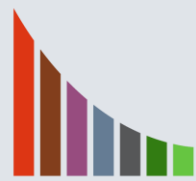


Unterrichtung

durch den Expertenrat für Klimafragen

**Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen
für das Jahr 2022 – Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten**



Expertenrat
für Klimafragen

Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022

Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-
Klimaschutzgesetz





17. April 2023

Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022

**Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-
Klimaschutzgesetz**



Impressum

Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15, 10117 Berlin

Tel.: +49 30 30 8903 5575

info@expertenrat-klima.de

www.expertenrat-klima.de

Erschienen am 17.04.2023 | Version vom 17.05.2023

Die Veröffentlichungen des ERK sind unter www.expertenrat-klima.de kostenlos verfügbar.

Zur sprachlichen Gleichbehandlung: Als Mittel der sprachlichen Darstellung aller sozialen Geschlechter und Geschlechtsidentitäten wird in diesem Gutachten bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, der Genderstern (z. B. Leser*innen) verwendet.

Zitierweise für diese Publikation: Expertenrat für Klimafragen (2023): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de>

©Expertenrat für Klimafragen

Die Vervielfältigung und Verbreitung originären Text- und Bildmaterials des ERK ist, auch auszugsweise, mit Quellenangabe für nicht-kommerzielle Zwecke gestattet. Text- und Bildmaterial aus Quellen Dritter unterliegt den urheberrechtlichen Bedingungen der jeweiligen Quellen.

Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

Die Ratsmitglieder bedanken sich für die sachkundige und engagierte Unterstützung durch die Mitarbeiter*innen des wissenschaftlichen Stabes und der Geschäftsstelle des ERK.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär) • Jessica Berneiser • Marc Blauert • Iska Brunzema • Nicolai Hans (Koordination) • Dr. Alexander Hurley • Theresa Iglaue • Dr. Katrin Kohnert • Dr. Swaroop Rao • Dr. Niklas Reinfandt • Simon Schnier • Dr. Franziska Schulz • Charlotte Senkpiel (Koordination) • Dr. Jan Stede • Dr. Annette Steingrube • Antonia Walter • Pia Willers • Marie-Louise Zeller

Geschäftsstelle

Lea Eisemann • Cynthia Schmitt

Im Laufe der Erarbeitung dieses Gutachtens hat der Expertenrat für Klimafragen und der wissenschaftliche Stab zudem mit vielen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterschiedlicher Institutionen zusammengearbeitet:

Mitarbeitende des Umweltbundesamtes und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, Hans Georg Buttermann (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.), Gunther Grimm (Fraunhofer ISE), Dr. Thorsten Müller (Stiftung Umweltenergierecht), Thomas Nieder (ZSW), Nicole Niesler (EWI), Leonhard Probst (Fraunhofer ISE), Eva Rath (EWI), und Franka Suder (Fraunhofer ISE), die während der Erstellung dieses Prüfberichts für Fachfragen zur Verfügung standen.

Der Expertenrat für Klimafragen dankt für die wertvolle Zusammenarbeit.



Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	9
Zusammenfassung und Kernaussagen	11
1 Auftrag und Herangehensweise	25
Teil I: Prüfung und Bewertung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres	29
2 Die Nationale Berichterstattung der Treibhausgasemissionen	29
2.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung	29
2.2 Daten und Methoden zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres	30
2.2.1 Übersicht der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres im Jahr 2022	30
2.2.2 Frühschätzung der Energiebilanz	34
2.2.3 Änderungen in Daten und Methoden der einzelnen Sektoren im Vergleich zum Vorjahr ..	35
2.3 Fazit zur Emissionsberichterstattung	39
3 Prüfung	41
3.1 Vorgehensweise bei der Prüfung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres	41
3.2 Prüfung der Berechnung der energiebedingten THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude	41
3.3 Nachträgliche Übermittlung von Korrekturen im Verkehrssektor durch das Umweltbundesamt	44
3.4 Fazit zur Prüfung	44
4 Gütebetrachtung	45
4.1 Allgemeine Überlegungen	45
4.2 Korrekturbedarfe	45
4.2.1 Zielsetzung und mehrjähriger Vergleich historischer Korrekturbedarfe	45
4.2.2 Nachträglicher Korrekturbedarf für das Berichtsjahr 2021	48
4.3 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2021	51
4.4 Einordnung und Vergleich von Unsicherheiten und Korrekturbedarfen	52
4.5 Einordnung der Punktschätzung im Gebäudesektor im Jahr 2022	54
4.6 Fazit zur Güte	56
5 Feststellungen	59
5.1 Feststellungen zur Zielerreichung der Vorjahresemissionen	59
5.2 Aktualisierung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen aufgrund des Ausgleichsmechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes (§ 4 Abs. 3 KSG)	64
5.3 Rückblickende Feststellungen für die Jahre 2020 und 2021	66

