₃ (außerhalb von ESD und ETS) ^d	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), (European Environment Agency (EEA) 2019), (European Commission (EC) 2013), (European Commission (EC) 2017), (Öko-Institut 2019), Berechnungen des Öko-Institut

Anmerkung: ^a Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. ^b Jahre 2005-2016 aus Konsistenzgründen (Vergleich mit Daten für 2020-2035) mit CRF-Kategorien berechnet; in der ab 2013 gültigen ETS-Abgrenzung. Entspricht nicht dem Basiswert für das Minderungsziel unter der Effort Sharing-Entscheidung. ^c Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs sowie sämtliche NF₃-Emissionen weder vom stationären ETS noch vom ESD erfasst sind (jedoch von ESR). ^d NF₃-Emissionen sind von ESR, jedoch nicht von ESD und ETS erfasst.

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

2.1.3 Vergleich der Ergebnisse der Szenarien mit den Klimaschutzziele

Die Treibhausgasemissionen der einzelnen Sektoren im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 mit den jeweiligen Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Bundesregierung 2019b) werden in Tabelle 9 verglichen. Fett markierte Zahlen stellen eine Zielverfehlung dar, kursiv markierte Zahlen eine Übererfüllung der Ziele.

Die Darstellung zeigt, dass die emissionsintensiven Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude und Verkehr bereits in der Dekade vor 2030¹² die maximal zulässigen Emissionsmengen pro Jahr nicht einhalten. Während in der Energiewirtschaft die Zielverfehlung vor allem durch Kohleausstieg und einen optimistisch angenommenen Ausbaupfad erneuerbarer Energien im Zeitverlauf abnimmt (von 20 Mio. t CO₂e im Jahr 2020¹³ auf 11 Mio. t CO₂e im Jahr 2030), steigt die Zielverfehlung im Gebäudesektor und im Verkehrssektor deutlich an (von 7 Mio. t CO₂e im Jahr 2020 auf 17 Mio. t CO₂e im Jahr 2030 bzw. von 16 Mio. t CO₂e auf 33 Mio. t CO₂e). Damit wird deutlich, dass trotz der Einführung einer CO₂-Bepreisung durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz

¹² Für die Energiewirtschaft gilt dies lediglich für 2020 (vgl. Tabelle 3 und Tabelle 7) sowie 2030, da ein Sektorziel für 2025 nicht festgelegt ist.

¹³ Vgl. Tabelle 3 und Tabelle 7.

(BEHG) (Bundesregierung 2019a) und eines hierfür angenommenen CO₂-Preises¹⁴ die Maßnahmen in diesen beiden Sektoren nicht ausreichen, um die jeweiligen Ziele zu erfüllen. Die Sektoren Industrie und Landwirtschaft weisen zunächst eine Übererfüllung der Ziele bis Mitte der Dekade auf, erfüllen die Ziele im Jahr 2030 jedoch gemäß den Ergebnissen ebenfalls nicht. Lediglich der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges weist eine geringfügige Übererfüllung in allen Jahren auf. Daraus wird deutlich, dass die bisher im Klimaschutzprogramm 2030 vorgesehenen Maßnahmen nicht ausreichen, um den vorgesehenen Zielpfad bis 2030 zu erreichen.

Die Abschätzung zeigt, dass bereits ab 2020 die im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebenen Emissionsziele der Sektoren Verkehr und Gebäude nicht eingehalten werden (vgl. Tabelle A - 11).

Tabelle 9: Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)) im Vergleich zu den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Mio. t CO₂e

	2025			2030		
	Ziel ¹⁵	KSPr (Jan 2020)	Differenz	Ziel	KSPr (Jan 2020)	Differenz
Energiewirtschaft	Nicht festgelegt			175,0	186,1	11,1
Industrie	163,0	160,7	-2,3	140,0	143,4	3,4
Gebäude	94,0	105,4	11,4	70,0	86,8	16,8
Verkehr	123,0	150,0	27,0	95,0	128,4	33,4
Landwirtschaft	64,0	67,1	3,1	58,0	64,1	6,1
Abfallwirtschaft und Sonstiges	7,0	6,6	-0,4	5,0	4,9	-0,1
Gesamt	Nicht festgelegt			543,0	613,7	70,7
LULUCF		9,5		0,0	16,3	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, (Bundesregierung 2019b)

Fett markierte Zahlen stellen eine Zielverfehlung dar, *kursiv* markierte Zahlen eine Übererfüllung der Ziele.

Tabelle 10 vergleicht die Ergebnisse des Referenzszenarios und des Szenarios Klimaschutzprogramm 2030 mit den jeweiligen Sektorzielen für das Jahr 2030. In der Energiewirtschaft sinken die Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 um rund 83 Mio. t CO₂e, vor allem bedingt durch den zusätzlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien¹⁶ (wie im Klimaschutzprogramm 2030 beschlossen) sowie den Kohleausstieg. Durch die Annahmen wird ein Erneuerbaren-Anteil von 65 % am Bruttostromverbrauch erreicht (Abschnitt 2.2.2). Damit reduziert sich die Verfehlung des Sektorziels im Jahr 2030 (175 Mio. t CO₂e) von 94 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) auf 11 Mio. t CO₂e (Szenario Klimaschutzprogramm 2030). In der Industrie sinken

¹⁴ Der CO₂-Preis steigt wie vom Vermittlungsausschuss beschlossen im Jahr 2026 auf 65 €/t und dann jährlich um 15 €/t auf 125 €/t im Jahr 2030 (Modellierungsannahme). Bei beiden Werten handelt es sich um nominale Werte, die für die Modellierung auf die Preisbasis 2016 umgerechnet wurden.

¹⁵ Für das Jahr 2025 wurde im Bundes-Klimaschutzgesetz keine zulässige Jahresemissionsmenge für die Energiewirtschaft festgelegt. Damit kann auch das Gesamtziel für dieses Jahr nicht ausgewiesen werden.

¹⁶ Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Zielverfehlung auch höher ausfallen kann, sofern das geplante Ziel des Ausbaus Erneuerbarer Energien nicht erreicht wird. Siehe Anhang A.2 für eine entsprechende Einschätzung.

die jährlichen Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 bis zum Jahr 2030 um 9 Mio. t CO₂e, unter anderem durch Effizienzmaßnahmen und die Einführung des CO₂-Preises im nicht-ETS-Bereich (Abschnitt 2.3.2). Damit verringert sich die Zielverfehlung von 12 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) auf 3 Mio. t CO₂e (Szenario Klimaschutzprogramm 2030) im Jahr 2030. Im Sektor Gebäude sinken die Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 um 4 Mio. t CO₂e bis 2030 durch ein Bündel von Maßnahmen, unter anderem durch die Einführung eines CO₂-Preises (Abschnitt 2.4.2). Damit sinkt die Zielverfehlung von 21 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) auf 17 Mio. t CO₂e (Szenario Klimaschutzprogramm 2030). Im Verkehrssektor werden die Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 um 22 Mio. t CO₂e gemindert, unter anderem durch die Einführung des CO₂-Preises sowie durch fortschrittliche Kraftstoffe (Abschnitt 2.5.2) und den noch nicht im Referenzszenario abgebildeten Flottengrenzwerten. Damit reduziert sich die Zielverfehlung von 55 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) auf 33 Mio. t CO₂e im Jahr 2030 (Szenario Klimaschutzprogramm 2030). Im Sektor Landwirtschaft sinken die jährlichen Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 bis 2030 um 4 Mio. t CO₂e, unter anderem durch die Reduktion der Stickstoffüberschüsse sowie der Förderung des Ökolandbaus (Abschnitt 2.6.2). Damit verringert sich die Zielverfehlung im Jahr 2030 von 10 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) auf 6 Mio. t CO₂e (Szenario Klimaschutzprogramm 2030). Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges reduziert die Treibhausgasemissionen durch das Klimaschutzprogramm 2030 um 1 Mio. t CO₂e, vor allem durch die Ausweitung der Deponiebelüftung und die Optimierung der Gasfassung (Abschnitt 2.8.2). Damit erreicht der Bereich das Sektorziel. Die gesamte Zielverfehlung beträgt 194 Mio. t CO₂e im Referenzszenario 68 Mio. t CO₂e im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (jeweils ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF)).

Tabelle 10: Vergleich der Szenarienergebnisse für das Jahr 2030 mit den Klimaschutzziele im Bundes-Klimaschutzgesetz

Sektor	Sektorziele ¹⁷	Geschätzte Treibhausgasemissionen 2030		
		Referenzentwicklung	KSPr (Jan 2020)	Zusätzliche Einsparung ggü. Referenzentwicklung
Mio. t CO ₂ e				
Energiewirtschaft	175,0	269,0	186,1	82,9
Industrie	140,0	152,4	143,4	9,0
Gebäude	70,0	91,2	86,8	4,4
Verkehr	95,0	150,3	128,4	21,9
Landwirtschaft	58,0	67,8	64,1	3,7
Abfallwirtschaft und Sonstiges	5,0	5,8	4,9	0,9
Gesamt	543,0	736,5	613,7	122,8
LULUCF	0,0	19,0	16,3	2,7

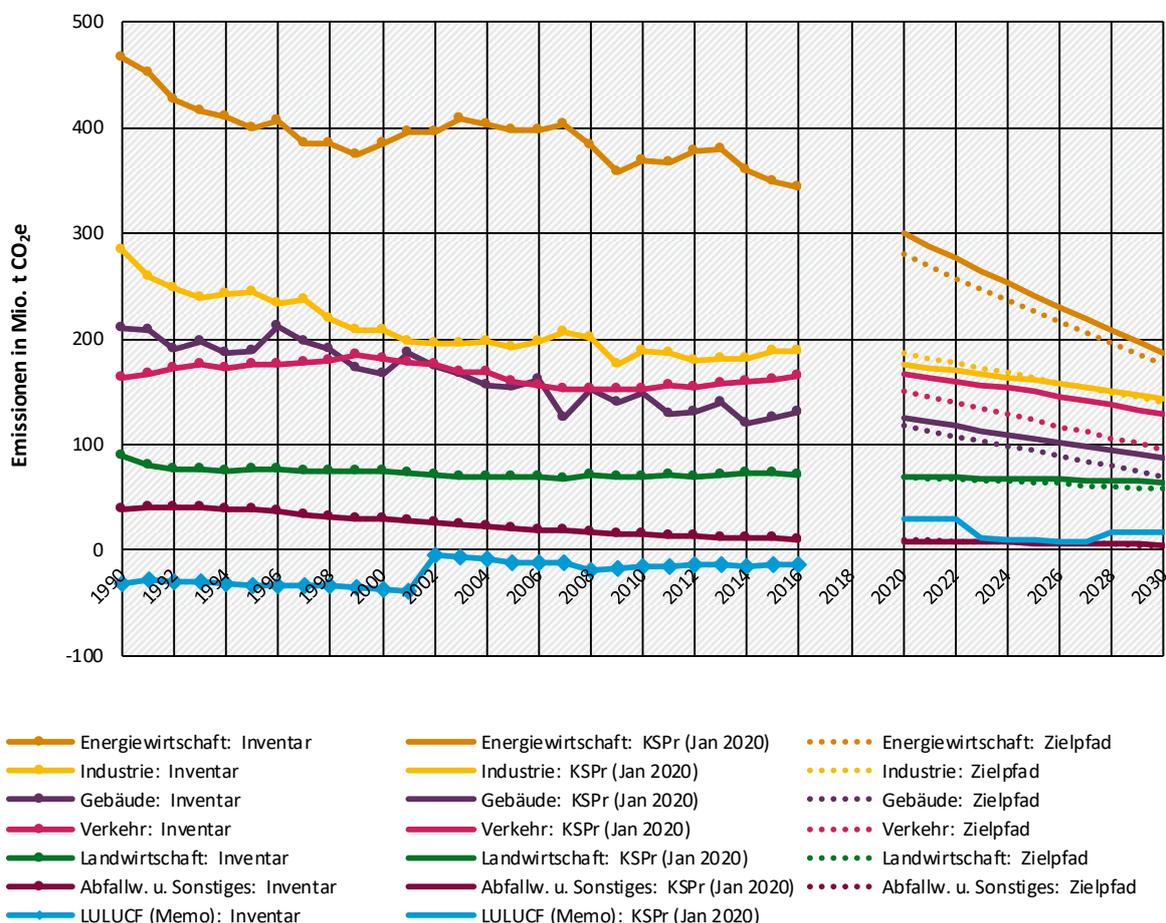
Quelle: Berechnungen Öko-Institut

¹⁷ Laut dem Entwurf des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Bundesregierung 2019b), Anlage 2 zu § 4, entsprechen die zulässigen Jahremissionen dem unteren Rand der Sektorziele für 2030.

Nachrichtlich: Im LULUCF-Sektor werden die Treibhausgasemissionen durch das Klimapaket um 3 Mio. t CO₂e durch Maßnahmen zum Humuserhalt und zum Schutz von Moorböden (Abschnitt 2.7.2) gemindert. Für den LULUCF-Sektor werden im Bundes-Klimaschutzgesetz keine Sektorziele ausgewiesen. Laut Klimaschutzplan soll im LULUCF-Sektor die Senkenleistung jedoch bis 2030 erhalten bleiben. Das Bundes-Klimaschutzgesetz weist ebenfalls auf Maßnahmen zum Erhalt der Nettosenke hin (§9 (1)). Aus diesen Vorgaben ergibt sich eine Nettoemission für den Sektor von höchstens 0 Mio. t CO₂e. Durch das Klimaschutzprogramm 2030 reduziert sich die Verfehlung für den LULUCF-Sektor von 19 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) auf 16 Mio. t CO₂e (Szenario Klimaschutzprogramm 2030).

Abbildung 3 zeigt den Trend der Treibhausgasemissionen in der Vergangenheit sowie den erwarteten Trend bei Umsetzung des Klimaschutzplans 2030 und einen Vergleich mit dem Zielpfad. Die Darstellung zeigt, dass in den meistens Sektoren zusätzliche Anstrengungen über das Klimaschutzprogramm 2030 hinaus notwendig sein werden, um den im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Zielpfad zu erreichen.

Abbildung 3: Trend der Treibhausgasemissionen, 1990-2030



Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES

Mit Blick auf die Ziele im Rahmen der Europäischen Klimaschutzverordnung (ESR) zeigt sich, dass der Zielpfad sowohl im Referenzszenario als auch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 in allen Jahren nicht erreicht wird (Tabelle 11). Zu Beginn der Dekade (2020) ergibt sich eine Zielverfehlung von insgesamt 31 Mio. t CO₂e (Referenzszenario) bzw. 30 Mio. t CO₂e (Szenario Klimaschutzprogramm 2030). Im Jahr 2025 beträgt die Abweichung vom Emissionsziel bereits 38 Mio. t CO₂e im Referenzszenario, während sie im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 auf

25 Mio. t CO₂e sinkt. Im Jahr 2030 schließlich steigt die Zielverfehlung stark an auf 78 Mio. t CO₂e im Referenzszenario bzw. 46 Mio. t CO₂e im Szenario Klimaschutzprogramm 2030. Zu beachten ist, dass sich die jährlichen Zielverfehlungen unter der ESR aufsummieren.

Tabelle 11: Vergleich der Szenarienergebnisse mit den Klimaschutzziele für den ESR-Bereich

Jahr	Emissionsziel		Modellierte Emissionen		Abweichung vom Emissionsziel	
			REF	KSPr (Jan 2030)	REF	KSPr (Jan 2030)
Mio. t CO ₂ e						
2020	ESD-Ziel:	410,9	442,1	440,9	31,2	30,0
2025	ESR-Ziel (vorläufige Zahl):	369,6	408,5	396,0	37,7	25,2
2030	ESR-Ziel (vorläufige Zahl):	296,2	374,2	342,5	78,0	46,3

Quelle: (European Commission (EC) 2013), (European Commission (EC) 2017), (Öko-Institut 2019), Berechnungen Öko-Institut

2.2 Sektor Energiewirtschaft

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst zum einen die öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (Kraftwerke und Heizwerke). Zum anderen wird hier die Strom- und Wärmeerzeugung der Mineralölraffinerien, Kokereien und sonstige Kohleumwandlung ausgewiesen. Des Weiteren beinhaltet diese Kategorie Emissionen der Erdgasverdichterstationen sowie diffuse Emissionen (vor allem des Kohlebergbaus).

Die auf den Stromsektor wirkenden Maßnahmen wirken sich ebenfalls auf den Sektor Industrie (Abschnitt 2.3) aus, da die Industriekraftwerke emissionsseitig dort bilanziert werden.

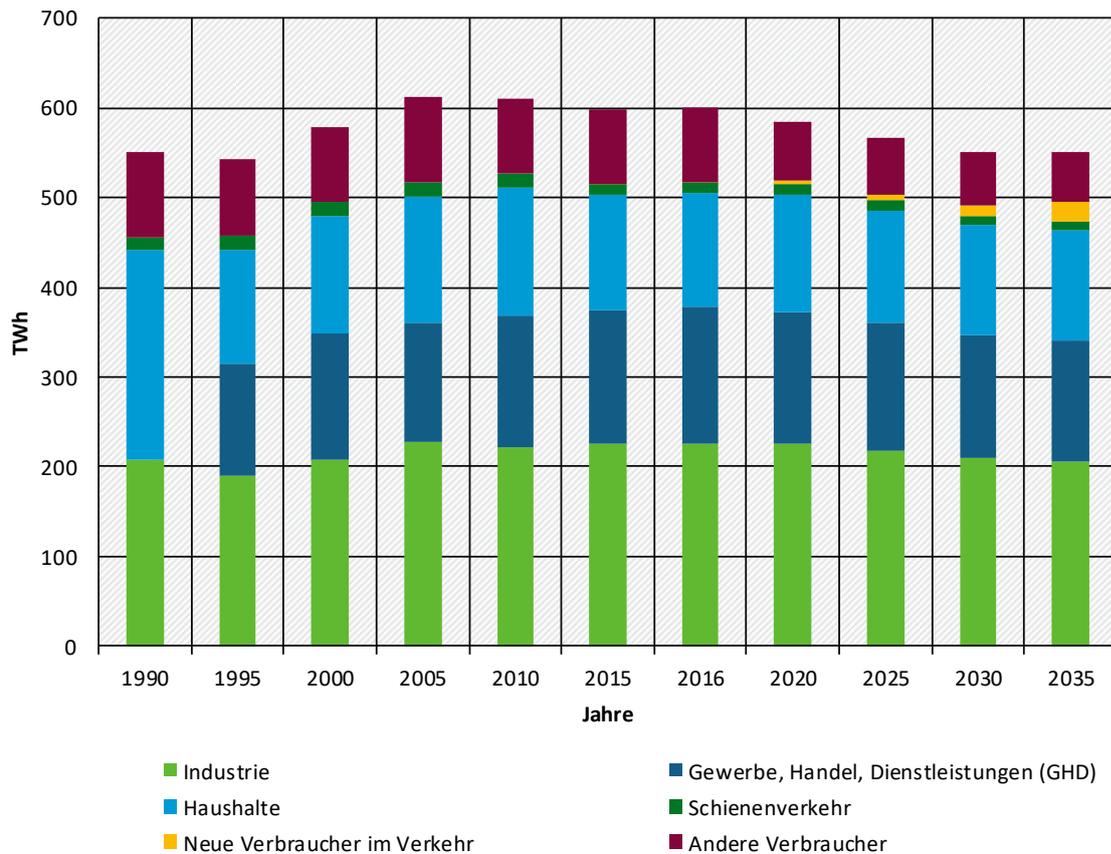
2.2.1 Referenzszenario

Abbildung 4 stellt die Entwicklung des Bruttostromverbrauchs der Endverbraucher sowie des Umwandlungssektors¹⁸ im Referenzszenario dar. In den Bereichen¹⁹ Industrie sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) kommt es zu einem merklichen Rückgang der Stromnachfrage durch Effizienzmaßnahmen (Abschnitt 2.3.1), während der Rückgang bei den Haushalten vergleichsweise gering ausfällt. Eine spürbare Zunahme des Bruttostromverbrauchs verzeichnet der Straßenverkehr²⁰ aufgrund des Ausbaus der Elektromobilität. Der Schienenverkehr nimmt leicht ab, da die autonome Effizienzsteigerung größer ist als die Zunahme der Verkehrsleistung. Der Bruttostromverbrauch insgesamt nimmt zwischen 2016 und 2030 um 8 % ab. Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 3 in Anhang A.3 entnommen werden.