5.3.1	Abgleich der korrigierten Berechnungen der Vorjahresemissionen zu den KSG-Sektorzielen der Berichtsjahre 2020 und 2021	66
5.3.2	Feststellung zu den im Vorjahr vorgelegten Sofortprogrammen	68
5.4	Fazit zur Feststellung.....	69
Teil II: Weiterführende Betrachtungen		73
6	Einordnung der Emissionsentwicklung.....	73
6.1	Ex-post Betrachtungen	73
6.1.1	Sektorenübergreifende Dekompositionsanalyse der Treibhausgasemissionen	73
6.1.2	Kontrafaktische Szenarien	76
6.1.3	Sektorale Betrachtungen für das Berichtsjahr 2022	78
6.2	Betrachtung der Entwicklung wesentlicher Indikatoren	99
6.2.1	Energiewirtschaft.....	99
6.2.2	Industrie	106
6.2.3	Gebäude.....	109
6.2.4	Verkehr	113
7	Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes	117
7.1	Einordnung der Vereinbarungen des Koalitionsausschusses.....	117
7.1.1	Zu den jährlichen Minderungszielen (§ 4 KSG)	119
7.1.2	Zur Ergänzung der Berichterstattung (§ 5 KSG und § 10 KSG)	120
7.1.3	Zur Veränderung des Steuerungskriteriums (§ 8 Abs. 1 KSG).....	122
7.1.4	Zur Veränderung der Verantwortlichkeit (§ 8 Abs. 1 KSG)	128
7.1.5	Zu weiteren geplanten Neuregelungen	128
7.1.6	Fazit zu den Vereinbarungen des Koalitionsausschusses	130
7.2	Präzisierung der zulässigen Jahresemissionsmengen im Sektor Energiewirtschaft	130
7.3	Sonstige Aspekte des Bundes-Klimaschutzgesetzes	132
7.3.1	Prüfprozess bei Zielüberschreitung.....	132
7.3.2	Handlungsfolgen bei Zielüberschreitung	134
7.3.3	Methodenwechsel bei der Berechnung der Emissionsfaktoren	135
8	Literaturverzeichnis	137

Abbildungen

Abbildung Z1:	Schematische Darstellung der Verfahrensänderung in der Berechnung der Emissionsdaten im Jahr 2022 im Vergleich zum bisherigen Vorgehen	13
Abbildung Z2:	Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	15
Abbildung Z3:	Dekomposition der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen – Veränderung von 2019 auf 2020, von 2020 auf 2021 und von 2021 auf 2022	17
Abbildung Z4:	Produktionsentwicklung in den Jahren 2019–2022 in der gesamten Industrie und in den energieintensiven Industriezweigen	19
Abbildung Z5:	Ursachen für die Veränderung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor im Jahr 2022 gegenüber 2021 (Werte in Mt CO ₂ -Äq.).....	20
Abbildung Z6:	Veränderung der personenbezogenen Mobilität nach Verkehrsträgern in 2022 gegenüber 2019 in Prozent	21
Abbildung 1:	Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz.....	26
Abbildung 2:	Nomenklatur der CRF-Kategorien nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes	30
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der Verfahrensänderung in der Berechnung der Emissionsdaten im Jahr 2022 im Vergleich zum bisherigen Vorgehen	31
Abbildung 4:	Vorgehen des UBA zur Ermittlung der Emissionsdaten des Vorjahres für energiebedingte THG-Emissionen.....	33
Abbildung 5:	Schematische Darstellung von der zeitlichen Aufeinanderfolge diverser Veröffentlichungen.....	46
Abbildung 6:	Relative Korrekturbedarfe der Emissionsdaten gegenüber der jeweils vorangegangenen Emissionsschätzung der Berichtsjahre 2010 – 2021	47
Abbildung 7:	Absolute und relative Korrektur der Emissionsdaten zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten (BJ+1) und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+2) für das Berichtsjahr 2021 mit den GWPs des vierten und fünften Sachstandsberichts	49
Abbildung 8:	Gegenüberstellung der Unsicherheiten des Umweltbundesamtes mit den relativen Korrekturbedarfen im zweiten Inventarbericht gegenüber der jeweiligen Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres.....	53
Abbildung 9:	Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	71
Abbildung 10:	Dekomposition der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen – Änderungen im Vergleich zu 2000	74
Abbildung 11:	Dekomposition der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen – Veränderung von 2019 auf 2020, von 2020 auf 2021 und von 2021 auf 2022	75
Abbildung 12:	Wert der Emissionsdaten 2022 und Werte der zwei Fortschreibungen mit tatsächlich beobachtetem und prognostiziertem BIP	78