¹⁸ „Andere Verbraucher“ in Abbildung 4.

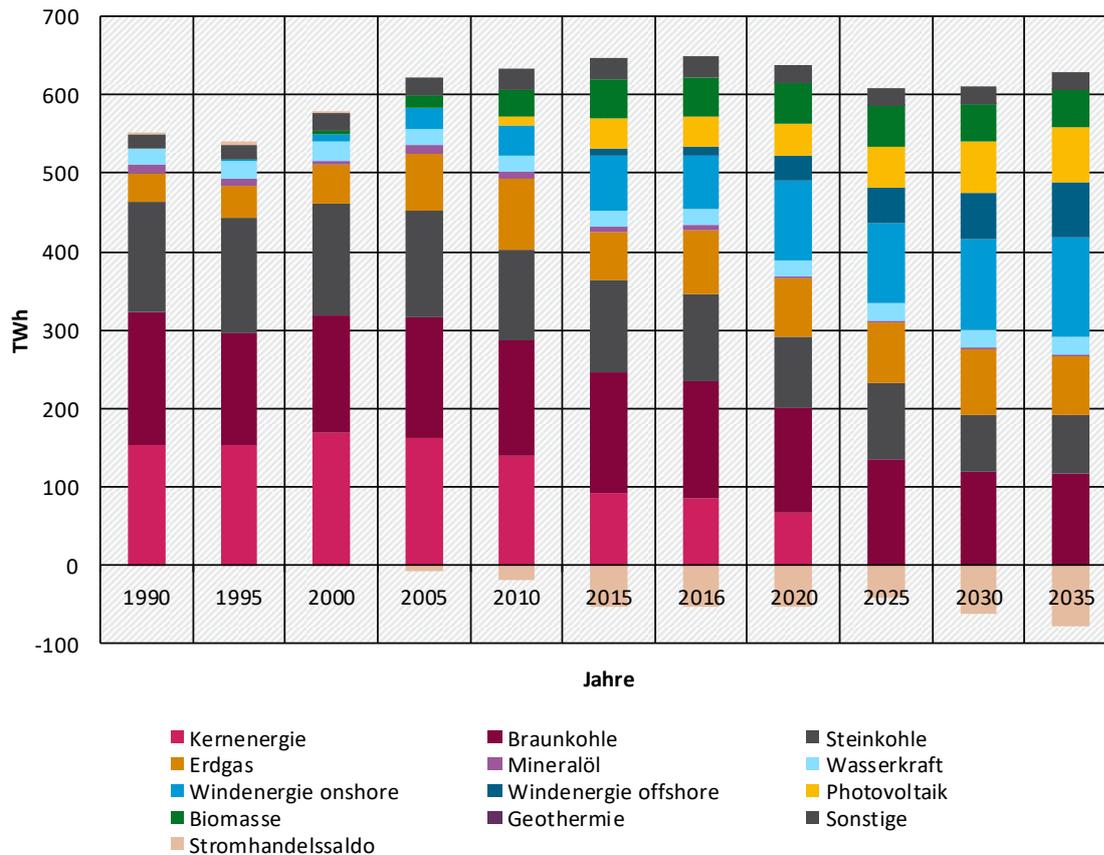
¹⁹ Die in der Tabelle dargestellten Sektoren folgende aus methodischen Gründen der Strukturierung der Energiebilanz und entsprechen somit nicht dem Sektorzuschnitt des Klimaschutzplans.

²⁰ Der Posten „Neue Verbraucher im Verkehr“ enthält den Stromverbrauch des Straßenverkehrs sowie eine geringfügige Stromnachfrage der Binnenschifffahrt. Zwar ist die Stromnachfrage der Binnenschifffahrt lediglich im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 relevant, aus Konsistenzgründen wurde die Bezeichnung jedoch vereinheitlicht.

Abbildung 4: Bruttostromverbrauch im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES

Abbildung 5 stellt die Entwicklung der Bruttostromerzeugung im Referenzszenario dar. Einen deutlichen Anstieg erfährt die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Die Stromerzeugung durch On- und Offshore-Windkraftanlagen nimmt zwischen 2016 und 2030 um 48 TWh bzw. 47 TWh zu. Die Photovoltaik erfährt ebenfalls einen deutlichen Ausbau und nimmt um 27 TWh zu. Die Biomasseverstromung nimmt aufgrund aktueller Regeln im EEG im Szenarienhorizont leicht ab. Die Stromerzeugung aus Kernenergie kommt aufgrund des Atomausstiegs 2022 zum Erliegen. Durch die starke Zunahme Erneuerbarer Energien sowie den EU-Emissionshandel kommt es zu einer Abnahme der Braun- und Steinkohlenverstromung. Aufgrund der Wirtschaftlichkeit der Braunkohleverstromung, nimmt diese jedoch zwischen 2016 und 2030 lediglich um 20 % ab. Die Erdgasverstromung nimmt nur leicht ab, unter anderem aufgrund des Zubaus im Rahmen des geltenden KWKG. Der Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch liegt im Jahr 2030 bei ca. 56 % und damit deutlich unter dem Ausbauziel der Bundesregierung (65 %). Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 4 in Anhang A.3 entnommen werden.

Abbildung 5: Bruttostromerzeugung im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Bezogen auf die Treibhausgasemissionen stellt im Sektor Energiewirtschaft die öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung die größte Quellkategorie dar (Tabelle 12). Zwischen 2016 und 2030 nehmen die Treibhausgasemissionen im Referenzszenario um 21% und bis 2035 um 23 % ab. Wesentliche Treiber ist hierbei die deutliche Zunahme der Erneuerbaren Energien durch die Förderung im Rahmen des EEG, vor allem On- und Offshore-Windkraft und Photovoltaik (Tabelle A - 4 in Anhang A.3). Weitere Treiber sind die Förderung der KWK sowie die CO₂-Bepreisung durch den Emissionshandel. Neben den Elektrizitätswerken stellen auch die öffentlichen Heizwerke eine bedeutende Emissionsquelle dar. Dort ändern sich die Emissionen aber nur wenig; zusätzlicher Energiebedarf wird zum größten Teil durch zusätzliches Erdgas gedeckt.

In den restlichen Kategorien im Sektor Energiewirtschaft haben sich die Energieverbräuche in der Vergangenheit sehr unterschiedlich entwickelt. Bedingt durch einen Rückgang des Mineralölverbrauchs insgesamt, sinkt die Aktivität der Raffinerien und somit zeigt sich ein Rückgang der in Raffinerieunterfeuerungen eingesetzten fossilen Brennstoffe und der damit verbundenen Emissionen. Im Bereich der Kokereien und sonstigen Kohleumwandlung sinken die Energieverbräuche bedingt durch eine sinkende Nachfrage nach Koks (in der Stahlherstellung) und Briquettes. Die Emissionen der Erdgasverdichterstationen bleiben zwischen 2016 und 2035 auf ähnlichem Niveau.

Diffuse Emissionen entstehen in erster Linie im Kohlebergbau, diese nahmen im Zeitraum ab 1990 stark ab. Aufgrund der kompletten Rückführung des deutschen Steinkohlenbergbaus bis zum Ende des Jahres 2018 werden die Emissionen weiter sinken. Braunkohlentagebaue hingegen weisen nur sehr geringe diffuse Emissionen auf.

Insgesamt sinken in der Referenzentwicklung zwischen 1990 und 2030 die Treibhausgasemissionen des Sektors Energiewirtschaft um 42 % auf 269,0 Mio. t CO₂e.

Tabelle 12: Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Mio. t CO ₂ e								
Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung	341,0	336,1	319,3	302,9	264,4	271,7	238,1	233,9
Mineralölraffinerien	20,3	22,5	20,8	19,9	19,5	17,9	16,4	14,9
Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger	66,0	20,8	16,8	9,4	8,3	7,3	6,7	6,2
Erdgasverdichterstationen	1,1	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
Diffuse Emissionen	38,0	16,4	11,3	10,0	7,3	7,0	6,7	6,4
Gesamt	466,4	397,4	369,4	343,4	300,7	305,2	269,0	262,5
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz ²¹					280		175	
Abweichung vom Sektorziel*					20,7		94,0	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

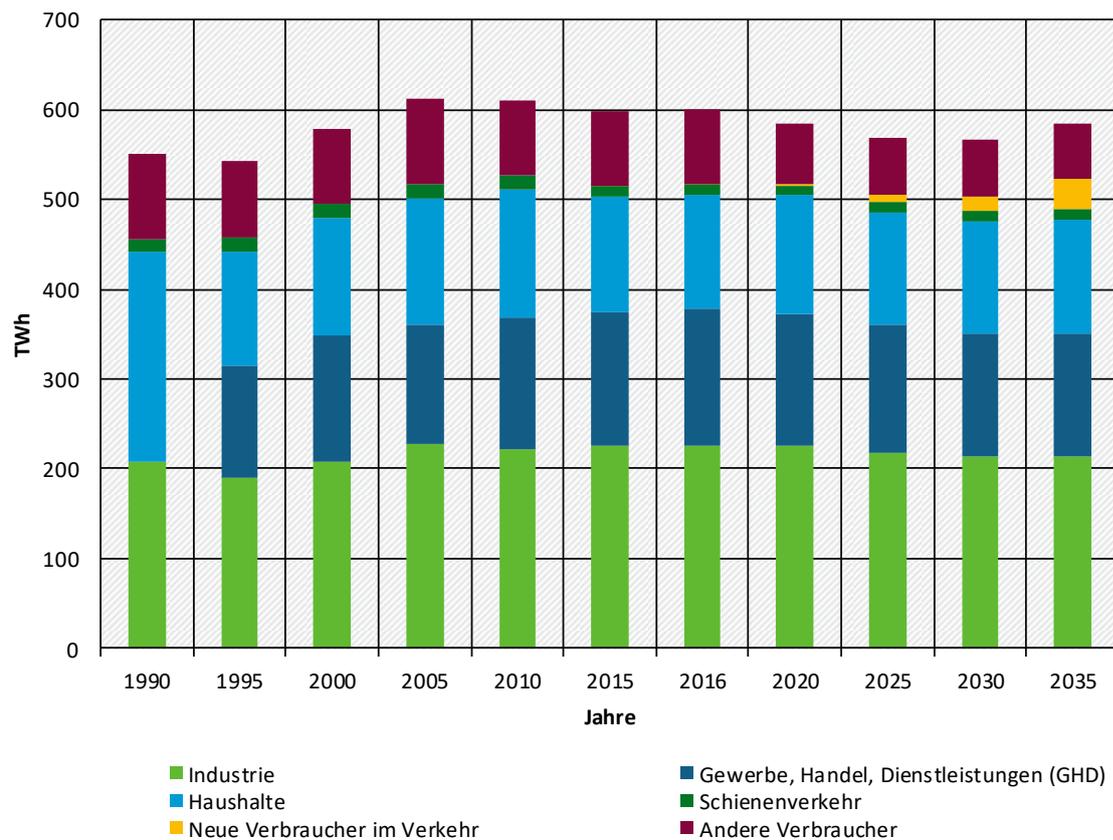
Im Vergleich zum MMS des Projektionsberichts 2019 gab es kleinere Aktualisierungen. Zum einen kam es zu einer geringfügigen Anpassung der für die Modellierung verwendeten Kraftwerkliste, zum anderen wurde der Zubaupfad Erneuerbarer Energien auf Basis aktuell verfügbarer Statistiken aktualisiert. Des Weiteren wurde der zugrunde gelegte CO₂-Preis für 2020 von 15,5 auf 25,0 €/t CO₂ angehoben, um der aktuellen Entwicklung in EU-ETS zu folgen und den entsprechenden Effekt auf den Kraftwerkseinsatz abzubilden. Weiterhin ergaben sich aus aktualisierten Rechnungen im Landwirtschaftssektor kleinere Änderungen beim Biomasseeinsatz. Des Weiteren führen Aktualisierungen in anderen Sektoren, sofern sie die Stromnachfrage betreffen, auch zu Änderungen bei der Stromproduktion. Insgesamt sind die vorgenommenen Änderungen jedoch als nur geringfügig einzustufen.

2.2.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Abbildung 6 stellt die Entwicklung des Bruttostromverbrauchs der Endverbraucher sowie des Umwandlungssektors²² im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 dar. Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 5 in Anhang A.3 entnommen werden.

²¹ Für das Jahr 2025 wurde im Bundes-Klimaschutzgesetz keine zulässige Jahresemissionsmenge für die Energiewirtschaft festgelegt.

²² „Andere Verbraucher“ in Abbildung 6.

Abbildung 6: Bruttostromverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035

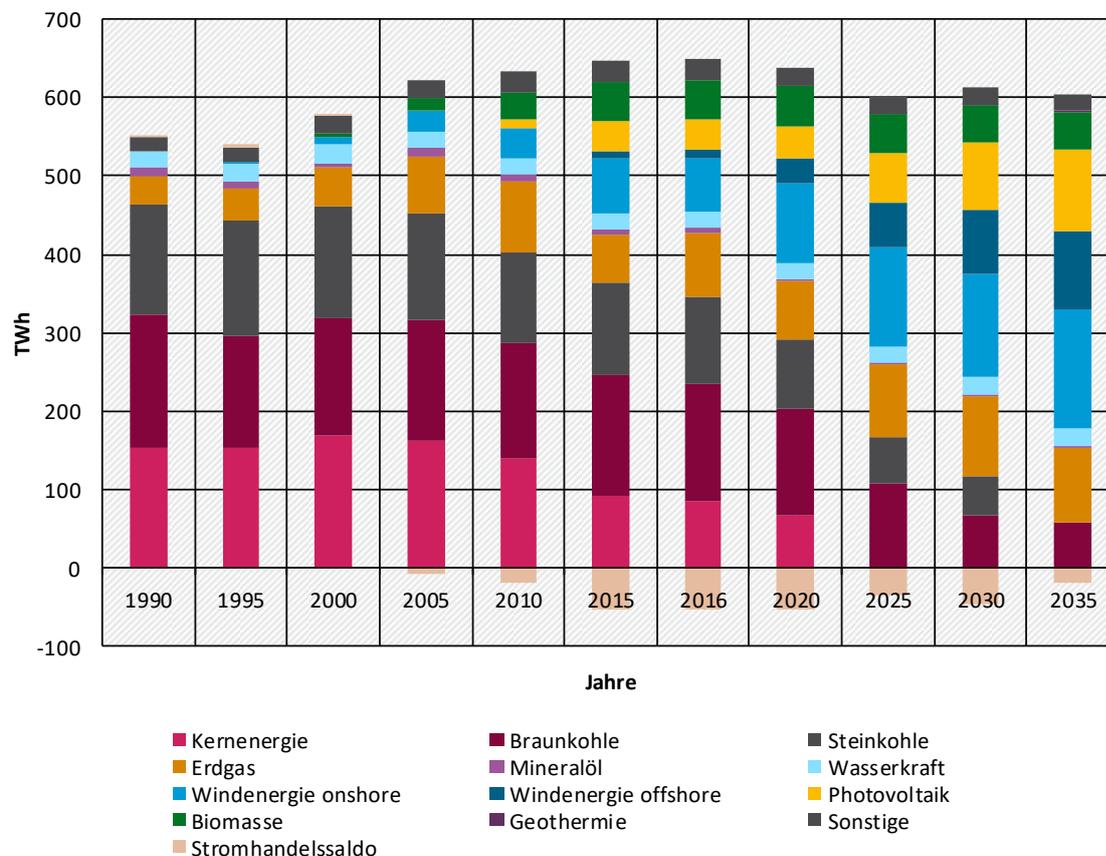
Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES

In den Bereichen Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Haushalte und Schienenverkehr²³ weicht die Entwicklung der Stromnachfrage nur geringfügig von der Entwicklung im Referenzszenario ab (Tabelle A - 3 und Tabelle A - 5 im Anhang A.3). Hierbei gleichen sich in diesen Bereichen nachfragesenkende Maßnahmen wie Effizienzmaßnahmen und nachfrageerhöhende Maßnahmen (Elektrifizierung) nahezu aus. Lediglich die Stromnachfrage des Straßenverkehrs²⁴ liegt mit 17,2 TWh im Jahr 2030 um rund 5 TWh über dem Referenzszenario (12,4 TWh). Im Jahr 2035 beträgt die Differenz mit 34,0 TWh bereits 12 TWh im Vergleich zum Referenzszenario, was durch die stärkere Durchdringung mit Elektrofahrzeugen (in Tabelle A - 5 unter neue Verbraucher im Verkehr zusammengefasst) zu erklären ist. Des Weiteren ist im Kraftwärmekopplungsgesetz (KWKG) eine Förderung erneuerbarer Wärmeerzeuger vorgesehen. Diese führt zu einer Stromnachfrage durch Elektrodenkessel und Großwärmepumpen. Insgesamt nimmt der Stromverbrauch zwischen 2016 und 2035 um 2 % ab.

Abbildung 7 stellt die Entwicklung der Bruttostromerzeugung im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 dar. Detaillierte Werte können Tabelle A - 6 in Anhang A.3 entnommen werden.

²³ Die Stromnachfrage des Schienenverkehrs bleibt zwischen 2016 und 2035 auf ähnlichem Niveau dadurch, dass der autonomen Effizienzverbesserung eine Erhöhung der Verkehrsleistung gegenübersteht, während sie im Referenzszenario leicht absinkt.

²⁴ Siehe Fußnote 20.

Abbildung 7: Bruttostromerzeugung im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Gegenüber dem Referenzszenario zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Insbesondere die Stromerzeugung durch On- und Offshore-Windenergieanlagen liegt 2030 deutlich höher als im Referenzszenario (um 17 TWh bzw. 20 TWh), was sich durch den Ausbau nach den Zielen des Klimaschutzprogramms 2030 erklären lässt²⁵. Die Photovoltaik erfährt ebenfalls einen deutlichen Ausbau und nimmt bis 2030 im Vergleich zum Referenzszenario um rund 22 TWh zu. Durch den zusätzlichen Ausbau Erneuerbarer Energien, vor allem jedoch durch die Umsetzung des Kohleausstiegs kommt es gegenüber dem Referenzszenario bis 2025 zu einer um 27 TWh geringeren Braunkohleverstromung, bis 2030 um 54 TWh und bis 2035 um 59 TWh. Damit verbleiben am Ende des Szenarienhorizonts rund 39 % der Braunkohlenverstromung des Jahres 2016. Während im Referenzszenario die Steinkohleverstromung noch bei 72 TWh im Jahr 2030 lag, liegt sie im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 bei 51 TWh. Damit beträgt die Steinkohlenverstromung im Jahr 2030 rund 45 % des Jahres 2016. Im

²⁵ Als Zielwerte für die installierte Leistung zum jeweiligen Jahresende wurden hier die Mittelwerte der angegebenen Spannen des im Klimaschutzprogramm 2030 beschlossenen Zieltabelaus verwendet. Für die Ermittlung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien wurde die installierte Leistung zur Jahresmitte verwendet, um den Effekt des unterjährigen Zubaus abzubilden. Weiterhin wurde die im Projektionsbericht 2019 ausgewiesene Entwicklung der Vollbenutzungsstunden unterstellt, die eine robuste Abschätzung des Zusammenspiels aus prognostizierter technologischer Entwicklung und auftretender Abschläge (z.B. durch Abschattung in Windparks oder durch Abnutzung im Zeitverlauf) darstellt. Diese sind zum Teil geringer als die sich rechnerisch im Zieltabelleau aus genannter installierter Leistung und Erzeugung ergebenden Vollbenutzungsstunden. In Summe ergibt sich ein Dargebot (mögliche Stromerzeugung) an Erneuerbaren Energien, welches am unteren Rand der im Zieltabelleau ausgewiesenen Erzeugung liegt (370 TWh im Vergleich zu Zieltabelleau: 372-382 TWh).

Jahr 2035 ist die Steinkohle-Verstromung beendet.²⁶ Im Vergleich der Szenarien für das Jahr 2030 nimmt die Erdgasverstromung um rund 18 TWh zu. Dies ist vor allem auf den Ersatz von Steinkohle-KWK-Anlagen durch Erdgas-KWK-Anlagen zu erklären, welcher über das KWKG gefördert wird.

Der Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch liegt im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 im Jahr 2030 bei 65 % und erreicht damit das Ausbauziel der Bundesregierung. Dabei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass weitergehende Elektrifizierungsstrategien in anderen Sektoren (z.B. weiterer Ausbau der Elektromobilität, Herstellung von Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen) zu einer höheren Stromnachfrage führen würden. Wird die installierte Leistung an Erneuerbaren Energien und damit auch ihre Erzeugung nicht in gleichem Maße ausgebaut, sinkt der EE-Anteil, da die zusätzliche Nachfrage durch fossile Kraftwerke bedient werden muss.

Bezogen auf die Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 kommt es im Vergleich zum Referenzszenario zu sehr weitreichenden Emissionsminderungen (

²⁶ Damit wird zwar der durch die schrittweise Reduktion der am Markt befindlichen Kohlekapazitäten angestrebte Rückgang der installierten Leistung auf das von der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (KWSB) empfohlene und von der Bundesregierung mit dem Klimaschutzprogramm 2030 beschlossene Zielniveau erreicht. Entscheidend für die Emissionsminderungswirkung ist jedoch weniger die am Markt verbleibende Kapazität, sondern die Auslastung der Kraftwerke und damit die Stromerzeugung. Die Auslastung der verbleibenden Kapazitäten ist dabei auf ein Zusammenspiel verschiedener Faktoren zurückzuführen: einerseits ist die Erzeugung aus erneuerbaren Energien durch die vorgegebenen Ausbauziele und das unterstellte Dargebot determiniert. Andererseits führen Maßnahmen in anderen Sektoren (z.B. Ausbau der Elektromobilität, Steigerung des Einsatzes von Wärmepumpen im Gebäudesektor), aber auch Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen in der öffentlichen Wärmeversorgung (z.B. Einsatz von Großwärmepumpen und Power-to-Heat-Anlagen) zu einem relativen Anstieg der Stromnachfrage, so dass diese in Summe im Vergleich zu heute nur leicht sinkt. Zusätzliche Nachfrage entsteht durch den Umbau der Energiesysteme der deutschen Nachbarstaaten. Hier sind vor allem die direkten Nachbarländer zu nennen, wie z.B. Frankreich, wo es mittelfristig zu einem Rückgang der Stromerzeugung aus Kernkraft kommen wird oder die Niederlande, wo innerhalb der nächsten Dekade sowohl ein Kohleausstieg als auch der Ausstieg aus der einheimischen Gasproduktion erfolgen soll. Die Zusammenschau der genannten Effekte führt zu einer modellendogen ermittelten vergleichsweise sehr hohen Auslastung der verbleibenden Kohlekapazitäten in Deutschland. Bei Vergleichen mit anderen Studien somit – neben weiteren Annahmen z.B. zu Brennstoff- und CO₂-Preisen – sind auch die hier genannten Punkte zu berücksichtigen.

Tabelle 13). Im Bereich der öffentlichen Elektrizitäts- und Wärmeversorgung liegen die Treibhausgasemissionen mit 157,7 Mio. t CO₂e im Jahr 2030 rund 34 % unter dem Wert des Referenzszenarios (238,1 Mio. t CO₂e). Wesentliche Treiber sind hierbei der Kohleausstieg sowie die deutliche Zunahme der Erneuerbaren Energien, vor allem On- und Offshore-Windkraft und Photovoltaik (Abbildung 7).

Insgesamt sinken zwischen 1990 und 2030 die Treibhausgasemissionen des Sektors Energiewirtschaft um 60 % auf 186,1 Mio. t CO₂e, womit das im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehene Sektorziel (175 Mio. t CO₂e im Jahr 2030) um 11 Mio. t CO₂e verfehlt wird.

Dabei ist darauf hinzuweisen, dass auftragsgemäß die im Klimaschutzprogramm 2030 vorgesehene EE-Leistung für die Modellierung angenommen wurde. Dem Erreichen des Zielkorridors für Windenergie an Land (67 bis 71 GW installierte Leistung) steht dabei jedoch die ebenfalls im Klimaschutzprogramm 2030 zunächst vorgesehen pauschale Abstandsregelung von 1.000 m entgegen. Je nach konkreter Ausgestaltung der Abstandsregelung ergeben sich damit Mehremissionen von 5 bis 21 Mio. t CO₂e. Die dazugehörigen Berechnungen können Anhang A.2 entnommen werden.

Tabelle 13: Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung	341,0	336,1	319,3	302,9	263,6	208,8	157,7	107,3
Mineralölraffinerien	20,3	22,5	20,8	19,9	19,5	17,1	14,6	12,2
Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger	66,0	20,8	16,8	9,4	8,0	6,9	6,0	5,3
Erdgasverdichterstationen	1,1	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
Diffuse Emissionen	38,0	16,4	11,3	10,0	7,3	7,0	6,6	6,2
Gesamt	466,4	397,4	369,4	343,4	299,5	241,0	186,1	132,1
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz ²⁷					280		175	
Abweichung vom Sektorziel*					19,5	14,7	11,1	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

2.3 Sektor Industrie

2.3.1 Referenzszenario

Der Industriesektor umfasst verbrennungsbedingte Emissionen (Verarbeitendes Gewerbe (Industriekraftwerke und -kessel, Prozessfeuerungen) und bauwirtschaftlicher Verkehr) sowie Prozessemissionen und Emissionen aus der Produktnutzung (Tabelle 14).

Obwohl in den vergangenen zehn Jahren in etwa konstante Treibhausgasemissionen in der Industrie zu verzeichnen sind, wird im Referenzszenario von zukünftig kontinuierlich fallenden Emissionen ausgegangen. Den größten Teil der Emissionsminderungen machen die energiebedingten Emissionen aus (v.a. Verarbeitendes Gewerbe). Diese fallen im Referenzszenario von 2016 bis 2030 um etwa 19 Mio. t CO₂e, was auf Maßnahmen wie den Emissionshandel, Effizienzmaßnahmen und der Richtlinie zur Abwärmevermeidung zurückzuführen ist. Treiber, die sich auf den Stromsektor und damit zum Teil auch auf die Industriekraftwerke beziehen, können Abschnitt 2.2 entnommen werden. Gleichzeitig trägt auch eine leichte Strukturverschiebung der Industrie hin zu höheren Anteilen von Sekundärproduktion wie z.B. Elektrostahl zur Emissionsminderung bei.

Die Effizienzmaßnahmen führen auch zu deutlichen Stromeinsparungen, welche sich sowohl in der Emissionsbilanz der Energiewirtschaft als auch der Industrie (im Bereich der Industriekraftwerke) niederschlagen.

Die Prozessemissionen in der mineralischen Industrie und Metallproduktion sinken im Referenzszenario, wobei die weiteren Reduktionsmöglichkeiten bei den verwendeten Prozessen be-

²⁷ Für das Jahr 2025 wurde im Bundes-Klimaschutzgesetz keine zulässige Jahresemissionsmenge für die Energiewirtschaft festgelegt.

grenzt sind bzw. im Fall der Stahlherstellung einen Prozesswechsel verlangen. In der chemischen Industrie ist durch eine Ausweitung der Produktionsmengen ein leichter Anstieg der Emissionen zu verzeichnen.

Tabelle 14: Treibhausgasemissionen der Industrie im Referenzszenario (REF), 1990-2035²⁸

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Verarbeitendes Gewerbe (ohne bauwirtschaftlichen Verkehr)	183,0	112,5	122,3	123,1	114,8	109,2	104,5	101,2
Bauwirtschaftlicher Verkehr	3,7	2,8	2,8	3,3	3,2	2,9	2,6	2,3
Mineralische Industrie	23,5	20,3	19,2	19,6	19,5	18,9	18,1	17,6
Chemische Industrie	35,5	18,2	10,5	6,9	6,4	6,5	6,6	7,0
Metallproduktion	28,2	22,3	16,7	17,3	15,1	13,2	12,2	11,6
Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln	3,3	2,6	2,7	2,6	2,9	3,1	3,2	3,3
Elektronik-Industrie	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Anwendung als ODS-Ersatzstoff	0,0	9,1	10,3	10,9	9,3	7,3	3,5	3,3
Sonstige Produktherstellung und -Verwendung	6,1	2,9	3,4	4,2	4,7	3,1	1,5	1,3
Andere Bereiche	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gesamt	283,8	191,6	188,5	188,2	176,2	164,5	152,4	147,9
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					186,0	163,0	140,0	
Abweichung vom Sektorziel*					-9,8	1,5	12,4	

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI und Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

Die Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Brennstoffen und aus Lösemitteln nahmen nach 1990 ab. Ursache war hier vor allem ein deutlicher Rückgang der Emissionen aus Lösemittelverwendung. Bis zum Jahr 2035 werden diese Emissionen im Referenzszenario annähernd auf das ursprüngliche Niveau ansteigen, hauptsächlich aufgrund des Trends zu steigenden Emissionen aus Paraffinwachsen.

Die Emissionen fluoriertes Gase²⁹ sinken im Referenzszenario nach 2016 deutlich. Ursachen sind vor allem die angesichts der MAC-Richtlinie (mobile air condition systems (Kältemittel in mobilen Klimaanlage)) und der F-Gas-Verordnung sinkenden HFKW-Emissionen aus Kälte- und Klimaanlage sowie die Reduktion von Schwefelhexafluoridemissionen in der Elektronikindustrie.

²⁸ Bei den ersten beiden Kategorien handelt es sich um energiebedingte Emissionen, während sich die restlichen Kategorien auf prozessbedingte Emissionen beziehen.

²⁹ Diese fallen in den Kategorien chemische Industrie, Metallproduktion, Elektronik-Industrie, Anwendung als ODS-Ersatzstoff, sonstige Produktherstellung und -verwendung sowie andere Bereiche an.

Das Referenzszenario entspricht im Wesentlichen dem MMS des Projektionsberichts 2019 (Bundesregierung 2019d). Kleine Änderungen wurden lediglich im Bereich der Industriekraftwerke vorgenommen (siehe Abschnitt 2.2).

2.3.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Die Emissionen der Industrie im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (Tabelle 15) nehmen kontinuierlich ab und liegen im Jahr 2030 9 Mio. t CO₂e unter denen des Referenzszenarios. Es ergeben sich insbesondere Unterschiede bei den energiebedingten Emissionen sowie den prozessbedingten Emissionen der Stahl – sowie der mineralischen Industrie (Zement). Der Unterschied zwischen dem Referenzszenario und dem Szenario Klimaschutzprogramm 2030 ist auf Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz, Brennstoffwechsel, Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft sowie die Einführung neuer CO₂-armer Produktionsverfahren und CO₂-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung zurückzuführen. Die Einführung des CO₂-Preises für den nicht-ETS-Teil der Industrie bewirkt einen verstärkten Brennstoffwechsel von fossilen Energieträgern hin zur Biomasse. Die Kombination aus Strompreisreduktion durch die Senkung der EEG-Umlage und CO₂-Preis reicht jedoch nicht aus, um eine Elektrifizierung der Prozesswärme wirtschaftlich attraktiv zu machen.

Des Weiteren wirken sich Maßnahmen im Stromsektor (Abschnitt 2.2) zum Teil auch auf Industriekraftwerke aus und sind damit auch in der Industrie wirksam.

In Summe belaufen sich die Emissionen der Industrie im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 im Jahr 2030 auf 143,4 Mio. t CO₂e. Damit wird das Sektorziel des Klimaschutzgesetzes von 140 Mio. t CO₂e geringfügig verfehlt. Es ist zu bedenken, dass bei der Maßnahmenwirkung und -ausgestaltung sowie insbesondere bei den hinterlegten Produktionsmengen große Unsicherheiten vorliegen. Im Rahmen dieser Unsicherheiten ist sowohl eine Zielüberfüllung als auch eine Zielverfehlung möglich.

Wenngleich im Referenzszenario bereits aufgrund einer Vielzahl von umgesetzten Maßnahmen ein ambitionierter Effizienzfortschritt hinterlegt ist, so steigt dieser aufgrund zusätzlicher Maßnahmen weiter. Zusätzlich wurde eine stärkere Förderung Erneuerbarer Energien für die Prozesswärmeerzeugung angenommen.

Der Stromverbrauch verringert sich im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 durch die Effizienz-Maßnahmen leicht. Gleichzeitig entsteht durch die Einführung der Stahlproduktion über Direktreduktion mit Wasserstoff ein zusätzlicher Bedarf an Wasserstoff, welcher als zusätzliche Stromnachfrage abgebildet wird (Tabelle A - 5 in Anhang A.3). Die entsprechenden Änderungen der Treibhausgasemissionen werden emissionsseitig in der Energiewirtschaft (öffentliche Kraftwerke) und in der Industrie (Industriekraftwerke) bilanziert.

Die Treibhausgasemissionen der Kategorien „Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und Lösemitteln“ bis „Andere Bereiche“ im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 sind unverändert im Vergleich zum Referenzszenario.

Tabelle 15: Treibhausgasemissionen der Industrie im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Verarbeitendes Gewerbe (ohne bauwirtschaftlichen Verkehr)	183,0	112,5	122,3	123,1	114,6	107,7	99,4	92,3
Bauwirtschaftlicher Verkehr	3,7	2,8	2,8	3,3	3,2	2,9	2,6	2,3
Mineralische Industrie	23,5	20,3	19,2	19,6	19,5	18,2	15,7	13,3
Chemische Industrie	35,5	18,2	10,5	6,9	6,4	6,5	6,6	7,0
Metallproduktion	28,2	22,3	16,7	17,3	14,0	11,5	10,6	10,0
Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln	3,3	2,6	2,7	2,6	2,9	3,1	3,2	3,2
Elektronik-Industrie	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Anwendung als ODS-Ersatzstoff	0,0	9,1	10,3	10,9	9,3	7,3	3,5	3,3
Sonstige Produktherstellung und -Verwendung	6,1	2,9	3,4	4,2	4,7	3,1	1,5	1,3
Andere Bereiche	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gesamt	283,8	191,6	188,5	188,2	174,9	160,7	143,4	133,0
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					186,0	163,0	140,0	
Abweichung vom Sektorziel*					-11,1	-2,3	3,4	

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI und Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

Insgesamt ist für die Interpretation der Ergebnisse und besonders der zusätzlichen Minderungswirkung im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 zu beachten, dass viele Maßnahmen noch nicht genauer ausgestaltet sind und Annahmen zur Umsetzung getroffen werden mussten. Für alle Maßnahmen wird davon ausgegangen, dass diese zielgerichtet auf eine effektive Industriedekarbonisierung umgesetzt werden. Die heißt für Maßnahmen im Bereich Materialeffizienz, dass sie auf CO₂-intensive Bauprodukte fokussieren oder für Dekarbonisierungsprogramm und Innovationsfonds, dass Schlüsseltechnologien der Industriedekarbonisierung im industriellen Maßstab die Markteinführung finden. Ein Beispiel ist hier die Stahlherstellung mittels Direktreduktion unter Einsatz von Wasserstoff auf Basis erneuerbaren Stroms. Fällt die Umsetzung der Maßnahmen weniger ambitioniert aus, so ist entsprechend die Minderungswirkung des Szenarios niedriger einzuschätzen. Hinzu kommen Unsicherheiten in Bezug auf die wirtschaftliche Entwicklung der Industrie (Bruttowertschöpfung), insbesondere im Bereich der CO₂-intensiven Grundstoffe, aber auch bezogen auf die bereits im Referenzszenario implementierten Maßnahmen.