Abbildung 13:	Veränderung der Bruttostromerzeugung, der Stromnachfrage und des Nettostrom- exportes zwischen den Jahren 2021 und 2022.....	79
Abbildung 14:	Einfluss von Kapazitäts- und Witterungs-/Preiseffekt auf die Veränderung der realisierten Erzeugung fossiler und erneuerbarer Energieträger 2021 vs. 2022.....	81
Abbildung 15:	Veränderung CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung nach Energieträgern zwischen den Jahren 2021 und 2022.....	83
Abbildung 16:	Entwicklung der Großhandelspreise für Strom im Jahr 2021 und 2022	84
Abbildung 17:	Entwicklung der Indizes des Erzeugerpreises Erdgas (bei Abgabe an die Industrie), Erzeugerpreises Strom (bei Abgabe an gewerbliche Anlagen) und Erzeugerpreises Strom (bei Abgabe an Sondervertragskunden)	87
Abbildung 18:	Produktionsentwicklung in den Jahren 2019–2022 in der gesamten Industrie und in den energieintensiven Industriezweigen	88
Abbildung 19:	Vergleich der absoluten Veränderung des Endenergieverbrauchs im Industriesektor in den Jahren 2021 und 2022 und die anteilige Veränderung im Energiemix in Prozentpunkten ...	91
Abbildung 20:	Ursachen für die Veränderung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2022 gegenüber 2021 (Werte in Mt CO ₂ -Äq.).....	93
Abbildung 21:	Entwicklung der Großhandels- und Verbraucherpreise von Erdgas und leichtem Heizöl.....	95
Abbildung 22:	Entwicklung der Preise für Benzin und Diesel im Jahr 2022	97
Abbildung 23:	Veränderung der personenbezogenen Mobilität nach Verkehrsträgern in 2022 gegenüber 2019 in Prozent	98
Abbildung 24:	Entwicklung der installierten Leistung von Wind auf See im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	100
Abbildung 25:	Entwicklung der installierten Leistung von Wind an Land im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	101
Abbildung 26:	Entwicklung der installierten Leistung von Photovoltaik im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	102
Abbildung 27:	Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energieträger am Bruttostromverbrauch im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien.....	103
Abbildung 28:	Entwicklung der installierten Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien.....	104
Abbildung 29:	Entwicklung der installierten Leistung von Erdgas im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien für Gase und Wasserstoff.....	105
Abbildung 30:	Entwicklung des Anteils der fossilen Energieträger am Endenergieverbrauch der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	106
Abbildung 31:	Entwicklung der absoluten Werte der fossilen Energieträger des Endenergieverbrauchs der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien.....	107
Abbildung 32:	Entwicklung des Anteils von Strom am Endenergieverbrauch der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	108

Abbildung 33:	Entwicklung des Anteils von Erdgas am Endenergieverbrauch der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	109
Abbildung 34:	Entwicklung des Bestands der Heizungs-Wärmepumpen im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	110
Abbildung 35:	Verkaufte Heizungs-Wärmepumpen pro 1000 Haushalte im Jahr 2022.....	111
Abbildung 36:	Entwicklung des Anteils der fossilen Heizstruktur im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien.....	112
Abbildung 37:	Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energieträger am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte im Vergleich zur politischen Zielsetzung	113
Abbildung 38:	Entwicklung des Bestands an Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien	114
Abbildung 39:	Entwicklung des Bestands an Fahrzeugen mit fossilem Antrieb im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien.....	115
Abbildung 40:	Entwicklung des Anteils des Schienengüterverkehrs an der Güterverkehrsleistung im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“ Studien	116

Tabellen

Tabelle Z1:	Übersicht zur Einordnung der Beschlüsse des Koalitionsausschusses zur Novelle des Klimaschutzgesetzes	23
Tabelle 1:	Überblick über die Sektoren und CRF-Kategorien, die von der Vorgehensänderung der energiebedingten THG-Emissionen mit Bezug auf die Frühschätzung der Energiebilanz betroffen sind.....	32
Tabelle 2:	Absolute und relative Korrektur der Emissionsdaten zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten (BJ+1) und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+2) für das Berichtsjahr 2021 mit den GWPs des vierten und fünften Sachstandberichts.....	50
Tabelle 3:	Unsicherheit der sektoralen und aggregierten Emissionsschätzungen nach Angaben des Umweltbundesamtes	52
Tabelle 4:	Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2022 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)	60
Tabelle 5:	Angepasste sektorspezifische Jahresemissionsmengen für die Jahre 2023–2030 (in kt CO ₂ -Äq.).....	65
Tabelle 6:	Gerundete Jahresemissionen der KSG-Sektoren gemäß Umweltbundesamt sowie zulässige Jahresemissionsmengen gemäß Anlage 2 KSG	66
Tabelle 7:	Gerundete Jahresemissionen der KSG-Sektoren gemäß Umweltbundesamt sowie zulässige Jahresemissionsmengen gemäß Anlage 2 KSG	67
Tabelle 8:	Veränderung von Endenergieverbrauch (EEV), Brennstoffeinsatz, Erdgaseinsatz und Produktion im Industriesektor im Jahr 2022 im Vergleich zum Vorjahr	89

Tabelle 9:	Übersicht zur Einordnung der Beschlüsse des Koalitionsausschusses zur Novelle des Klimaschutzgesetzes	118
Tabelle 10:	Exemplarische Darstellung von Optionen zur Ausgestaltung des Auslösemechanismus bei einer Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im Sinne des Beschlusspapiers des Koalitionsausschusses	124
Tabelle 11:	Jahresemissionsmengen für die Energiewirtschaft (in Mt CO ₂ -Äq.) mit linear interpolierten Zwischenzielen ohne und unter Anwendung des Ausgleichsmechanismus ab dem Jahr 2021	132

Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BECCS	Bioenergie mit CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz (Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BJ	Berichtsjahr
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BVE	Berechnung der Vorjahresemissionsdaten
CCS	Carbon Capture and Storage
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CRF	Common Reporting Format der Europäischen Klimaberichtserstattung
DACCS	direkte CO ₂ -Abscheidung aus der Luft und anschließende Speicherung
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
EBZ	Energiebilanzzeile
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EnSikuMaV	Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über kurzfristig wirksame Maßnahmen (Kurzfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung)
EnSimiMaV	Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen (Mittelfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung)
ERK	Expertenrat für Klimafragen
ESR	Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation)
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU-Emissionshandelssystem/Handelssystem Emissionszertifikate (European Emissions Trading System)
F-Gase	fluorierte Treibhausgase
FKWs	Fluorkohlenwasserstoffe
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GW	Gigawatt