2.4 Sektor Gebäude

2.4.1 Referenzszenario

Im Gebäudesektor, nach Bilanzierung des Klimaschutzplans 2050, stellen die Treibhausgasemissionen der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellungen in Wohngebäuden (private Haushalte) die wichtigste Kategorie dar (Tabelle 16). Deren Emissionen nehmen im Referenzszenario über den gesamten Zeitraum kontinuierlich ab. Im Bereich der Nichtwohngebäude (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Sonstige) wurden die stärksten Emissionsminderungen zwischen 1990 und 2005 verzeichnet; bis 2035 werden die Emissionen weiter abnehmen.

Das Referenzszenario spiegelt die sich überlagernden Effekte der autonomen Entwicklung sowie die Wirkung des heutigen Rechts- und Förderrahmens wider. Haupttreiber für die Emissionsreduktion im Referenzszenario ist der Rückgang des Brennstoffbedarfs aufgrund energetischer Sanierungsmaßnahmen sowie des Energieträgerwechsels in Verbindung mit dem Heizungstausch. Entsprechend der Entwicklung der letzten Jahre geht hierbei insbesondere der Heizölverbrauch zurück, während Erneuerbare Energien und Fernwärme absolut steigen. Erdgas nimmt absolut ab, allerdings steigt aufgrund des geringeren Wärmebedarfs im Jahr 2035 der relative Anteil an der Wärmebereitstellung. Entsprechend der Inventarbilanzierungen werden im Sektor Gebäude nur die Emissionen aus dem Brennstoffverbrauch bilanziert, sodass Fernwärmeverbrauch und Stromverbrauch nicht im Gebäudesektor bilanziert werden. Diese werden in den Bereichen Energiewirtschaft und Industrie bilanziert.

Die Treibhausgasemissionen, die gemäß dem Sektorenschnitt des Klimaschutzplans 2050 auf den Gebäudesektor entfallen, sinken im Referenzszenario bis 2030 auf 91,2 Mio. t CO₂e. Davon entfallen auf fossile Brennstoffe für die Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Wohn- und Nichtwohngebäuden 87,7 Mio. t CO₂e im Jahr 2030. Die übrigen Emissionen sind Prozessen im GHD-Sektor zuzuweisen. Insgesamt wird das Sektorziel von 70 Mio. t CO₂e im Jahr 2030 um voraussichtlich mehr als 20 Mio. t CO₂e verfehlt.

Tabelle 16: Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Sonstige	77,9	41,9	41,5	38,5	38,4	32,9	27,3	21,9
Haushalte	131,9	112,0	107,0	91,5	86,7	73,8	63,8	55,6
Gesamt	209,7	153,9	148,5	130,0	125,1	106,8	91,2	77,5
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					118,0	94,0	70,0	
Abweichung vom Sektorziel*					7,1	12,8	21,2	

Quelle: Berechnungen IREES und Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

Im Vergleich zum MMS des Projektionsberichts 2019 erfolgte eine Neuberechnung des Referenzszenarios (REF). Folgende Gründe ließen auf eine Überschätzung der Treibhausgaseinsparungen im MMS schließen:

- ▶ Hinsichtlich der Sanierungsaktivität sind im MMS Effekte verschiedener Instrumente (v.a. KfW-Förderprogramme für energieeffizienten Neubau und Sanierung, APEE, Förderprogramm Heizungsoptimierung, Wärmenetze 4.0, Heizungsaltanlagenlabel, EnEV) auf eine Zunahme der Sanierungsrate im Modell implementiert worden, die sich in dieser Form allerdings nicht beobachtet werden konnten.
- ▶ Des Weiteren sind im MMS Annahmen enthalten, die eine erhöhte Heizungs austauschrate durch Instrumente wie dem Heizungslabel vorgesehen haben. Die Effekte dieser Politikmaßnahme sind ursprünglich im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) des Projektionsberichts 2015 implementiert worden auf Basis vorliegender ex-ante Wirkungsabschätzung. Mit der Umsetzung der Maßnahme im Jahr 2016 ist diese im MMS des nachfolgenden Projektionsberichts 2017 aufgenommen worden. Der Effekt auf den Rückgang des Wärmebedarfs durch verstärkten Austausch älterer Heizsysteme hat sich im Markt jedoch (noch) nicht gezeigt.
- ▶ Hinsichtlich des Neubaustandards ist anzumerken, dass im MMS des Projektionsberichts 2019 der Niedrigstenergiegebäudestandard (NZEB) mit dem Standard KfW 55 abgebildet worden ist. Die Annahme einer weiteren Verschärfung des Standards über die EnEV 2016 (Bundesregierung 2015) hinaus ergibt sich aus § 2a des Energieeinspargesetzes, die eine Weiterentwicklung zum NZEB-Standard vorsieht. Bereits im Projektionsbericht 2017 (Bundesregierung 2017) wurde dies als beschlossenes Instrument modelliert. Aufgrund des Beschlusses, dass der derzeitige Neubaustandard (EnEV 2016) auch den NZEB-Standard darstellt, wurde dies in der Neuberechnung der Referenz dementsprechend angepasst.

2.4.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Tabelle 17 zeigt die Treibhausgasemissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030. Die Gesamtemissionen, die dem Gebäudesektor in der Bilanzierung des Klimaschutzplans 2050 zugewiesen werden, sinken auf 86,8 Mio. t CO₂e im Jahr 2030. Davon entfallen auf fossile Brennstoffe für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung in Wohn- und Nichtwohngebäuden 83,3 Mio. t CO₂e im Jahr 2030. Das Sektorziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes für das Jahr 2030 wird damit um knapp 17 Mio. t CO₂e verfehlt. Die Berechnungen zeigen, dass bereits ab 2020 die im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebenen Emissionsziele im Sektor Gebäude nicht eingehalten werden (vgl. Tabelle A - 11).

Die Maßnahmen des Klimaprogramms 2030 im Gebäudesektor zielen vor allem auf die Reduktion der Treibhausgasemissionen aus der fossilen Wärmebereitstellung in Gebäuden durch eine Verbesserung der Förderung im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Wärme. Aus der Modellierung resultiert damit eine zusätzliche Reduktionswirkung gegenüber dem dargestellten Referenzszenario in Höhe von 4,4 Mio. t CO₂e im Jahr 2030. Darüber hinaus sind in der Modellierung der CO₂-Preis (Brennstoffemissionshandelsgesetz) und eine Senkung der EEG-Umlage (um 0,25 Cent pro kWh ab 2021) berücksichtigt worden, die zu höheren fossilen Brennstoffpreisen sowie zu geringeren Strompreisen und Wärmepumpentarifen im Szenario führen. Dies führt zu einem Rückgang des Wärmebedarfs und zu einem stärkeren Wechsel von fossilen Heizsystemen zu EE-Wärme-Systemen, insbesondere Wärmepumpen.

Tabelle 17: Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Sonstige	77,9	41,9	41,5	38,5	38,3	32,6	26,2	19,5
Haushalte	131,9	112,0	107,0	91,5	86,5	72,9	60,6	49,7
Gesamt	209,7	153,9	148,5	130,0	124,8	105,4	86,8	69,3
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					118,0	94,0	70,0	
Abweichung vom Sektorziel*					6,8	11,4	16,8	

Quelle: Berechnungen IREES und Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

2.5 Sektor Verkehr

2.5.1 Referenzszenario

Der Sektor Verkehr umfasst die Emissionen aus der Verbrennung von Treib- und Kraftstoffen des inländischen Luftverkehrs, des Straßenverkehrs, Schienenverkehrs und des inländischen Schiffsverkehrs. Nachrichtlich werden die Emissionen des internationalen Luft- und Schiffsverkehrs ausgewiesen.

Für die Referenzentwicklung im Verkehr werden – aus Gründen der Vergleichbarkeit – weitestgehend die Annahmen aus der Referenzentwicklung der Nationalen Plattform Mobilität (NPM 2019) verwendet.

Bis zum Jahr 2030 sinken die Treibhausgasemissionen im Verkehr im Referenzszenario gegenüber 2016 von 166 Mio. t CO₂e auf 150 Mio. t CO₂e. Im Verkehrssektor stellt der Straßenverkehr die bei weitem bedeutendste Quelle der Treibhausgasemissionen dar (Tabelle 18). Die Treibhausgasemissionen aus dem Straßenverkehr im Referenzszenario gehen ab 2020 zunächst langsam und ab 2025 etwas schneller zurück. Während die Emissionen des Straßengüterverkehrs sowie der Busse aufgrund der Zunahme der Fahrleistung zwischen 2016 und 2030 um ca. 4 Mio. t CO₂e auf 57 Mio. t CO₂e ansteigen, verzeichnet der Pkw-Verkehr bis 2030 einen Rückgang um 18 Mio. t auf 88 Mio. t CO₂e. Grund dafür ist die im Vergleich zu bisherigen Trends relativ geringe Zunahme der Pkw-Fahrleistung sowie die Effizienzsteigerung (inkl. Elektromobilität) bei neuen Pkw. Der bereits in 2009 beschlossene CO₂-Standard für neu zugelassene Pkw in Höhe von 95 g CO₂/km ab den Jahren 2020/2021 ist (im Gegensatz zur Fortschreibung der Standards nach 2021) in der Referenzentwicklung enthalten und schlägt sich bis 2030 spürbar in der Effizienz des Pkw-Bestandes nieder. Dabei wird (wie in der Referenzentwicklung der Nationalen Plattform Mobilität) die (als eher optimistisch einzuschätzende) Annahme getroffen, dass es keinen weiteren Anstieg der Realabweichung (d.h. der reale Kraftstoffverbrauch im Vergleich zum Normverbrauch) gibt. Über die letzten Jahre ist eine zunehmende Abweichung zwischen offiziellen Emissionsangaben der Hersteller nach dem Testzyklus NEFZ und Messungen im realen Fahrbetrieb aufgetreten. Laut ICCT nahm diese zwischen 2001 und 2017 von 8% auf 39% zu, wobei in letzter Zeit eine Tendenz zur Stabilisierung auftrat.³⁰

³⁰ https://theicct.org/sites/default/files/publications/Lab_to_Road_2018_fv_20190110.pdf

Tabelle 18: Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Inländischer ziviler Luftverkehr	2,4	2,5	2,6	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2
Straßenverkehr	154,3	154,0	147,6	160,3	161,7	154,7	145,4	134,0
Schienenverkehr	2,9	1,4	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
Schiffsverkehr	3,7	2,0	1,7	2,0	1,5	1,6	1,8	1,7
Gesamt	163,3	159,9	153,0	165,6	166,4	159,5	150,3³¹	138,6
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					150,0	123,0	95,0	
Abweichung vom Sektorziel					16,4	36,5	55,3	
Nachrichtlich:								
Internationaler ziviler Luftverkehr ³²	12,1	22,9	24,2	26,4	27,0	28,6	29,9	30,6
Internationaler Schiffsverkehr	6,5	7,2	8,3	8,3	7,6	7,8	7,9	7,7
Gesamt inkl. nachrichtlich	181,9	190,0	185,5	200,3	201,0	195,9	188,1	176,9

Quelle: Berechnungen Öko-Institut auf Basis der Referenzentwicklung der Nationalen Plattform Mobilität (NPM 2019)

Im hier vorliegenden Referenzszenario wurden insbesondere folgende wesentliche Annahmen bzw. Entwicklungen aus der Referenzentwicklung der Nationalen Plattform Mobilität verwendet:

- ▶ Die Pkw-Fahrleistung steigt um durchschnittlich 0,5 % p.a. im Zeitraum 2015-2030.
- ▶ Die Lkw-Fahrleistung steigt um durchschnittlich 1,3 % p.a. im Zeitraum 2015-2030.
- ▶ Die Fahrleistung von leichten Nutzfahrzeugen steigt um durchschnittlich 1,6 % p.a. im Zeitraum 2015-2030.
- ▶ Lkw werden (in der Referenzentwicklung, d.h. ohne die europäischen CO₂-Grenzwerte) um 0,5 % p.a. effizienter.
- ▶ Die Realabweichung (d.h. der reale Kraftstoffverbrauch im Vergleich zum Normverbrauch) bei Pkw-Neuzulassungen bleibt auf dem Niveau von 2017 (39 %).
- ▶ Der Biokraftstoffeinsatz in 2030 liegt bei 110 PJ (d.h. etwa auf heutigem Niveau).

³¹ Durch den gegenüber dem MMS des Projektionsberichts geringeren Anstieg der Fahrleistungen im Straßenverkehr sowie optimistischere Annahmen zur Effizienzentwicklung von Pkw und Lkw sinken die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor im Referenzszenario stärker als im MMS des Projektionsberichts 2019. Im MMS lagen die THG-Emissionen in 2030 bei 159 Mio. t CO₂e Bundesregierung 2019d.

³² Alle abgehenden grenzüberschreitenden Flüge, sowohl in EU- als auch in Nicht-EU-Länder.

Die Fortschreibung der europäischen CO₂-Grenzwerte für Pkw und Lkw bis 2030 ist im Referenzszenario nicht enthalten, sondern nur die ab 2020/2021 gültigen Standards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.

2.5.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 sinken die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 auf 128,4 Mio. t CO₂e (Tabelle 19). Gegenüber dem Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes von 95 Mio. t CO₂e verbleibt also eine Lücke von 33,4 Mio. t CO₂e.

Tabelle 19: Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Inländischer ziviler Luftverkehr	2,4	2,5	2,6	2,4	2,2	2,1	2,1	2,0
Straßenverkehr	154,3	154,0	147,6	160,3	161,7	145,7	124,5	100,0
Schienenverkehr	2,9	1,4	1,1	1,0	1,0	0,6	0,1	0,1
Schiffsverkehr	3,7	2,0	1,7	2,0	1,5	1,6	1,7	1,7
Gesamt	163,3	159,9	153,0	165,6	166,3	150,0	128,4	103,7
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					150,0	123,0	95,0	
Abweichung vom Sektorziel					16,3	27,0	33,4	
Nachrichtlich:								
Internationaler ziviler Luftverkehr ³³	12,1	22,9	24,2	26,4	26,9	28,2	29,3	29,9
Internationaler Schiffsverkehr	6,5	7,2	8,3	8,3	7,6	7,8	7,9	7,7
Gesamt inkl. nachrichtlich	181,9	190,0	185,5	200,3	200,8	186,0	165,7	141,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Der THG-Minderungsbeitrag im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 gegenüber dem Referenzszenario liegt im Jahr 2025 bei 9,5 Mio. t CO₂e und steigt bis zum Jahr 2030 auf 21,9 Mio. t CO₂e an. Werden die Berechnungen für die Jahre 2025 und 2030 interpoliert, zeigt sich, dass bereits ab 2021 die im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebenen Emissionsbudgets des Verkehrssektors nicht eingehalten werden. Größter Treiber für die Minderung sind die (auf EU-Ebene bereits beschlossenen) Fortschreibungen der europäischen CO₂-Grenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge und die Einführung von CO₂-Grenzwerten für Lkw. Diese tragen mit insgesamt rund 8 Mio. t CO₂e zur THG-Minderung bei (siehe Tabelle 20).

³³ Alle abgehenden grenzüberschreitenden Flüge, sowohl in EU- als auch in Nicht-EU-Länder.

Die zweitgrößte Wirkung hat der CO₂-Preis³⁴ mit 6 Mio. t CO₂e im Jahr 2030. Die übrigen Instrumente des Klimapakets tragen zusammen weitere gut 8 Mio. t CO₂e zur THG-Minderung in 2030 bei, davon knapp 3 Mio. t CO₂e durch zusätzliche fortschrittliche Kraftstoffe.

Bei den Pkw kommt es im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 mit 5,6 Mio. elektrischen Pkw (BEV und PHEV) im Bestand zu einem spürbaren Antriebswechsel, was zum Großteil auf die europäischen Pkw-Grenzwerte zurückzuführen ist. Gegenüber den europäischen Pkw-Grenzwerten haben die weiteren Fördermaßnahmen wie die Kaufprämie daher nur einen geringen zusätzlichen Effekt.

Im Schwerlastverkehr gibt es im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 keinen deutlichen Antriebswechsel, da die dafür aller Voraussicht nach notwendiger Umgestaltung der Lkw-Maut bisher im Klimaschutzprogramm 2030 noch nicht hinreichend konkretisiert und daher im Szenario nicht berücksichtigt ist. Lediglich die Kaufprämie für alternative Lkw-Antriebe führt in den Jahren 2021 bis 2023 zur Neuzulassung eines geringen Anteils von Gas- und Elektro-Lkw.

Tabelle 20: Treibhausgasminderung im Verkehrssektor im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
REF	163,3	159,9	153,0	165,6	166,4	159,5	150,3	138,6
Minderung durch Fortschreibung CO ₂ -Standards für Pkw und LNF (post-2020) sowie Lkw-Standards	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,8	-8,3	-15,7
REF + CO ₂ -Standards (post-2020)	163,3	159,9	153,0	165,6	166,4	157,7	142,0	122,9
Minderung durch das Klimaschutzprogramm 2030	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-7,7	-13,6	-19,2
KSPr (Jan 2020)	163,3	159,9	153,0	165,6	166,3	150,0	128,4	103,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

2.6 Sektor Landwirtschaft

2.6.1 Referenzszenario

Der Landwirtschaftssektor umfasst verbrennungsbedingte Emissionen landwirtschaftlicher Maschinen sowie Emissionen aus der Viehwirtschaft und anderen landwirtschaftlichen Aktivitäten (Tabelle 21).

Während die Emissionen aus der tierischen Verdauung (Fermentation) im Referenzszenario nach 2010 nahezu unverändert bleiben³⁵, sinken die im Modell ermittelten Emissionen aus der Düngewirtschaft aufgrund eines erhöhten Gülleanteils, der in Biogasanlagen genutzt wird. Hinzu kommen die bis 2016 ansteigenden Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen, die ab 2020 langsam zurückgehen.

³⁴ Einschließlich der Rückerstattung über die Senkung der EEG-Umlage.

³⁵ Die Projektionen basieren auf dem Datenstand des Nationalen Inventarberichts 2018 (UBA 2018a).

Die Treibhausgasemissionen aus den restlichen Quellgruppen bleiben im Referenzszenario im Projektionszeitraum in etwa konstant.

Tabelle 21: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Verbrennung von Brennstoffen	10,6	5,9	6,1	6,6	6,5	6,4	6,3	6,3
Fermentation bei der Verdauung	34,7	24,9	24,7	24,5	24,8	24,7	24,7	24,7
Wirtschaftsdünger-Management	13,2	10,9	10,3	9,9	10,0	9,1	9,0	9,0
Landwirtschaftliche Böden	28,4	24,8	24,3	26,4	24,4	24,2	23,9	23,9
Kalkung	2,2	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Harnstoffanwendung	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
Andere kohlenstoffhaltige Dünger	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Anderes	0,0	0,3	1,1	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4
Gesamt	90,0	69,2	68,7	71,8	69,7	68,4	67,8	67,8
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					70,0	64,0	58,0	
Abweichung vom Sektorziel*					-0,3	4,4	9,8	

Quelle: Berechnungen Thünen-Institut und Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

Gegenüber dem Projektionsbericht 2019 wurden die energiebedingten Emissionen des Referenzszenarios neu berechnet, da sie im Projektionsbericht an die Ergebnisse der Modellierung von Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)³⁶ gekoppelt waren, während sie nun separat berechnet wurden.