GWP	Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential)
IPCC	Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
HEV	Hybridfahrzeug (Hybrid Electric Vehicle)
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
kt	Kilotonne
LULUCF	Land Use Land Use Change and Forestry
Mt	Megatonne
N ₂ O	Lachgas
NF ₃	Stickstofffluorid
PEV	Primärenergieverbrauch
PFC	Perfluorcarbone
PHEV	Plug-in-Hybrid (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
Pkw	Personenkraftwagen
SF ₆	Schwefelhexafluorid
THG	Treibhausgas
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
VCI	Verband der Chemischen Industrie e. V.
ZSE	Zentrales System Emissionen

Kurzzusammenfassung

In diesem gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) erstellten Bericht prüft und bewertet der Expertenrat für Klimafragen (ERK) die am 15. März 2023 vom Umweltbundesamt nach sieben Sektoren gegliederte Berechnung der Vorjahres-Treibhausgasemissionen von Deutschland. Der Expertenrat findet bis auf einen geringfügigen Korrekturbedarf bei den Emissionen des Verkehrssektors keinen Anhaltspunkt, dass das Umweltbundesamt bei der Berechnung der Vorjahresemissionen zu anderen Ergebnissen hätte kommen müssen. Danach sind die Emissionen im Jahr 2022 gegenüber 2021 von 760,4 auf 746,2 Mt CO₂-Äq. um 1,9 % gesunken. Die berichteten Emissionswerte lagen – wie auch schon im Jahr 2021 – für den Verkehrs- und den Gebäudesektor oberhalb der jahresscharf im Klimaschutzgesetz vorgegebenen Zielwerte. Demnach müssen die für diese Sektoren zuständigen Ministerien innerhalb von drei Monaten ein Sofortprogramm vorlegen. Für die restlichen im Gesetz genannten Sektoren lagen die Emissionswerte unterhalb der Zielwerte.

Dieses Jahr hat das Umweltbundesamt eine Umstellung auf eine stärker modellbasierte Methode vorgenommen, so dass sich das Vorgehen nun weitgehend mit demjenigen der offiziellen Emissionsberichterstattung an die Vereinten Nationen deckt. Unverändert birgt der frühe Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres aber hohe Unsicherheiten, insbesondere auch in Verbindung mit den im Jahr 2022 stark veränderten Rahmenbedingungen.

Das Emissionsgeschehen im Jahr 2022 war stark von der Energiepreiskrise geprägt. Nach einer Überschlagsrechnung hätten die Emissionen um rund 9 Mt CO₂-Äq. höher gelegen, wenn das Wachstum der Wirtschaftsleistung nicht in Folge des Krieges in der Ukraine geringer als erwartet ausgefallen wäre. Insbesondere ist die deutliche Zielunterschreitung im Industriesektor im Jahr 2022 im Wesentlichen auf energiepreisbedingte Produktionsrückgänge in der energieintensiven Industrie zurückzuführen und könnte daher von temporärer Natur sein. Dies wird dadurch untermauert, dass letztes Jahr mit dem Wissen von heute und den aktualisierten Daten aus dem Inventarbericht auch für den Sektor Industrie ein Sofortprogramm notwendig gewesen wäre. Die Energiewirtschaft hat zwar das Sektorziel knapp unterschritten, gegenüber dem Vorjahr sind die THG-Emissionen allerdings in diesem Sektor um 10,7 Mt CO₂-Äq gestiegen. Zudem wäre die Verfehlung des Sektorziels im Gebäudesektor ohne verschiedene für die Emissionsentwicklung günstige Effekte wie die milde Witterung und Einsparungen durch geändertes Heizverhalten noch deutlich größer ausgefallen. Im Verkehrssektor ist die notwendige Trendwende weiterhin nicht zu beobachten, die Emissionsentwicklung blieb auf gleichbleibend hohem Niveau. Auch verlief der Rückbau des fossilen Kapitalstocks und der Aufbau von nicht-fossilen Alternativen im Jahr 2022 deutlich langsamer als in den Zielen der Bundesregierung oder den Klimaneutralitätsszenarien anvisiert.

Vor dem Hintergrund der Herausforderung der Zielerreichung in allen emissionsstarken Sektoren ordnet der Expertenrat auch die Eckpunkte aus dem Beschlusspapier des Koalitionsausschusses zur Novelle des Klimaschutzgesetzes ein. Während einige der geplanten Änderungen das Erreichen der Klimaschutzziele aus dem Klimaschutzgesetz erkennbar und nachhaltig unterstützen können, bergen andere die Gefahr einer Abschwächung der Gesetzeswirkung.

Insgesamt empfiehlt der Expertenrat dem Gesetzgeber, die vorgeschlagenen Änderungen des Klimaschutzgesetzes sehr sorgfältig auf Vor- und Nachteile zu prüfen. Nachdrücklich plädiert der Expertenrat für eine Weiterverfolgung eines Budgetansatzes und eine klare Umsetzung dessen im Kontext der geplanten Novelle. Zudem weist der Expertenrat auf die tendenzielle Schwächung der Ressortverantwortung hin und liefert eine kritische Einordnung der veränderten Steuerungslogik. Eine abschließende Beurteilung der Überlegungen des Koalitionsausschusses ist allerdings aufgrund noch offener Fragen zur Ausgestaltung nur auf Basis der konkreten Ausformulierungen des Gesetzestextes möglich.