2.6.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 sinken die Treibhausgasemissionen bis 2030 auf 64,1 Mio. t CO₂e (Tabelle 22). Gegenüber dem Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes von 58 Mio. t CO₂e verbleibt also eine Lücke von gut 6 Mio. t CO₂e.

Emissionsminderungen ggü. dem Referenzszenario werden im Bereich der landwirtschaftlichen Böden durch eine Reduktion der Stickstoffüberschüsse auf 70 kg N/ha nach der Gesamtbilanz erreicht. Weitere Einsparungen werden durch den Ausbau des Ökolandbaus erzielt. Haupttreiber sind eine Verringerung des Mineraldüngereinsatzes und eine Reduktion der indirekten Emissionen durch eine Verbesserung der Düngemittelausbringung. Ebenso führt der Rückgang des Harnstoffeinsatzes in Folge des reduzierten Mineraldüngereinsatzes zu einem Rückgang der Treibhausgasemissionen. Wesentliche Emissionsreduktionen im Bereich des Wirtschaftsdünger-managements erfolgen durch die Ausweitung der Güllevergärung und gasdichte Gärrestelager.

³⁶ Im Sinne der Energiebilanz umfasst GHD auch die Energieverbräuche der Landwirtschaft. Für den Projektionsbericht wurden daher die Energieverbräuche der Landwirtschaft als Teil von GHD modelliert.

Durch eine leichte Reduktion des Schweinebestandes infolge der angedachten verbesserten Hal-
tungsbedingungen aus Tierwohlaspekten nehmen die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-
management weiter ab.

Weitere Minderungen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 erfolgen im Bereich der energie-
bedingten Emissionen durch die Verbesserung der Energieeffizienz und eine Verschiebung der
Energieträger von Kohle und Öl zu fester Biomasse und Erdgas. Diese werden durch die Natio-
nale Klimaschutz Initiative (Richtlinie Gartenbau und Landwirtschaft) sowie durch das Bundes-
programm zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau (BEELG)
erzeugt. Letzteres ermöglicht im stationären Bereich einen Brennstoffwechsel.

Die Emissionen aus den restlichen Kategorien bleiben im Projektionszeitraum auf dem Niveau
des Referenzszenarios.

**Tabelle 22: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft im Szenario Klimaschutzprogramm
2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035**

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Verbrennung von Brennstoffen	10,6	5,9	6,1	6,6	6,4	6,2	5,8	5,7
Fermentation bei der Verdauung	34,7	24,9	24,7	24,5	24,8	24,7	24,6	24,6
Wirtschaftsdünger-Management	13,2	10,9	10,3	9,9	10,0	8,6	7,5	7,5
Landwirtschaftliche Böden	28,4	24,8	24,3	26,4	24,4	23,7	22,7	22,4
Kalkung	2,2	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Harnstoffanwendung	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
Andere kohlenstoffhaltige Dünger	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Anderes	0,0	0,3	1,1	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4
Gesamt	90,0	69,2	68,7	71,8	69,6	67,1	64,1	64,0
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					70,0	64,0	58,0	
Abweichung vom Sektorziel*					-0,4	3,1	6,1	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

2.7 Sektor LULUCF

2.7.1 Referenzszenario

Der LULUCF-Sektor umfasst Treibhausgas-Emissionen und -Einbindungen von Wäldern, von
Acker- und Grünland, Feuchtgebieten, Siedlungen sowie die Bilanzierung von Holzprodukten.

Der LULUCF-Sektor entwickelt sich im Referenzszenario im Zeitraum zwischen 2016 und 2020
von einer Senke in eine Quelle für Treibhausgase (Tabelle 23). Durch veränderte Holznutzung
und Verschiebung der Altersstruktur der Waldbestände reduziert sich die Senkenwirkung der
Wälder von ursprünglich ca. 75 Mio. t CO₂e im Jahr 1990 auf ein Minimum von ca. 11 Mio. t CO₂e

im Jahr 2020 und steigt anschließend wieder etwas an. Aufgrund dieser Entwicklung der Kohlenstoffbindung im Wald und der weiterhin hohen Emissionen aus anderen Landnutzungskategorien, insbesondere aus landwirtschaftlich genutzten Moorböden, wird der LULUCF-Bereich ab 2020 insgesamt zur Emissionsquelle. Die Emissionen aus Ackerland gehen aufgrund der Annahme, dass es seit dem Jahr 2016 zu keinen relevanten Netto-Umwandlungen von Grünland in Ackerland mehr kommt und dass Ackerflächen auf Moorböden in Grünland umgewandelt werden, bis 2035 deutlich zurück. Im Jahr 2030 liegt für das Referenzszenario die Summe der Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor bei 19 Mio. t CO₂e.

Tabelle 23: Treibhausgasemissionen des LULUCF-Sektors im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Wälder	-75,3	-40,7	-58,0	-57,7	-11,7	-33,5	-22,0	-21,4
Ackerland	12,9	12,4	14,3	15,1	14,2	13,5	11,8	10,6
Grünland	26,2	24,9	23,9	22,6	22,6	22,1	21,5	21,4
Feuchtgebiete	4,1	4,2	4,1	4,1	4,2	4,5	5,1	5,4
Siedlungen	1,9	2,0	3,3	3,5	3,8	3,9	3,7	3,4
Holzprodukte	-1,3	-15,0	-4,1	-2,3	-3,7	0,8	-1,1	-0,7
Andere Bereiche	0,1	0,1	0,1	0,1	NO	NO	NO	NO
Gesamt	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	29,5	11,3	19,0	18,8

Quelle: Berechnungen Thünen-Institut und Öko-Institut

2.7.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 verringern die Maßnahmen zum „Humuserhalt und -aufbau im Ackerland“ und „Schutz von Moorböden einschließlich Reduzierung der Torfverwendung in Kultursubstraten“ die Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor ab 2025, so dass im Jahr 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen von 2,7 Mio. t CO₂e erwartet werden kann (Tabelle 24). Für die beiden genannten Maßnahmen steht die Summe der bereitgestellten Finanzierung in direktem Zusammenhang zu den erreichbaren Treibhausgaseinsparungen. Diese Maßnahmen wirken sich vor allem auf die Emissionen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (Ackerland, Grünland) aus.

Die Maßnahme „Erhalt von Dauergrünland“ wird bereits seit 2014 umgesetzt und ab 2020 fortgeführt, weshalb die erzielten THG-Minderungen bereits im Referenzszenario berücksichtigt sind.

Die Maßnahme „Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und Holzverwendung“ reagiert vorrangig auf aktuelle klimabedingte Waldschäden. Der Fokus liegt nicht darauf, eine zusätzliche Senkenleistung zu erreichen, sondern die bestehende bzw. im Referenzszenario abgeschätzte Senke zu sichern. Konkrete Aspekte der Maßnahme, wie klimawirksamer Vertragsnaturschutz zur Verbesserung des Kohlenstoffspeichers im Wald und die zusätzliche Verwendung

von Holz als langlebige Holzprodukte, bieten grundsätzlich die Möglichkeit zusätzliche Senkenleistungen zu generieren. Die Maßnahme ist zu diesen Punkten aber zu unkonkret ausgestaltet, um mögliche THG-Minderung bilanzieren zu können.

Laut Klimaschutzplan 2050 soll die Senkenleistung des LULUCF-Sektors bis 2030 erhalten bleiben. D.h. der Sektor soll nicht zu Emissionen über 0 Mio. t CO₂e führen. Insgesamt sind die Maßnahmen im LULUCF-Sektor aber nicht ausreichend, um dieses Ziel zu erreichen. So stellt der LULUCF-Sektor im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 für das Jahr 2030 eine Netto-Quelle von etwa 16 Mio. t CO₂e dar.

Tabelle 24: Treibhausgasemissionen des LULUCF-Sektors im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Wälder	-75,3	-40,7	-58,0	-57,7	-11,7	-33,5	-22,0	-21,4
Ackerland	12,9	12,4	14,3	15,1	14,2	12,5	10,8	9,6
Grünland	26,2	24,9	23,9	22,6	22,6	21,4	19,9	18,9
Feuchtgebiete	4,1	4,2	4,1	4,1	4,2	4,5	5,1	5,4
Siedlungen	1,9	2,0	3,3	3,5	3,8	3,9	3,7	3,4
Holzprodukte	-1,3	-15,0	-4,1	-2,3	-3,7	0,8	-1,1	-0,7
Andere Bereiche	0,1	0,1	0,1	0,1	NO	NO	NO	NO
Gesamt	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	29,5	9,5	16,3	15,2

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

2.8 Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

2.8.1 Referenzszenario

Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges umfasst die Abfalldeponierung, Bioabfallbehandlung sowie die Abwasserbehandlung. Die Müllverbrennung zur Stromgewinnung wird in der Energiewirtschaft (öffentliche Kraftwerke) bzw. Industrie (Industriekraftwerke) bilanziert.

Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges wird von Methanemissionen aus der Abfalldeponierung dominiert (Tabelle 25). Die starke Reduktion der Methanemissionen aus dem Abfallsektor im Referenzszenario ist auf eine verminderte Deponierung von organischen Abfällen ab dem Jahr 2005 aufgrund des Deponierungsverbots zurückzuführen. Zusätzlich werden Maßnahmen zur Deponiebelüftung durchgeführt.

Die biologische Abfallbehandlung wurde im Jahr 1990 kaum praktiziert, entwickelt sich aber seitdem immer weiter. Die CH₄-Emissionen aus der Kompostierung und der Abfallvergärung steigen im Referenzszenario bis 2025 durch eine Erhöhung der Abfallbehandlungsmengen und steigende

Bevölkerungszahlen weiter an und sinken danach bis 2035 wieder geringfügig ab durch eine Verbesserung der Behandlungs- und Lagerungsprozesse und sinkende Bevölkerungszahlen.³⁷

Im Abwasserbereich sind die CH₄-Emissionen vor allem zwischen 1990 und 2005 durch eine verbesserte Abwasserbehandlung wie z.B. der Anschluss der Haushalte an die öffentliche Kanalisation gesunken. Nach 2016 bleiben die CH₄-Emissionen aus der Abwasserbehandlung im Referenzszenario nahezu konstant.

Tabelle 25: Treibhausgasemissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Abfalldeponierung	34,3	19,1	12,6	8,4	6,5	4,6	3,7	2,9
Bioabfallbehandlung	0,0	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Abwasserbehandlung	4,1	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Andere Bereiche	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gesamt	38,4	21,2	14,6	10,5	8,7	7,0	5,8	5,0
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					9,0	7,0	5,0	
Abweichung vom Sektorziel*					-0,3	0	0,8	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

Gegenüber dem Projektionsbericht 2019 erfolgte im Referenzszenario eine Anpassung der Berechnungsgrundlage für die Berücksichtigung der Emissionsminderung aus der Deponiebelüftung.

2.8.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 sinken die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 auf 4,9 Mio. t CO₂e. Damit wird das Ziel des Klimaschutzplans von 5 Mio. t CO₂e im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges erreicht (Tabelle 26).

Wesentliche Treiber für die weitere Reduktion der Emissionen im Bereich der Abfalldeponierung gegenüber dem Referenzszenario sind die Ausweitung der Deponiebelüftung auf große Deponien und die Optimierung der Gaserfassung.

Im Bereich der biologischen Abfallbehandlung sinken die Emissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 geringfügig, durch eine Reduktion der Lebensmittelabfälle bis zum Jahr 2030.

Das Klimaschutzprogramm 2030 enthält keine Maßnahme im Bereich der Abwasserbehandlung, daher bleiben die Emissionen dieser Quellgruppe auf dem Niveau des Referenzszenarios.

³⁷ Aufgrund der Ausweisung in Mio. t CO₂e ist die beschriebene Entwicklung der Emissionen der biologischen Abfallbehandlung aufgrund der kleinen Größenordnung in Tabelle 25 nicht sichtbar.

Tabelle 26: Treibhausgasemissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 1990-2035

Kategorie	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mio. t CO ₂ e							
Abfalldeponierung	34,3	19,1	12,6	8,4	6,5	4,6	2,9	1,8
Bioabfallbehandlung	0,0	0,7	0,8	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
Abwasserbehandlung	4,1	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Andere Bereiche	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gesamt	38,4	21,2	14,6	10,5	8,6	6,6	4,9	3,8
Sektorziel Bundes-Klimaschutzgesetz					9,0	7,0	5,0	
Abweichung vom Sektorziel*					-0,4	-0,4	-0,1	

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

*Negativer Wert: Sektorziel wird übererfüllt, Positiver Wert: Sektorziel wird verfehlt.

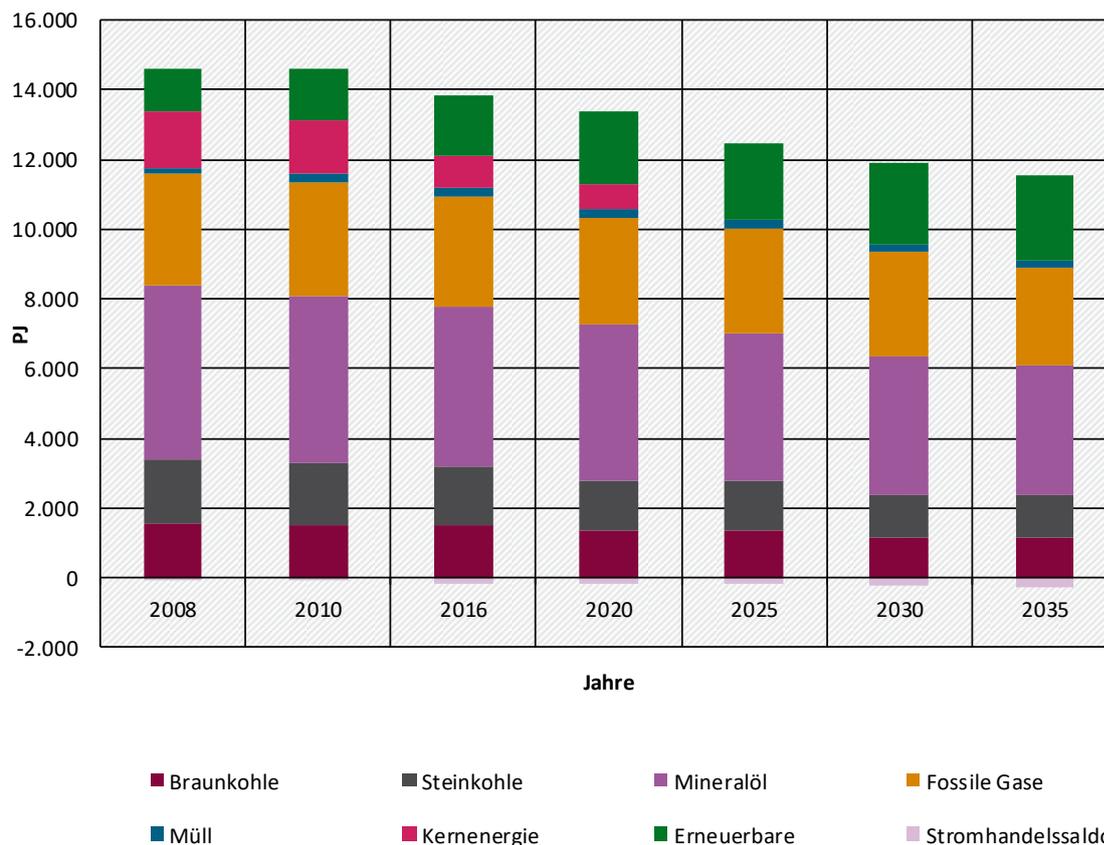
3 Ergebnisse – Primär- und Endenergieverbrauch

3.1 Primärenergieverbrauch

3.1.1 Referenzszenario

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Referenzszenario. Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 7 in Anhang A.3 entnommen werden.

Abbildung 8: Primärenergieverbrauch im Referenzszenario (REF), 2008-2035



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Der gesamte Primärenergieverbrauch sinkt im Referenzszenario von 14.521 PJ im Jahr 2008³⁸ auf 11.663 PJ im Jahr 2030 (-20 %) und auf 11.290 PJ im Jahr 2035 (-22 %). Mit dieser Entwicklung geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs einher. Der Primärenergieverbrauch von Mineralöl sinkt bis 2030 um 1.017 (-20 %) und um 1.255 PJ (-25 %) bis 2035, dennoch bleibt Mineralöl bis 2030 der wichtigste Primärenergieträger. Der Verbrauch von Braun- und Steinkohle geht bis 2030 um 993 PJ (-29 %) und bis 2035 um 1.038 PJ (-31 %) zurück. Der Einsatz der Kernenergie zur Stromerzeugung geht aufgrund des Atomausstiegs nach 2022 auf null zurück. Der Verbrauch an fossilen Gasen sinkt bis 2030 um 240 PJ (-7 %) und bis 2035 um 409 PJ (-13 %). Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich bis 2030 ein Anstieg um 1.122 PJ (+93 %) und bis 2035 um 1.263 PJ

³⁸ Das Jahr 2008 wurde als Vergleichsjahr gewählt, da das Energiekonzept der Bundesregierung Primärenergieverbrauchsminde- rungsziele gegenüber diesem Jahr formuliert hat (20 % bis 2020 und 50 % bis 2050).

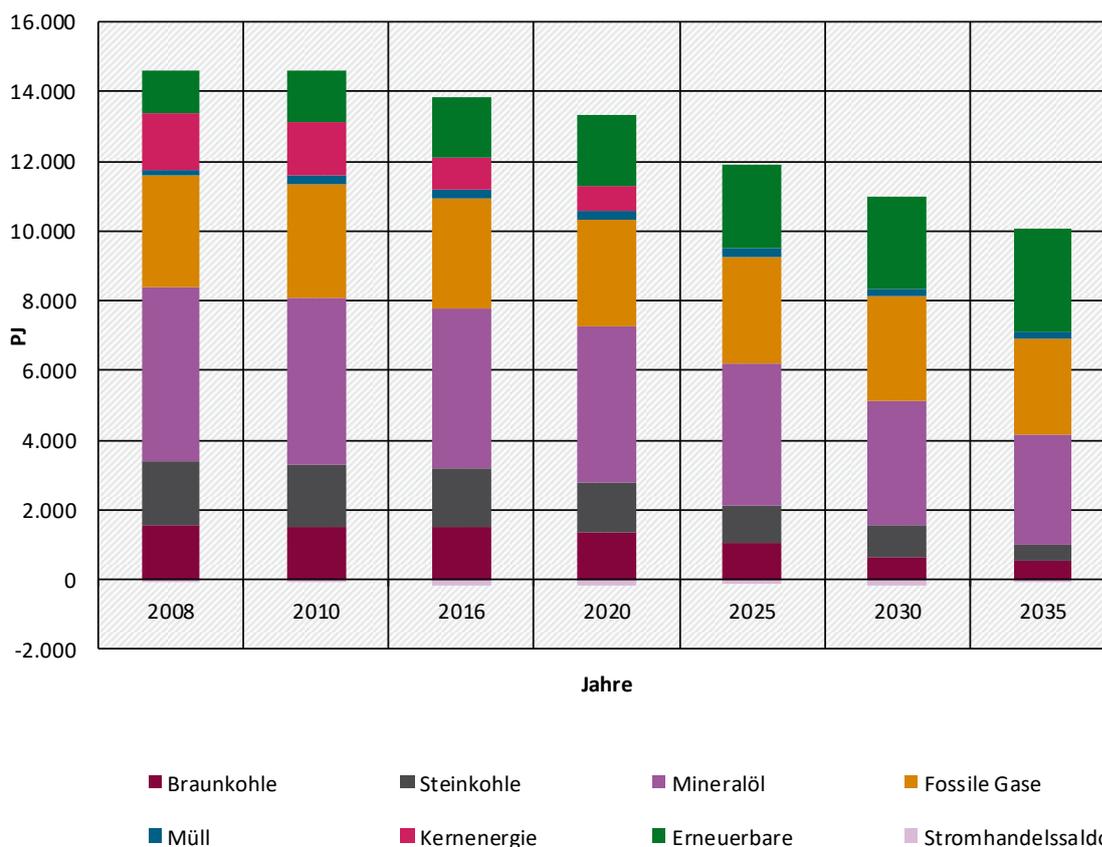
(+105 %) einstellt. In erster Linie ist das auf ein deutliches Ansteigen der Windenergie und der Solarenergie zurückzuführen.

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger im Referenzszenario steigt von 8 % (2008) bzw. 13 % (2016) auf 20 % im Jahr 2030 und 22 % im Jahr 2035.

3.1.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Szenario Klimaschutzprogramm 2030. Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 8 in Anhang A.3 entnommen werden.

Abbildung 9: Primärenergieverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPR (Jan 2020)), 2008-2035



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger:

(AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkungen: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

Der gesamte Primärenergieverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 sinkt von 14.521 PJ im Jahr 2008 auf 13.160 PJ im Jahr 2020 (-10 %). Damit wird das Minderungsziel aus dem Energiekonzept (Bundesregierung 2010) für das Jahr 2020 (einer Verringerung des Primärenergieverbrauchs um 20 % im Vergleich zu 2008) verfehlt. Bis zum Jahr 2030 sinkt der Primärenergieverbrauch auf 10.827 PJ (-25 %) und auf 10.034 PJ im Jahr 2035 (-31 %). Mit dieser Entwicklung geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs einher. Der Primärenergieverbrauch von Mineralöl sinkt bis 2030 um 1.388 PJ (-28 %) und bis 2035 um 1.822 PJ (-37 %). Der Verbrauch von Braun- und Steinkohle geht, vor allem aufgrund des Kohleausstiegs um 1.830 PJ (-54 %) bis 2030 und bis 2035 um 2.398 PJ (-71 %) zurück. Der Einsatz der Kernenergie zur Stromerzeugung geht aufgrund des Atomausstiegs nach 2022 auf null zurück. Der

Verbrauch an fossilen Gasen sinkt bis 2030 um 224 PJ (-7 %) und bis 2035 um 458 PJ (-14 %). Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich bis 2030 ein Zuwachs um 1.428 PJ (+119 %) und bis 2035 um 1.724 PJ (+143 %) einstellt. In erster Linie ist dies auf ein deutliches Ansteigen der Erzeugung von Wind- und Solarstrom zurückzuführen.

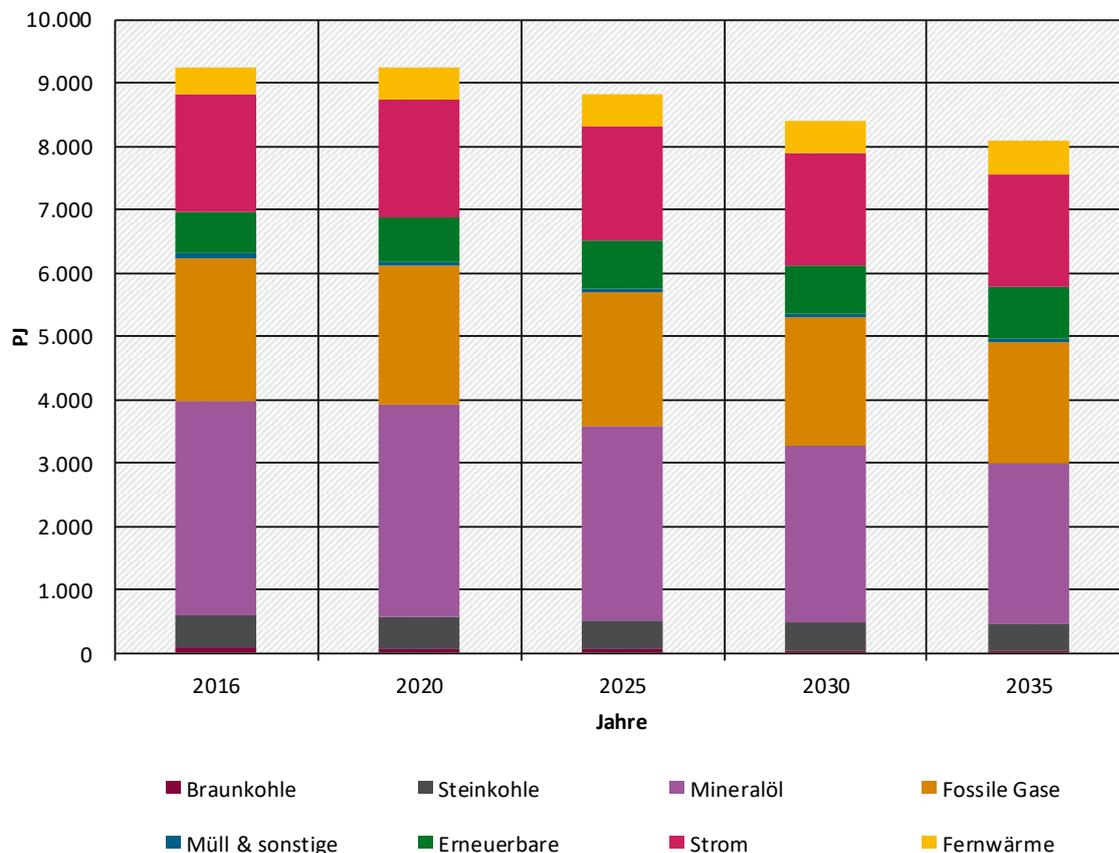
Der Anteil der erneuerbaren Energieträger im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 steigt von 8 % (2008) bzw. 13 % (2016) auf 24 % im Jahr 2030 und auf 29 % im Jahr 2035.

3.2 Endenergieverbrauch

3.2.1 Referenzszenario

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Referenzszenario. Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 9 in Anhang A.3 entnommen werden.

Abbildung 10: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Referenzszenario (REF), 2008-2035



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut
Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Der gesamte Endenergieverbrauch im Referenzszenario ist rückläufig. Er sinkt von 9.236 PJ im Jahr 2016 auf 8.412 PJ im Jahr 2030 und 8.079 PJ im Jahr 2035, was einem Rückgang von 9 % bzw. 13 % entspricht. Wie beim Primärenergieverbrauch entwickeln sich die einzelnen Energieträgergruppen unterschiedlich. Der Verbrauch von Braunkohlen nimmt von 2016 bis 2030 um etwa 46 % und bis 2035 um 55 % ab. Der Einsatz von Steinkohlen geht bis 2030 lediglich um 13 % und bis 2035 um 17 % gegenüber 2016 zurück, da die Steinkohle in der Stahlindustrie nur

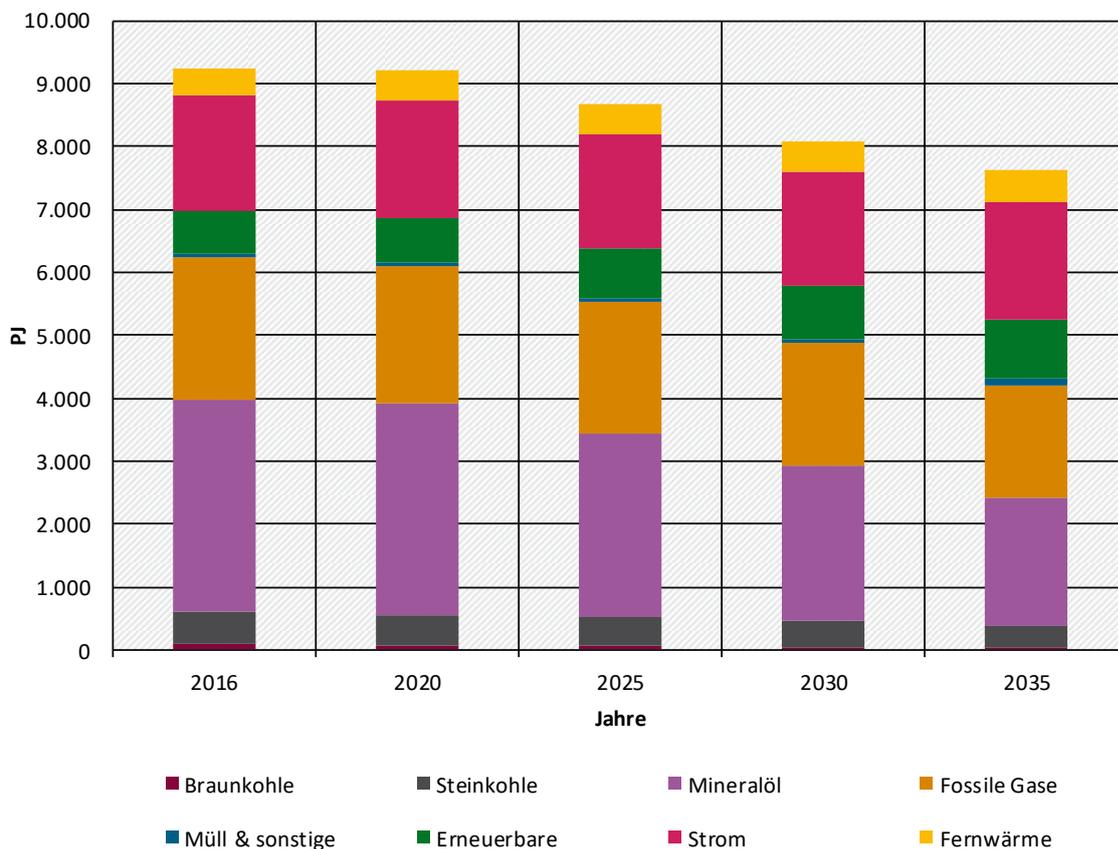
begrenzt substituiert werden kann. Bei den Mineralölprodukten ist ein Rückgang um 17 % bis 2030 und 25 % bis 2035 zu beobachten. Bei fossilen Gasen, von denen Erdgas mit Abstand das wichtigste ist, geht der Verbrauch bis 2030 um 10 % und bis 2035 um 14 % gegenüber 2016 zurück.

Der Beitrag der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch nimmt im Referenzszenario deutlich zu (+18 % von 656 PJ auf 771 PJ im Jahr 2030 und +24 % von 656 PJ auf 813 PJ im Jahr 2035), wobei dieser Anstieg sowohl auf Biomasse, als auch auf Solarenergie sowie Geothermie und Umweltwärme entfällt. Der gesamte Endenergieverbrauch an Strom sinkt bis 2030 um gut 5 %, steigt dann aber aufgrund neuer Verbraucher wie z.B. Elektrofahrzeugen bis 2035 wieder leicht an.

3.2.2 Szenario Klimaschutzprogramm 2030

Abbildung 11 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Szenario Klimaschutzprogramm 2030. Detaillierte Ergebnisse können Tabelle A - 10 in Anhang A.3 entnommen werden.

Abbildung 11: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut
 Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Der gesamte Endenergieverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 ist rückläufig. Er sinkt von 9.236 PJ im Jahr 2016 auf 8.090 PJ im Jahr 2030 und 7.625 PJ im Jahr 2035, was einem Rückgang von 12 % bzw. 17 % entspricht. Der Verbrauch von Braunkohlen nimmt von 2016 bis 2030 um etwa 49 % und bis 2035 um 57 % ab. Der Einsatz von Steinkohlen geht bis 2030 um

20 % und bis 2035 um 31 % gegenüber 2016 zurück. Bei den Mineralölprodukten ist ein Rückgang um 27 % bis 2030 und um 40 % bis 2035 und bei fossilen Gasen um 13 % bis 2030 und um von 21 % bis 2035 gegenüber 2016 zu beobachten.

Der Beitrag der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch nimmt im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 im Szenariozeitraum deutlich zu (+29 % von 656 PJ auf 849 PJ bis 2030 bzw. +42 % auf 934 PJ). Der Endenergieverbrauch an Strom sinkt bis 2030 um gut 3 %, steigt dann aber aufgrund neuer Verbraucher wie z.B. Elektrofahrzeugen wieder leicht an.

Literaturverzeichnis

AGEB (2008a-2018): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Jahre 1990–2016. Stand 2008 für die Jahre 1990-2002, Stand 2012 für die Jahre 2003-2010, Stand 2013 für das Jahr 2011, Stand 2014 für das Jahr 2012, Stand 2015 für das Jahr 2013, Stand 2016 für das Jahr 2014, Stand 2017 für das Jahr 2015, Stand 2018 für das Jahr 2016. AG Energiebilanzen (AGEB). Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2016.html>.

AGEB (2008b-2018): Satellitenbilanz Erneuerbare Energien, Jahre 2000–2016. Stand 2008 für die Jahre 2000-2002, Stand 2010 für die Jahre 2003-2008, Stand 2012 für die Jahre 2009-2010, Stand 2013 für das Jahr 2011, Stand 2014 für das Jahr 2012, Stand 2015 für das Jahr 2013, Stand 2016 für das Jahr 2014, Stand 2017 für das Jahr 2015, Stand 2018 für das Jahr 2016. AG Energiebilanzen (AGEB). Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2016.html>.

AGEB (2018): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern.

AGEB (2020): Energieverbrauch in Deutschland 2019. Daten für das 1.-4. Quartal 2019. Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/20-0-Berichte.html>, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

Agora Energiewende (2020): Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2019. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2020. Online verfügbar unter https://www.agora-energie-wende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung_2019/171_A-EW_Jahresauswertung_2019_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

BMWi (2019): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand: September 2019. Online verfügbar unter https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html.

Börse Online (2020): CO2 European Emission Allowances. Online verfügbar unter <https://www.boerse-online.de/rohstoffe/co2-emissionsrechte>, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Online verfügbar unter http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 07.07.2014.

Bundesregierung (2015): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789) geändert worden ist. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/enev_2007/EnEV.pdf.

Bundesregierung (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland. gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2017/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=217, zuletzt geprüft am 08.09.2017.

Bundesregierung (2019a): Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG). Vom 12. Dezember 2019. In: *Bundesgesetzblatt* 2019 (Teil I Nr. 50).

Bundesregierung (2019b): Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften. Vom 12. Dezember 2019. In: *Bundesgesetzblatt (BGBl)* 2019 (Teil I Nr. 48).

Bundesregierung (2019c): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 16.12.2019.

Bundesregierung (2019d): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Online verfügbar unter https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/.

Destatis (2019): Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2005 bis Oktober 2019. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Publikationen/Energiepreise/energiepreisentwicklung-pdf-5619001.pdf?__blob=publicationFile.

DIW (2019): Strikte Mindestabstände bremsen den Ausbau der Windenergie. In: *DIW Wochenbericht* (48).

European Commission (EC) (2013): Commission decision of 26 March 2013 on determining Member States' annual emission allocations for the period from 2013 to 2020 pursuant to Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council (2013/162/EZ).

European Commission (EC) (2017): Commission Decision (EU) 2017/1471 of 10 August 2017 amending Decision 2013/162/EU to revise Member States' annual emission allocations for the period from 2017 to 2020.

European Environment Agency (EEA) (2019): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. Hg. v. European Environment Agency (EEA). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>, zuletzt geprüft am 28.10.2019.

NPM (2019): Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor. Arbeitsgruppe 1 Klimaschutz im Verkehr. Zwischenbericht 03/2019. Online verfügbar unter https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2019/03/Zwischenbericht-03_2019-der-AG1-Klimaschutz-der-NPM-Wege-zur-Erreichung-der-Klimaziele-2030-im-Verkehrssektor.pdf.

Öko-Institut (2019): Aktueller Stand der Emissionen – Mai 2019. Unter Mitarbeit von Sabine Gores, Lukas Emele und Jakob Graichen. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/aktueller-stand-der-emissionen-in-deutschland-mai-2019>, zuletzt geprüft am 10.02.2020.

UBA (2017): Klimaschutz im Stromsektor 2030 - Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Endbericht. Öko-Institut, Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Prof. Dr. Stefan Klinski. Dessau-Roßlau (Climate Change, 02/2017). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2017.

UBA (2018a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2016. In: *Climate change* 2018 (12), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

UBA (2018b): Zentrales System Emissionen (ZSE). Datenauspielung, Stand Januar-Submission 2018. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2018c): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016. Gekürzte Version für die EU. UBA. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envwldoww/2018_01_15_EU-NIR_2018.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2018.

UBA (2019a): Analyse der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung an Land. Kurztitel: Flächenanalyse Windenergie an Land. Abschlussbericht. In: *Climatic Change* (38). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-der-kurz-mittelfristigen-verfuegbarkeit-von>, zuletzt geprüft am 11.12.2019.

UBA (2019b): Auswirkungen von Mindestabständen zwischen Windenergieanlagen und Siedlungen. Auswertung im Rahmen der UBA-Studie „Flächenanalyse Windenergie an Land“. In: *Position*. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-20_pp_mindestabstaende-windenergieanlagen.pdf, zuletzt geprüft am 11.12.2019.

UBA (2019c): Projektionsbericht 2019 für Deutschland – Zusammenfassung in der Struktur des Klimaschutzplans. Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politiksznarien IX“)“. In: *Climate change* (33). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2019-fuer-deutschland>, zuletzt geprüft am 03.12.2019.

UBA (2020): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. 1990-2018. Stand EU-Submission 15.01.2020. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>.