Zusammenfassung und Kernaussagen

Teil I: Prüfung und Bewertung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres

- Z1 Im Rahmen der Erstellung der Treibhausgasemissionsdaten des Jahres 2022 gab es wesentliche Verfahrensänderungen im Vergleich zum Vorjahr.** Grundlage der Verfahrensumstellung ist die Erstellung einer Frühschätzung der Energiebilanz durch die AG Energiebilanzen e.V. (AGEB), für deren Erstellung ein Hybrid-Ansatz gewählt wurde. Dies stellt aus Sicht des Expertenrats methodisch einen deutlichen Fortschritt und eine weitgehende Vereinheitlichung des Vorgehens auf allen Etappen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres dar und ist daher grundsätzlich positiv zu sehen. Der Ansatz der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz wird vom Expertenrat als plausibel und gut nachvollziehbar bewertet.
- Z2 An der begrenzten Verfügbarkeit vollständiger amtlicher Statistiken zum Zeitpunkt der Emissionsdatenerstellung hat sich jedoch grundsätzlich nichts geändert.** Die dadurch notwendigen Schätzungen fehlender Werte erfolgen nun nicht mehr am Umweltbundesamt durch eingehende Expert*innenschätzungen, sondern unterliegen der AGEB mit Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz. Da das Umweltbundesamt nun das standardisierte Vorgehen der Inventarberichterstattung anwendet, erfolgt keine eingehende Plausibilisierung der Eingangsdaten mehr. Dies wird vom Expertenrat für Klimafragen (ERK) insbesondere in Jahren mit Sondereffekten jedoch als sinnvoll erachtet. Ein direkter Vergleich zwischen alter und neuer Methode ist dem Expertenrat aufgrund mangelnden vollständigen Einblicks in die Gesamtheit der zugrundeliegenden Daten und Methoden nicht möglich.
- Z3 Bei der diesjährigen Prüfung liegt der Fokus auf den Sektoren und CRF-Kategorien, bei deren Berechnung es zu grundlegenden Änderungen am Vorgehen gekommen ist.** Die Prüfung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres umfasst die Aktivitätsdaten der von dieser Umstellung betroffenen Sektoren Energiewirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.1), Industrie (CRF-Kategorie 1.A.2) und Gebäude (CRF-Kategorien 1.A.4.a i und 1.A.4.b i), die knapp zwei Drittel der Gesamtemissionen umfassen. Die weitere Verwendung der Aktivitätsdaten durch das Umweltbundesamt folgt der Berechnungslogik, welche auch in der Inventarberichterstattung zum Einsatz kommt, und wurde vom Expertenrat anhand einer einzelnen Stichprobe nachvollzogen und darüber hinaus nicht geprüft.
- Z4 Die in den geprüften CRF-Kategorien verwendete Datenbasis ist aus Sicht des Expertenrats umfassend und aktuell, aber nur im Sektor Energiewirtschaft frei von größeren Unsicherheiten.** Nach der Methodenumstellung ist die Frühschätzung der Energiebilanz die wesentliche Datenquelle für die Berechnung der Treibhausgasemissionen in den geprüften Sektoren (siehe Abbildung Z1). Unsicherheiten ergeben sich aufgrund des komplexen Modellansatzes sowie mangelnder Datenverfügbarkeit insbesondere im Sektor Industrie und noch ausgeprägter im Gebäudesektor, während die Berechnung für die Energiewirtschaft deutlich weniger mit derartigen Unsicherheiten behaftet ist. Insgesamt ist die Unsicherheit nach Einschätzung des Expertenrats für Klimafragen mindestens gleich groß oder größer als bei der Erstellung der Pilotstudie¹ angenommen. Eine detaillierte

¹ Die Pilotstudie wurde im Rahmen eines Projekts zur Frühschätzung der Energiebilanz 2020 erstellt und im Januar 2023 durch das Umweltbundesamt veröffentlicht (UBA 2023g). Das dort dokumentierte Vorgehen wurde in großen Teilen auch für die Frühschätzung des Jahres 2022 angewandt. Es umfasst einen Hybrid-Ansatz, bei dem je nach Datenverfügbarkeit vorzugsweise (amtliche) Statistiken direkt verwendet oder bei etwaigen Datenlücken Schätzverfahren eingesetzt werden, um das jeweilige