UBA; BMU (2019): Klimabilanz 2018: 4,5 Prozent weniger Treibhausgasemissionen. Umweltbundesamt legt erste detaillierte Schätzung vor. (09/2019). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimabilanz-2018-45-prozent-weniger>, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

A Anhang

A.1 Emissionsentwicklung in den Jahren 2017 bis 2019 sowie Sensitivitätsrechnung für 2020

Im Jahr 2018 sanken die gesamten Treibhausgasemissionen gegenüber 2017 von 894 Mio. t CO₂e auf 858 Mio. t CO₂e (UBA 2020), was im Jahr 2018 einer relativen Minderung von 31,4 % (2017: 28,5 %) gegenüber 1990 entspricht. Dies ist unter anderem Folge einer Reihe von Sonder- und Stichtageffekten, die im Folgenden beschrieben werden. Es kann dementsprechend nicht davon ausgegangen werden, dass sich diese jährlichen Minderungen so auch in den Folgejahren fortsetzen.

In Bezug auf die Emissionen der Energiewirtschaft kam es zu einer Reihe von Effekten, die zu einer Reduktion fossiler Stromerzeugung geführt hat:

- ▶ Die Jahre 2017 und 2018 waren windreiche Jahre. So betrug die rechnerischen durchschnittlichen Vollbenutzungsstunden 1.750 h/a (2017) bzw. 1.721 h/a (2018), während diese 2016 rund 15 % niedriger lagen (1.494 h/a)³⁹. Diese Variabilität zeigt sich auch in vorausgegangen Jahren. Dies führte zu einer hohen Windstromerzeugung im Jahr 2018 mit entsprechend geringeren Treibhausgasemissionen fossiler Kraftwerke.
- ▶ Der Preis für CO₂-Emissionsberechtigungen ist aufgrund der ETS-Reform gestiegen (UBA und BMU 2019), was unter anderem zu einem deutlichen Rückgang der Steinkohle-Verstromung geführt hat. Es wurden 1,5 Gigawatt an Steinkohle-Kapazität stillgelegt bzw. diese ging in Netzreserve (ibid.). Grundsätzlich führt eine Erhöhung des CO₂-Preises zu steigenden Grenzkosten, wodurch sich die Einsatzreihenfolge zwischen emissionsintensiven (Kohle)-Kraftwerken und Kraftwerken mit geringeren spezifischen CO₂-Emissionen (z.B. Erdgas) verschiebt, was wiederum zu einem Rückgang der Kohleverstromung führt. Zwar lag der CO₂-Preis im EU ETS im Jahr 2018 mit Preisen von bis zu rund 24 €/EUA deutlich über dem Preis von 2017 (unter 10 €/EUA) (Börse Online 2020), was zu den genannten Effekten führen kann. Seit einem Hoch des CO₂-Preises Mitte 2019 (bis ca. 29 €/EUA) nimmt der Preis jedoch wieder ab⁴⁰. Damit spiegelt der in der Modellierung für 2020 angesetzte Wert von 25 €/EUA das aktuelle Niveau wider. Die Entwicklung in den Folgejahren ist mit einer Vielzahl von dem EU ETS inhärenten Unsicherheiten verbunden (weitere Wirkung der ETS-Reform, Entwicklung der Nachfrage nach EUA auf Grundlage der Transformation in den ETS-Sektoren) und wird auch von äußeren Faktoren sowie Wechselwirkungen zu nationalen Politiken bestimmt. Die für die Folgejahre in der Modellierung gewählten CO₂-Preise spiegeln diese Unsicherheiten wider, so dass aus heutiger Sicht eine Anpassung nicht notwendig erscheint.
- ▶ Aufgrund des Dürresommers 2018 und den damit verbundenen niedrigen Wasserständen kam es zu höheren Steinkohlepreisen (UBA und BMU 2019). Die Einfuhrpreise für Steinkohle lagen 2018 ca. 45 % über den Preisen aus dem Jahr 2015. Die Preise von Erdgas frei

³⁹ Berechnung auf Basis der Bruttostromerzeugung sowie der installierten Leistung von Onshore-Windenergie-Anlagen wie in (BMWi 2019) aufgeführt.

⁴⁰ Am 7. Februar 2020 lag dieser bei ca. 23 €/EUA (Börse Online 2020).

Kraftwerk lagen 2018 wiederum ca. 5 % unter dem Wert von 2015 (Destatis 2019). Dies beeinflusste die Wirtschaftlichkeit von Steinkohlekraftwerken.

Ein deutlicher Rückgang der Treibhausgasemissionen ergab sich 2018 auch für Haushalte und Kleinverbraucher, der insbesondere durch einen gesunkenen Absatz von Heizöl hervorgerufen wurde. Dieser wiederum war bedingt durch eine milde Witterung und erhöhte Heizöl-Preise aufgrund dürrebedingt erhöhter Transportkosten auf Flüssen (UBA und BMU 2019).

Eine Diskussion weiterer Effekte im Jahr 2018 enthält (UBA und BMU 2019).

Eine erste Abschätzung für das Jahr 2019 (Agora Energiewende 2020) deutet darauf hin, dass die Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 auf rund 811 Mio. t CO₂e gesunken sind, was einer Minderung von 35,2 % gegenüber 1990 entspricht. Die starke Minderung der Treibhausgasemissionen gegenüber 2018 um mehr als 50 Mio. t CO₂e geht dabei vor allem auf den Stromsektor zurück. Die Verdrängung von Stein- und Braunkohlekraftwerken am Strommarkt durch Gaskraftwerke ist auf hohe CO₂-Preise sowie geringe Beschaffungspreise für Erdgas zurückzuführen (ibid.). Eine Abschätzung des Öko-Instituts auf Basis von AGEB (2020) kommt zu einer vergleichbaren Minderung um 35,7 % auf 805 Mio. t CO₂e im Jahr 2019. Im Folgenden wird kurz dargelegt, wie diese Entwicklung mit Hilfe des Strommarktmodells PowerFlex verifiziert wurde. Anschließend wird diskutiert, ob es sich hierbei um eine strukturelle Änderung handelt und diese für die Folgejahre berücksichtigt werden muss.

Zur Abschätzung des Einflusses niedriger Erdgaspreise wurden folgende Szenarien miteinander verglichen: (1) das Referenzszenario dieses Kurzberichts mit den abgestimmten Brennstoffpreisen des Projektionsberichts 2019. Wie Abbildung A - 1 zeigt, stellt diese für den Erdgaspreis eine robuste Abschätzung der Brennstoffpreisentwicklung aus Sicht von 2018 dar. Für die Sensitivität wurde (2) eine Modellierung auf Basis des gleichen Kraftwerksparks, jedoch den Futures-Preisen (börsengehandelte Terminkontrakte) für 2019 für Steinkohle und Erdgas bzw. (3) mit den Futures-Preisen 2019 für Steinkohle und Spot-Preisen 2019 für Erdgas verglichen⁴¹. Der Kraftwerkseinsatz durch Kraftwerksbetreiber erfolgt normalerweise auf Grundlage von Spot-Preisen. Somit kann mit (3) der Kraftwerkseinsatz am nächsten nachmodelliert werden. Spotpreise sind jedoch sehr stark von der aktuellen Witterung, den aktuellen Speicherständen sowie dem sonstigen, energiewirtschaftlichen Umfeld abhängig. Außerdem liegen diese Preise nicht für die Zukunft vor, sodass für die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen auf Futures zurückgegriffen werden muss. Diese werden auch in der mittelfristige Kraftwerksplanung angesetzt. Belastbar liegen sie jedoch nur etwa für die nächsten drei Jahre vor.

Tabelle A - 1 stellt die angesetzten Brennstoffpreise der Sensitivitätsrechnung gegenüber. Die Steinkohle-Preise der Futures des Jahres 2019 liegen leicht über den Preisen des Projektionsberichts 2019. Der Braunkohlepreis ist in allen Szenarien gleich. Ebenso bleibt der CO₂-Preis unverändert, da dieser, wie oben beschrieben, bereits für das Referenzszenario dieses Kurzberichtes auf 25 €/EUA angehoben wurde, was dem aktuell beobachteten und für das Jahr 2020 zu erwartenden Niveau entspricht.

⁴¹ Um den Effekt der Preisänderung bei Erdgas besser isolieren zu können, wurde für (3) auf die Anpassung der Steinkohlepreise auf Spotpreise verzichtet.

Tabelle A - 1: Angesetzte Brennstoffpreise der Sensitivitätsrechnung für den Stromsektor, 2020

Brennstoffpreise	Steinkohle		Erdgas
	€/MWh		
Projektionsbericht 2019	10,1		32,8
Futures-Preise 2019 für Steinkohle und Erdgas	10,8		24,9
Futures-Preise 2019 für Steinkohle, Spot-Preis für Erdgas	10,8		20,0

Quelle: (Bundesregierung 2019d), Annahmen Öko-Institut

Wie Tabelle A - 2 zeigt, ist die Braunkohle-Verstromung in allen Szenarien auf ähnlichem Niveau, was dadurch zu erklären ist, dass Braunkohle der günstigste Brennstoff ist und somit in der Einsatzreihenfolge (Merit Order) deutlich vor Steinkohle und Erdgas abgerufen wird.⁴² Dagegen zeigt die Steinkohle eine starke Reaktivität auf den Erdgaspreis. Alte Steinkohlekraftwerke und neue Gaskraftwerke liegen in der Merit Order nahe beieinander, so dass sich hier durch die Preisänderungen auch die Einsatzreihenfolge ändert.

Sofern die Futures-Preise des Jahres 2019 für Steinkohle und Erdgas angesetzt werden, ergibt sich eine um 23 TWh geringere Steinkohleerzeugung im Vergleich zu den Brennstoffpreisen des PB 2019. Die Erdgas-Verstromung ändert sich nur geringfügig (+2 TWh). Die verminderte Steinkohle-Verstromung wirkt sich fast ausschließlich auf den Export aus (-21 TWh Export). Die CO₂-Emissionen sinken um rund 20 Mio. t CO₂e.

Tabelle A - 2: Sensitivitätsrechnung für den Stromsektor, 2020

Szenario	Brennstoffpreise	Braunkohle (TWh)	Steinkohle (TWh)	Erdgas (TWh)	Import (+) / Export (-) (TWh)	CO ₂ -Emissionen (Mio. t)
(1)	Projektionsbericht 2019	125,5	83,3	71,3	-52,7	301,4
(2)	Futures-Preise 2019 für Steinkohle und Erdgas	124,9	60,8	73,6	-32,1	281,9
(3)	Futures-Preise 2019 für Steinkohle, Spot-Preis für Erdgas	123,4	14,9	83,4	5,2	247,1
	Abweichung zu Preisen des PB 2019					
(2)-(1)	Futures-Preise 2019 für Steinkohle und Erdgas	-0,6	-22,5	2,3	20,6	-19,5
(3)-(1)	Futures-Preise 2019 für Steinkohle, Spot-Preis für Erdgas	-2,0	-68,4	12,1	57,9	-54,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

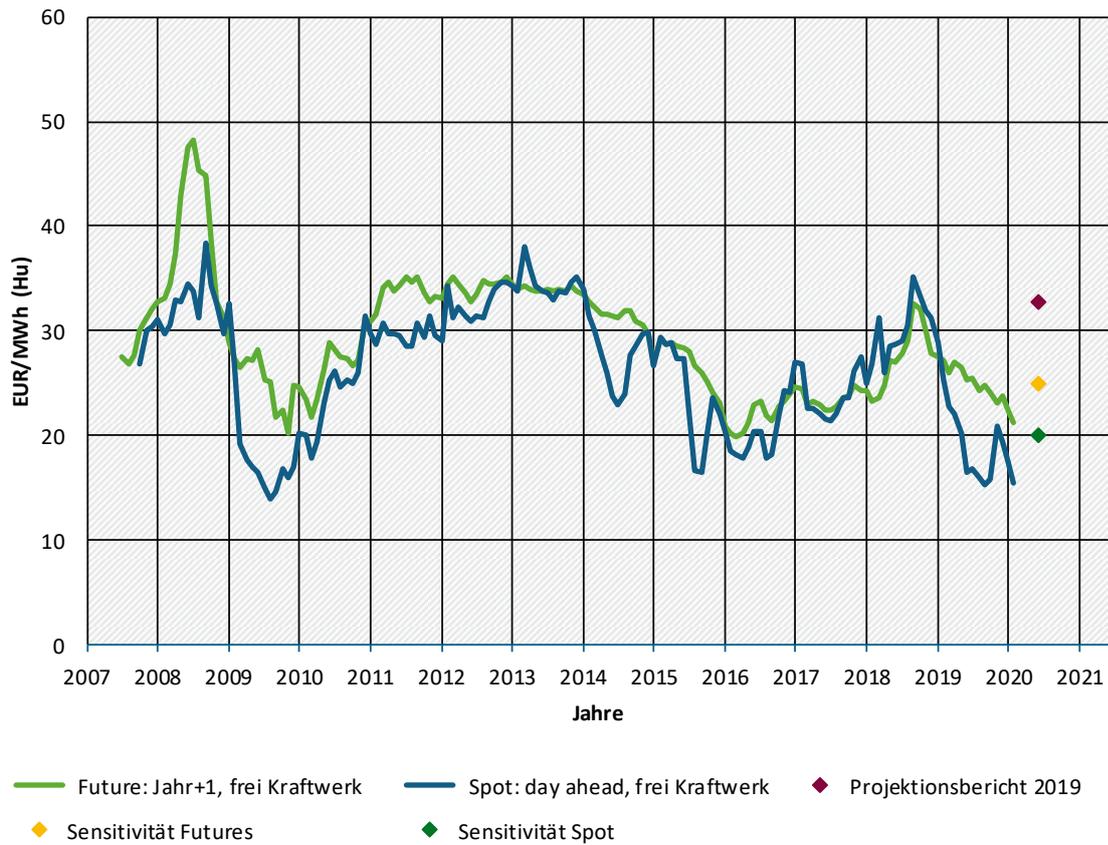
⁴² Dagegen ist in den Abschätzungen von Agora Energiewende (2020) auch ein Rückgang der Braunkohleerzeugung unterstellt. Gründe für diesen Rückgang können in den von AGEB (2020) genannten Sondereffekten bestehen: „Sicherheitsbereitschaft weiterer Kraftwerksblöcke, die Minderförderung im Tagebau Hambach, [eine] gegenüber dem Vorjahr [höhere] Zahl von Kraftwerksrevisionen sowie [...] Zunahme der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien“. Die Sicherheitsbereitschaft weiterer Kraftwerksblöcke wird in allen Szenarien berücksichtigt. Die in Tabelle A - 2 berechnete Sensitivität berücksichtigt jedoch keine weiteren Effekte wie Kraftwerksrevision oder Minderförderung in einzelnen Revieren, sodass sich entsprechend nur eine leichte Abnahme der Braunkohle-Verstromung ergibt.

Sofern die besondere Situation des Jahres 2019, in der Erdgas zu sehr niedrigen Spotmarkt-Preisen verfügbar war, mit der Modellierung auf Basis der Brennstoffpreise des PB 2019 verglichen wird, so zeigt sich, dass die Erdgas-Verstromung um 12 TWh ansteigt und die Steinkohle-Verstromung drastisch um 68 TWh abnimmt. Diese Differenz führt dazu, dass es auf Basis dieser Brennstoffpreise zu einem leichten Stromimport (5 TWh) kommt, was eine sehr starke Senkung der Importbilanz bedeutet (58 TWh Differenz zur Importbilanz des PB 2019). Aufgrund der stark gefallen Steinkohle-Verstromung kommt es zu um 54 Mio. t CO₂e geringeren Emissionen im Vergleich zum Szenario auf Basis der Brennstoffpreise des PB 2019, was der Größenordnung des Rückgangs der Emissionen zwischen 2018 und 2019 nach (Agora Energiewende 2020) entspricht.

Diese Analyse verdeutlicht, dass sich durch eine Veränderung der Brennstoffpreise die CO₂-Emissionen im Stromsektor sehr stark verändern können. Die sehr niedrigen Erdgas-Spotpreise stellen somit einen wichtigen Teil zur Erklärung der im Jahr 2019 sehr niedrig ausgefallenen Treibhausgasemissionen dar. Angesichts der seit Mitte 2018 anhaltenden Abwärtstrends der Erdgaspreise, erscheint die in den Sensitivitätsrechnungen dargestellte Entwicklung der Erzeugung und Emissionen im Stromsektor auch als ein mögliches Szenario für das Jahr 2020.

Für die Stützjahre 2025, 2030 und 2035 lassen sich aus der aktuellen Entwicklung der Brennstoff- und CO₂-Preise allerdings keine neuen gesicherten Informationen ziehen. Aus Abbildung A - 1 ist ersichtlich, dass der Unterschied zwischen Erdgas-Spot- und -Future-Preisen in der Vergangenheit sowohl positiv als auch negativ ausgefallen ist. Davon unabhängig liegen keine gesicherten Futures für die Stützjahre vor. Somit stellen die für die Stützjahre gewählten Annahmen zu Brennstoff- und CO₂-Preisen weiterhin eine robuste Abschätzung der zukünftigen Entwicklung dar. Weiterhin ist festzuhalten, dass mit dem Kohleausstieg insbesondere die alten und ineffizienten Steinkohle- und Braunkohlekapazitäten aus dem Markt genommen werden. In diesem Zusammenhang ist anzunehmen, dass die Reaktivität der Einsatzreihenfolge abnehmen wird und somit die mit Schwankungen der Brennstoffpreise einhergehende Änderungen der Emissionen abnimmt.

Abbildung A - 1: Gegenüberstellung der Entwicklung der Erdgaspreise frei Kraftwerk von Mitte 2007 bis Anfang 2020 und Annahmen zu 2020



Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut auf Basis von EEX

A.2 Abschätzung der Treibhausgas-Minderung durch Windenergieanlagen an Land

Zur Erreichung des Zieles eines Anteils von 65% Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in 2030, weist das Klimaschutzprogramm 2030 unter anderem auch einen Ausbauziel-Korridor für Windenergie an Land aus. Die vorliegenden Rechnungen basieren auf der Annahme, dass der im Klimaschutzprogramm 2030 für die installierte Leistung von Windenergieanlagen an Land vorgesehene Zielkorridor von 67 bis 71 GW (mit Zielwert 69 GW) in 2030 erreicht werden kann.

Dem Erreichen dieser installierten Leistung für 2030 steht jedoch die zunächst ebenfalls im Klimaschutzprogramm 2030 vorgesehene pauschale Abstandsregelung von 1.000 m entgegen. Eine klare politische Entscheidung in diesem Punkt liegt derzeit jedoch noch nicht vor.