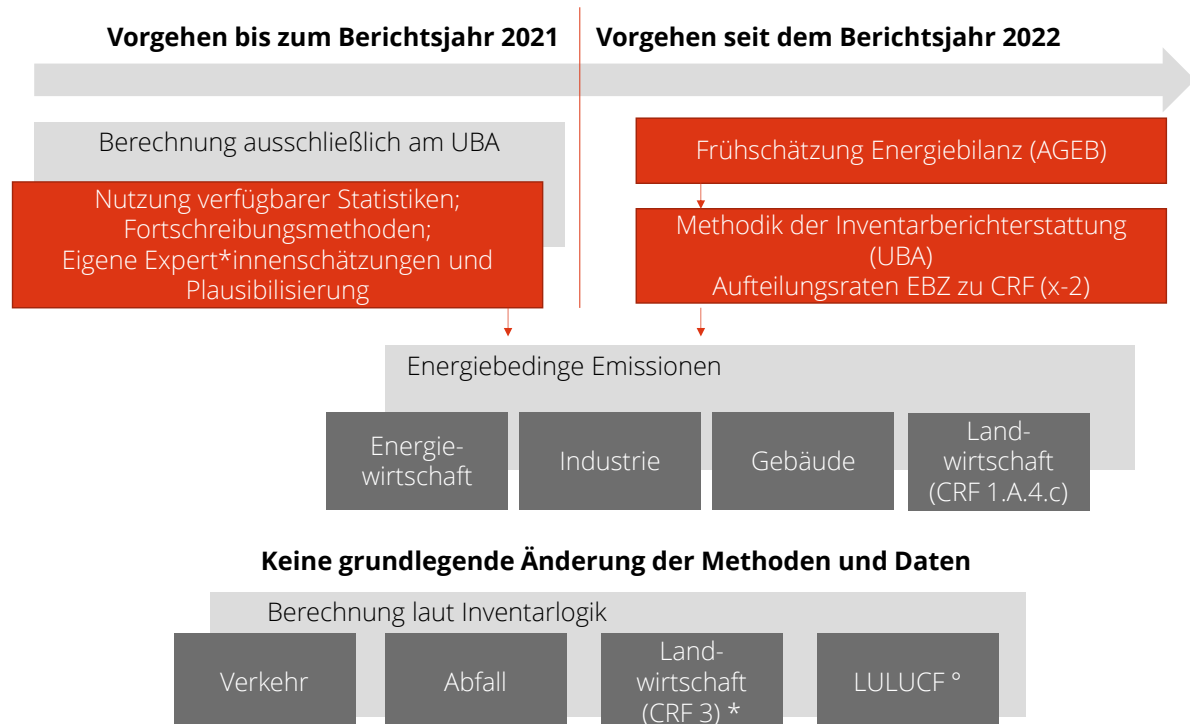
Prüfung der Frühschätzung der Energiebilanz konnte durch den Expertenrat im Rahmen dieses Gutachtens nicht vorgenommen werden.

- Z5 Der Expertenrat sieht eine wichtige Unschärfe in den gewählten Aufteilungsraten für Energiebilanzzeilen in der Energiebilanz der AGEb, welche nicht eindeutig einem Sektor zugeordnet werden können. Allerdings wurde die Aufteilung systematisch durchgeführt, und jede andere Aufteilungsmethode wäre aufgrund der Datenlage mit ähnlichen Schwächen behaftet gewesen. Bei knapper Zieleinhaltung bzw. -verfehlung in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie könnte die Unschärfe in einer für den KSG-Mechanismus relevanten Größenordnung liegen. Im Rahmen der Berechnung der Aktivitätsdaten werden am Umweltbundesamt die Energiebilanzfelder auf einzelne Quellgruppen, die letztlich eine CRF-Kategorie bilden, aufgeteilt. Für die Aufteilung der Aktivitätsdaten aus diesen Energiebilanzzeilen auf die Sektoren übernimmt das Umweltbundesamt die Aufteilungsraten einzelner Energiebilanzfelder auf Quellgruppen direkt aus dem Treibhausgasinventar (t-2). Sollten die tatsächlichen Aufteilungsraten im Jahr 2022 von denen des Jahres 2021 abweichen, könnte es hier zu Ungenauigkeiten in der Schätzung der Aktivitätsdaten kommen. Solche Anteilsverschiebungen zwischen Kalenderjahren sind grundsätzlich möglich, insbesondere in Jahren mit stark veränderten Rahmenbedingungen wie 2022 (z. B. Preiselastizitäten). Diese Unsicherheit und mögliche resultierende sektorale Verschiebungen von Emissionen konnten vom Expertenrat unter dem vorgegeben zeitlichen Rahmen der Prüfung wegen der Komplexität des Datenbank- und Berechnungssystems nicht quantitativ bestimmt werden. Jedoch ist festzuhalten, dass eine Festlegung auf alternative Aufteilungsraten über andere Ansätze möglich wäre, die zu einem anderen Ergebnis führen könnten. Beispiele hierfür sind Plausibilisierungen durch Expert*innen, wie sie beispielsweise in den letzten Jahren am Umweltbundesamt durchgeführt wurden.
- Z6 Im Sektor Verkehr wurde im Rahmen einer Validierungsrechnung eine Untererfassung von 635 kt CO₂-Äq. identifiziert, welche nachträglich korrigiert werden sollte. Der Sektor Verkehr ist im Berichtsjahr (BJ) 2022 nicht zum Gegenstand der Prüfung durch den Expertenrat für Klimafragen gemacht worden, da dieser im Vergleich zu den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude gegenüber den Vorjahren keiner methodischen Änderung unterlegen ist. Im Zusammenhang mit einer Plausibilisierungsrechnung anhand der Frühschätzung der Energiebilanz hat das Umweltbundesamt allerdings nachträglich die Emissionsmenge im Verkehrssektor um 635 kt CO₂-Äq erhöht. Diese Untererfassung resultierte aus einer Fehlbilanzierung bei der ursprünglichen Erfassung der Energiemenge für Diesel im nationalen Seeverkehr. Der Expertenrat bittet das Umweltbundesamt, die Berechnung der Emissionsdaten um diesen Fehler zu korrigieren und die entsprechenden Tabellen anzupassen. Diese Anpassung hat Auswirkungen auf den Umfang des vom zuständigen Ministerium nach § 8 Abs. 4 KSG vorzulegenden Sofortprogramms sowie für die Neuberechnung der zulässigen Jahresemissionsmengen des Verkehrssektors nach § 4 Abs. 3 KSG in den Folgejahren.
- Z7 Die vertiefende Prüfung hat aus Sicht des Expertenrats keine Anzeichen dafür ergeben, dass die verwendete Datengrundlage oder das methodische Vorgehen grundsätzlich, sowie speziell im Hinblick auf die Aufteilung der Energiebilanzzeilen für Aktivitätsdaten, ungeeignet wären oder in ungeeigneter Weise vorgegangen worden wäre. Im Ergebnis der durchgeführten Prüfung bedarf einzig die Untererfassung von Aktivitätsdaten im Verkehrssektor einer nachträglichen Korrektur. Die Prüfung liefert insbesondere keinen Hinweis, dass der beschriebene Methodenwechsel zu einer

Berichtsjahr abzubilden. Die verwendeten Modelle bedingen ein Maß an Unsicherheit bei der Abschätzung der Aktivitätsdaten. Die Pilotstudie weist für einzelne Schätzverfahren eine Prognosegüte aus und zeigt anhand eines Vergleichs der Frühschätzung der Energiebilanz mit der später veröffentlichten endgültigen Energiebilanz für das Jahr 2020 auf, welche Größenordnung Schätzfehler annehmen können.

Verschlechterung der Datenqualität geführt haben könnte. Dabei wird allerdings darauf hingewiesen, dass die Anwendung der bisherigen Methode zur Berechnung der Emissionsdaten, welche auf statistischen Daten, Fortschreibungen sowie Expert*innenschätzungen beruhte, zu anderen Ergebnissen hätte führen können. Grundsätzlich bestätigt die Prüfung die bekannte Ungenauigkeit in der Berechnung der Emissionsdaten, welche zu diesem frühen Zeitpunkt bei der Frühschätzung der Energiebilanz durch die AGEB und bei der nachfolgenden Aufteilung einzelner Energiebilanzzeilen auf CRF-Kategorien besteht. Diese Ungenauigkeit ist insbesondere im Hinblick auf die knappe Unterschreitung der zulässigen Jahresemissionsmengen für das Jahr 2022 im Sektor Energiewirtschaft bedeutsam.

Abbildung Z1: Schematische Darstellung der Verfahrensänderung in der Berechnung der Emissionsdaten im Jahr 2022 im Vergleich zum bisherigen Vorgehen



Eigene Darstellung. EBZ bedeutet Energiebilanzzeile und bezieht sich auf die Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023b). Die CRF-Kategorien entsprechen dem Common Reporting Format gemäß der UNFCCC Guideline (UNFCCC 2000). *Im Sektor Landwirtschaft wurde die neue Emissionsquelle Abfallgärreste und Komposte auf Böden berücksichtigt, ° im Sektor LULUCF wurde die neue Emissionsquelle Fischteiche berücksichtigt.

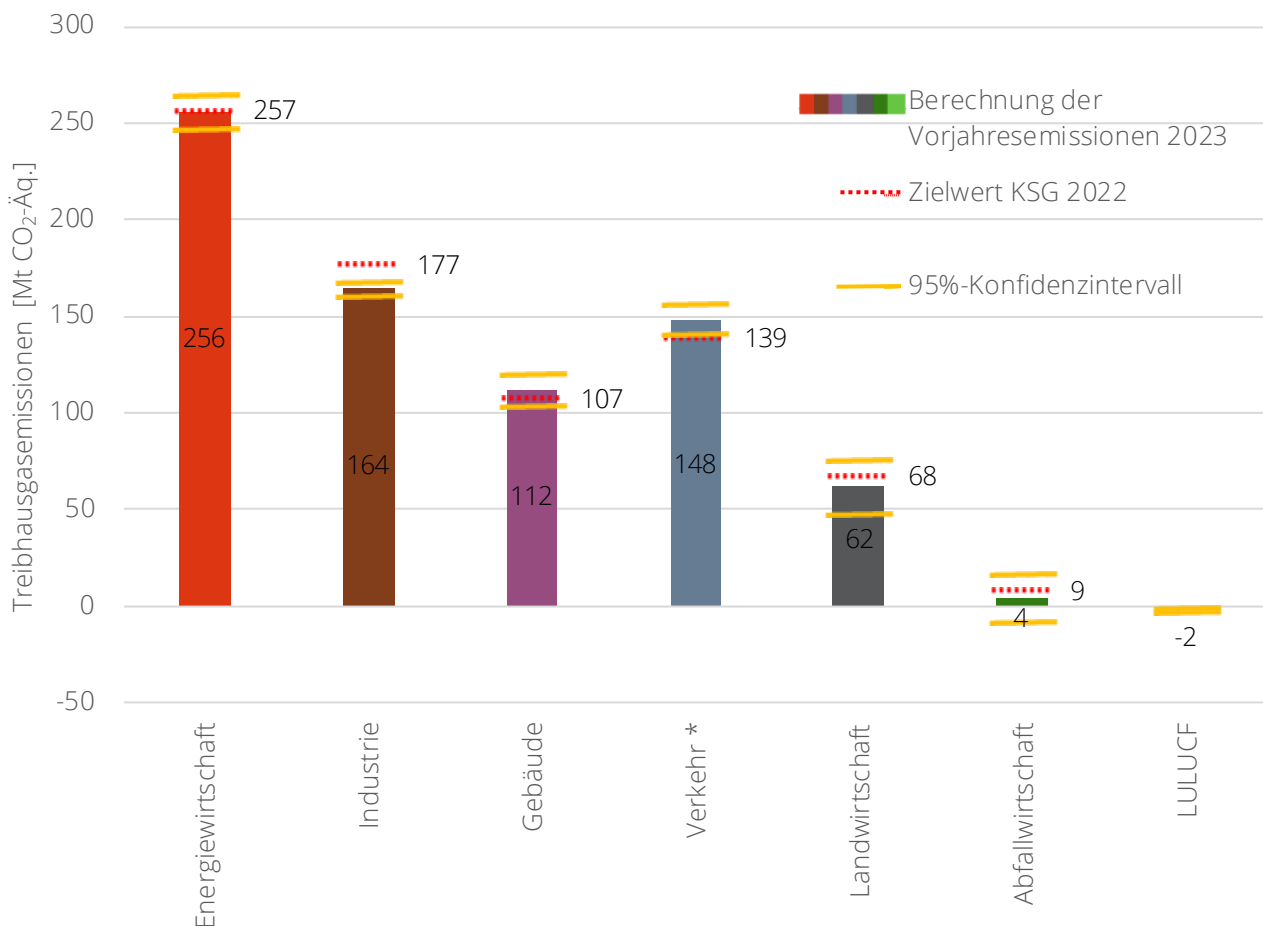
- Z8 Die Anpassungen durch die Neuberechnung der im Vorjahr berichteten Emissionen für die Jahre 2010 bis 2021 liegen im Rahmen der bislang schon beobachteten Streubreite und bestätigen damit die in früheren Berichten des Expertenrats ausgewiesenen Bandbreiten. Ebenso wird die frühere Einschätzung bestätigt, dass das Nationale Treibhausgasinventar, welches drei Jahre nach dem Berichtsjahr publiziert wird (BJ+3), als erste stabile Emissionsschätzung für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und die Gesamtemissionen (ohne LULUCF) angesehen werden kann. Die Korrekturbedarfe nehmen in der Regel ab, je weiter die berichteten Emissionsdaten und das Berichtsjahr auseinanderliegen. Sowohl die sektoralen als auch die Gesamtemissionen wurden nach dem zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+3) im Regelfall nur noch geringfügig