Sollte sich der Vorschlag zu der Abstandsregelung durchsetzen, so müsste man mit den folgenden Auswirkungen rechnen. Durch die vorgesehene Regelung würde sich die für Windenergieanlagen an Land verfügbaren Flächen je nach Ausgestaltung der Maßnahme zum Teil erheblich verringern (UBA 2019a, UBA 2019b, DIW 2019). In UBA (2019b) wird eine Bandbreite von 43,3 bis 63,2 GW als maximales Potenzial unter Berücksichtigung der Abstandregelungen von 1.000 m genannt. Dieses Potenzial überschätzt jedoch tendenziell die real im Jahr 2030 installierbare Leistung, da hier von der Errichtung „auf der grünen Wiese“ (also einer optimalen Nutzung des Flächenpotentials, ohne Berücksichtigung von Bestandanlagen) ausgegangen wird; diese Flächen sind jedoch aufgrund von Bestandanlagen zum Teil nicht verfügbar. Ungeachtet der Abstandsregelung sind weitere Flächeneinbußen aufgrund genehmigungsrechtlicher, wirtschaftlicher und privatrechtlicher Hemmnisse (UBA 2019a, S. 103, S. 147) zu erwarten. Insgesamt ist somit davon auszugehen, dass die daraus resultierende Fläche, die für den Ausbau der Windenergie an Land zur Verfügung steht, nicht für das Erreichen des im Klimaschutzprogramm 2030 formulierten Zielkorridors ausreichen wird. Werden die in dieser Modellierung verwendeten Vollbenutzungsstunden für Windenergieanlagen an Land (1.936 h/a für 2030) zu Grunde gelegt, ergibt sich mit der obengenannten Bandbreite eine Mindererzeugung von Windenergieanlagen an Land im Bereich von 11 bis 50 TWh (bezogen auf 43,3 bis 63,2 GW im Vergleich zum Zielwert von 69 GW).

Der konkrete Umfang an Mehremissionen in Deutschland zu dem diese Mindererzeugung führt, hängt unter anderem von der konkreten Ausgestaltung von Maßnahmen zur Integration von erneuerbarer Erzeugung sowie der Entwicklung des Netzausbaus und sonstiger Flexibilitätsoptionen ab. Ebenso hat die Entwicklung der Kraftwerksparks im europäischen Ausland über die Exportbilanz einen erheblichen Einfluss auf den Netto-Emissionseffekt innerhalb Deutschlands. Legt man den in den Modellrechnungen ermittelten durchschnittlichen Emissionsfaktor des Verdrängungsmixes in Deutschland von rund 640 g CO₂ pro kWh und einen in früheren Vorhaben ermittelten europäischen Rebound von rund 33 % zugrunde (siehe z.B. UBA (2017), Tabelle 6-3), ergeben sich Mehremissionen von 5 bis 21 Mio. t CO₂. Vor diesem Hintergrund hat der Ausbau von Windenergieanlagen an Land auch einen erheblichen Einfluss auf die Erreichung des Sektorziels der Energiewirtschaft und des Ziels eines 65 % EE-Anteil am Bruttostromverbrauch in 2030.

Rechnung: $\frac{2}{3} \cdot 0,644 \text{ Mio. t CO}_2\text{e pro TWh} \cdot (5,8 \text{ GW} \cdot 1.936 \text{ h} = 11,2 \text{ TWh bis } 25,7 \text{ GW} \cdot 1.936 \text{ h} = 49,8 \text{ TWh}) = 4,8 \text{ Mio. t CO}_2\text{e bis } 21,4 \text{ Mio. t CO}_2\text{e}$

A.3 Weitere Ergebnistabellen

Tabelle A - 3: Bruttostromverbrauch im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Sektor	2008	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Industrie	232,6	226,6	225,3	218,0	209,7	205,5
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	135,7	151,0	147,1	142,0	137,4	136,0
Haushalte	139,5	128,2	131,4	126,1	122,6	121,7
Schieneverkehr	16,5	11,6	11,0	10,4	9,8	9,5
Neue Verbraucher im Verkehr ⁴³	0,0	0,1	3,4	6,0	12,4	22,2
Stromverbrauch Endenergie	524,3	517,6	518,3	502,4	491,8	495,0
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-1,3 %</i>	<i>-1,2 %</i>	<i>-4,2 %</i>	<i>-6,2 %</i>	<i>-5,6 %</i>
Raffinerien	6,4	6,2	6,2	5,8	5,4	5,0
PtL für Endverbrauch	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Übrige Energiewirtschaft	7,7	6,8	5,9	5,8	5,3	4,0
Leitungsverluste	30,1	25,8	24,4	23,6	23,0	23,0
Pumpstrom ⁴⁴	7,9	7,5	2,0	2,9	2,2	2,2
Eigenstromverbrauch Kraftwerke	38,3	36,3	28,3	25,4	22,5	22,4
Elektrodenkessel und Großwärmepumpen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromverbrauch Energiewirtschaft	90,5	82,5	66,8	63,5	58,3	56,7
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-8,8 %</i>	<i>-26,2 %</i>	<i>-29,8 %</i>	<i>-35,6 %</i>	<i>-37,4 %</i>
Statistische Differenz ^a	-4,2	3,5	0,0	-0,2	-0,1	-0,1
Bruttostromverbrauch	619,0	596,6	585,0	566,2	550,3	551,7
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-3,6 %</i>	<i>-5,5 %</i>	<i>-8,5 %</i>	<i>-11,1 %</i>	<i>-10,9 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-53,7	-52,7	-41,9	-60,8	-77,2
Bruttostromerzeugung	641,5	650,3	637,8	608,1	611,1	628,9
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>1,4 %</i>	<i>-0,6 %</i>	<i>-5,2 %</i>	<i>-4,7 %</i>	<i>-2,0 %</i>

Quelle: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

⁴³ Siehe Fußnote 20.

⁴⁴ Der Stromverbrauch für Pumpstrom ergibt sich als Modellergebnis im PowerFlex-Modell. Dies wird von verschiedenen Faktoren wie den abgebildeten und verfügbaren Flexibilitätsoptionen (Speicher, E-Mobilität, etc.), den Möglichkeiten des Im- und Exports und dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage beeinflusst. Des Weiteren werden im Modell Primär- und Sekundärregelleistung, welche einen signifikanten Anteil an der Pumpstromerzeugung haben, nicht abgebildet. Dies führt dazu, dass der Pumpstromverbrauch in den modellierten Jahren schwankt und teilweise deutlich niedriger liegt als die historischen Werte.

Tabelle A - 4: Bruttostromerzeugung im Referenzszenario (REF), 1990-2035

Energieträger	2008	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Kernenergie	148,8	84,6	66,7	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	150,6	149,5	134,7	135,6	120,0	116,9
Steinkohle	124,6	112,2	90,3	96,5	72,2	75,7
Erdgas	89,1	81,3	73,9	77,2	83,7	74,3
Mineralöl	9,7	5,8	2,9	2,8	2,8	2,9
Wasserkraft	20,4	20,5	21,3	21,4	21,5	21,6
Windenergie onshore	41,4	67,8	101,1	102,3	116,0	126,0
Windenergie offshore	0,0	12,3	31,8	46,0	59,5	70,1
Photovoltaik	4,4	38,1	40,8	53,1	65,4	71,1
Biomasse ^a	27,8	50,9	46,5	45,3	42,8	42,9
Geothermie	0,0	0,0	0,2	0,5	0,7	0,9
Sonstige	24,7	27,3	27,5	27,5	26,5	26,6
Bruttostromerzeugung	641,5	650,3	637,8	608,1	611,0	628,9
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>1,4 %</i>	<i>-0,6 %</i>	<i>-5,2 %</i>	<i>-4,7 %</i>	<i>-2,0 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>14,7 %</i>	<i>29,2 %</i>	<i>37,9 %</i>	<i>44,2 %</i>	<i>50,0 %</i>	<i>52,9 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-53,7	-52,7	-41,9	-60,8	-77,2
Bruttostromverbrauch	619,0	596,6	585,0	566,2	550,3	551,7
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-3,6 %</i>	<i>-5,5 %</i>	<i>-8,5 %</i>	<i>-11,1 %</i>	<i>-10,9 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>15,2 %</i>	<i>31,8 %</i>	<i>42,2 %</i>	<i>48,3 %</i>	<i>56,4 %</i>	<i>61,1 %</i>

Quelle: AGEB (2018), Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischen Anteils des Mülls. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

Tabelle A - 5: Bruttostromverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035

Sektor	2008	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Industrie ⁴⁵	232,6	226,6	225,7	217,6	212,8	214,1
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	135,7	151,0	147,1	142,0	137,5	136,7
Haushalte	139,5	128,2	131,5	126,4	124,4	126,1
Schienenverkehr	16,5	11,6	11,1	11,5	11,7	11,5
Neue Verbraucher im Verkehr ⁴⁶	0,0	0,1	1,0	6,9	17,2	34,0
Stromverbrauch Endenergie	524,3	517,6	516,3	504,4	503,6	522,4
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-1,3 %</i>	<i>-1,5 %</i>	<i>-3,8 %</i>	<i>-3,9 %</i>	<i>-0,4 %</i>
Raffinerien	6,4	6,2	6,2	5,4	4,6	3,8
PtL für Endverbrauch	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	4,5
Übrige Energiewirtschaft	7,7	6,8	5,9	4,7	3,5	2,5
Leitungsverluste	30,1	25,8	24,3	23,6	23,7	24,4
Pumpstrom ⁴⁷	7,9	7,5	1,3	2,8	1,9	2,8
Eigenstromverbrauch Kraftwerke	38,3	36,3	28,3	21,2	17,9	13,3
Elektrodenkessel und Großwärmepumpen	0,0	0,0	1,4	5,6	6,8	10,7
Stromverbrauch Energiewirtschaft	90,5	82,5	67,5	63,4	62,9	62,0
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-8,8 %</i>	<i>-25,4 %</i>	<i>-30,0 %</i>	<i>-30,5 %</i>	<i>-31,5 %</i>
Statistische Differenz ^a	-4,2	3,5	-0,2	-0,6	-0,5	-0,6
Bruttostromverbrauch	619,0	596,6	584,0	568,3	567,0	584,9
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-3,6 %</i>	<i>-5,7 %</i>	<i>-8,2 %</i>	<i>-8,4 %</i>	<i>-5,5 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-53,7	-53,1	-33,7	-45,4	-19,1
Bruttostromerzeugung	641,5	650,3	637,1	602,0	612,3	604,0
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>1,4 %</i>	<i>-0,7 %</i>	<i>-6,2 %</i>	<i>-4,5 %</i>	<i>-5,9 %</i>

Quelle: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

⁴⁵ Die industrielle Wasserstoffherstellung ist in der gesamten Stromnachfrage der Industrie enthalten.

⁴⁶ Siehe Fußnote 20.

⁴⁷ Der Stromverbrauch für Pumpstrom ergibt sich als Modellergebnis im PowerFlex-Modell. Dies wird von verschiedenen Faktoren wie den abgebildeten und verfügbaren Flexibilitätsoptionen (Speicher, E-Mobilität, etc.), den Möglichkeiten des Im- und Exports und dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage beeinflusst. Des Weiteren werden im Modell Primär- und Sekundärregelleistung, welche einen signifikanten Anteil an der Pumpstromerzeugung haben, nicht abgebildet. Dies führt dazu, dass der Pumpstromverbrauch in den modellierten Jahren schwankt und teilweise deutlich niedriger liegt als die historischen Werte.

Tabelle A - 6: Bruttostromerzeugung im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPPr (Jan 2020)), 2008-2035

Energieträger	2008	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Kernenergie	148,8	84,6	66,7	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	150,6	149,5	135,5	108,8	66,5	58,0
Steinkohle	124,6	112,2	90,1	58,0	51,0	0,0
Erdgas	89,1	81,3	73,2	92,4	101,9	95,6
Mineralöl	9,7	5,8	2,9	2,5	2,4	2,5
Wasserkraft	20,4	20,5	21,3	21,4	21,5	21,6
Windenergie onshore	41,4	67,8	101,1	127,2	133,1	151,3
Windenergie offshore	0,0	12,3	31,8	55,6	79,8	101,1
Photovoltaik	4,4	38,1	40,8	63,0	86,9	104,4
Biomasse ^a	27,8	50,9	46,4	45,5	43,1	43,0
Geothermie	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
Sonstige	24,7	27,3	27,1	27,2	25,5	25,7
Bruttostromerzeugung	641,5	650,3	637,1	602,0	612,3	604,0
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>1,4 %</i>	<i>-0,7 %</i>	<i>-6,2 %</i>	<i>-4,5 %</i>	<i>-5,9 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>14,7 %</i>	<i>29,2 %</i>	<i>37,9 %</i>	<i>52,0 %</i>	<i>59,6 %</i>	<i>69,9 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-53,7	-53,1	-33,7	-45,4	-19,1
Bruttostromverbrauch	619,0	596,6	584,0	568,3	567,0	584,9
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-3,6 %</i>	<i>-5,7 %</i>	<i>-8,2 %</i>	<i>-8,4 %</i>	<i>-5,5 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>15,2 %</i>	<i>31,8 %</i>	<i>42,2 %</i>	<i>55,9 %</i>	<i>65,2 %</i>	<i>73,0 %</i>

Quelle: AGE B (2018), Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischen Anteils des Mülls. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

Tabelle A - 7: Primärenergieverbrauch im Referenzszenario (REF), 2008-2035

Energieträger	2008	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.525	1.343	1.336	1.164	1.128
Steinkohle	1.823	1.779	1.650	1.423	1.453	1.232	1.223
Mineralöl	4.974	4.765	4.594	4.508	4.237	3.957	3.719
Fossile Gase	3.219	3.301	3.169	3.061	3.015	2.979	2.810
Müll	192	234	257	250	232	222	220
Kernenergie	1.623	1.534	923	728	0	0	0
Biomasse ^a	934	1.164	1.150	1.260	1.267	1.237	1.266
Windenergie	149	140	288	479	534	632	706
Wasserkraft	73	76	74	77	77	77	78
Solarenergie	31	61	165	189	248	305	337
Geothermie und Umweltwärme	17	20	46	56	68	75	80
Stromhandelssaldo	-81	-64	-193	-190	-151	-219	-278
Synthetische Kraftstoffe	0	0	0	0	0	0	0
PEV gesamt^b	14.521	14.526	13.648	13.187	12.316	11.663	11.290
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-6,0 %</i>	<i>-9,2 %</i>	<i>-15,2 %</i>	<i>-19,7 %</i>	<i>-22,2 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>8,3 %</i>	<i>10,1 %</i>	<i>12,6 %</i>	<i>15,6 %</i>	<i>17,8 %</i>	<i>19,9 %</i>	<i>21,9 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkungen: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

Tabelle A - 8: Primärenergieverbrauch im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2008-2035

Energieträger	2008	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.525	1.346	1.346	630	539
Steinkohle	1.823	1.779	1.650	1.424	1.072	929	452
Mineralöl	4.974	4.765	4.594	4.504	4.076	3.586	3.152
Fossile Gase	3.219	3.301	3.169	3.036	3.084	2.995	2.761
Müll	192	234	257	247	227	218	217
Kernenergie	1.623	1.534	923	728	0	0	0
Biomasse ^a	934	1.164	1.150	1.265	1.300	1.306	1.357
Windenergie	149	140	288	479	658	766	909
Wasserkraft	73	76	74	77	77	77	78
Solarenergie	31	61	165	190	292	396	472
Geothermie und Umweltwärme	17	20	46	57	70	87	112
Stromhandelssaldo	-81	-64	-193	-191	-121	-163	-69
Synthetische Kraftstoffe	0	0	0	0	0	0	53
PEV gesamt^b	14.521	14.526	13.648	13.160	11.780	10.827	10.034
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-6,0 %</i>	<i>-9,4 %</i>	<i>-18,9 %</i>	<i>-25,4 %</i>	<i>-30,9 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>8,3 %</i>	<i>10,1 %</i>	<i>12,6 %</i>	<i>15,7 %</i>	<i>20,3 %</i>	<i>24,3 %</i>	<i>29,3 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkungen: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

Tabelle A - 9: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Referenzszenario (REF), 2016-2035

Energieträger	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	91	76	61	49	41
Steinkohle	509	486	465	444	423
Mineralöl	3.382	3.362	3.068	2.793	2.523
Fossile Gase	2.250	2.185	2.114	2.025	1.930
Müll	61	54	48	44	42
Sonstige	13	0	0	0	0
Biomasse ^a	584	626	640	633	660
Solarenergie	28	41	55	66	77
Geothermie und Umweltwärme	44	54	65	72	76
Strom	1.863	1.866	1.809	1.771	1.782
Fernwärme	410	483	503	514	524
Synthetische Kraftstoffe	0	0	0	0	0
Endenergieverbrauch gesamt	9.236	9.233	8.826	8.412	8.079
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-4,4 %</i>	<i>-8,9 %</i>	<i>-12,5 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Tabelle A - 10: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr (Jan 2020)), 2016-2035⁴⁸

Energieträger	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	91	72	56	46	39
Steinkohle	509	484	455	409	351
Mineralöl	3.382	3.359	2.929	2.473	2.027
Fossile Gase	2.250	2.183	2.096	1.957	1.786
Müll	61	51	43	40	39
Sonstige	13	0	0	0	0
Biomasse ^a	584	632	669	697	748
Solarenergie	28	42	57	69	78
Geothermie und Umweltwärme	44	55	67	83	108
Strom	1.863	1.859	1.816	1.813	1.881
Fernwärme	410	476	486	495	508
Synthetische Kraftstoffe	0	0	0	8	61
Endenergieverbrauch gesamt	9.236	9.212	8.674	8.090	7.625
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-0,3 %</i>	<i>-6,1 %</i>	<i>-12,4 %</i>	<i>-17,4 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

⁴⁸ Wasserstoffherstellung in der Industrie wird unter Stromverbrauch bilanziert und ist somit nicht in synthetischen Kraftstoffen enthalten.

Tabelle A - 11: Vergleich der Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes und der berechneten Emissionen im Szenario Klimaschutzprogramm 2030 (KSPr) in den Sektoren Gebäude und Verkehr

Jahresemissionsmenge (Mio. t CO ₂ e)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gebäude – Ziel	118	113	108	103	99	94	89	84	80	75	70
KSPr	124,8	121,0	117,1	113,2	109,3	105,4	101,7	98,0	94,3	90,5	86,8
Abweichung	6,8	8,0	9,1	10,2	10,3	11,4	12,7	14,0	14,3	15,5	16,8
Verkehr – Ziel	150	145	139	134	128	123	117	112	106	101	95
KSPr	166,3	163,1	159,8	156,5	153,3	150,0	145,7	141,4	137,1	132,7	128,4
Abweichung	16,3	18,1	20,8	22,5	25,3	27,0	28,7	29,4	31,1	31,7	33,4

Quelle: (Bundesregierung 2019b), Berechnungen Öko-Institut und IREES