korrigiert. Für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr liegen die Mittel der absoluten Korrekturen an BJ+3 nunmehr unter 0,4 %, im Gebäudesektor bei 0,8 % und in der Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges bei etwa 3 % und 6,5 %. Hier ist mindestens bis zum zweiten nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventar (BJ+3) für das Berichtsjahr 2022 (Erstellungsjahr 2025) noch mit nennenswerten Korrekturen auf sektoraler Ebene zu rechnen.

- Z9 **Die Angaben des Umweltbundesamts zu den Unsicherheiten der Gesamtemissionen sowie der sektoralen Emissionen in der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2022 konnten nachvollzogen werden. Für den Sektor Industrie empfiehlt der Expertenrat eine Überprüfung der errechneten Angabe der Unsicherheit.** Zur Berechnung der Unsicherheiten hat das Umweltbundesamt die bisher unterstellten Werte fortgeschrieben und aufgrund des Methodenwechsels sowie der veränderten Rahmenbedingungen im Jahr 2022 mit einem sektorspezifischen Faktor bereinigt. Die Gegenüberstellung der historischen Korrekturbedarfe mit den vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheiten zeigt auf Ebene der Gesamtemissionen (Summe ohne LULUCF) sowie in allen Sektoren außer der Industrie keine Auffälligkeiten. Für den Sektor Industrie ergibt sich allerdings ein Hinweis darauf, dass die vom Umweltbundesamt angegebene Gütebetrachtung die Unsicherheit für den Emissionswert dieses Sektors in der Tendenz eher unterschätzt. Die tatsächliche Größenordnung der Korrekturen an der Vorjahresschätzung kann erst im Jahr 2025 einigermaßen verlässlich abgeschätzt werden, wenn das erste stabile Inventar für das Berichtsjahr 2022 vorliegen wird.
- Z10 **Die Güte der Schätzung der Emissionen für den Gebäudesektor wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, deren Einfluss auf die Höhe des Emissionswerts mit dem genutzten methodischen Ansatz nicht bewertbar ist.** Zum einen werden die im Berichtsjahr durch veränderte Rahmenbedingungen eingetretenen Verhaltensänderungen in dem Schätzmodell nicht berücksichtigt. Hinzu kommt zum anderen, dass die für die Emissionshöhe geschätzten Lagerbestandsänderungen bei leichtem Heizöl möglicherweise nicht den tatsächlichen entsprechen. Dies erhöht die Unsicherheit des ausgewiesenen Emissionswertes für den Gebäudesektor signifikant.
- Z11 **Die Punktwertschätzungen des Umweltbundesamtes bedeuten, dass die berichteten Emissionswerte für alle der in § 4 Abs. 1 KSG genannten Sektoren mit Ausnahme des Gebäudesektors und des Verkehrssektors unterhalb der Zielwerte lagen (siehe Abbildung Z2).** Der Gebäudesektor wird vom Umweltbundesamt in der Vorjahresschätzung 2022 mit 4,3 Mt CO₂-Äq. über dem Sektorziel, der Verkehrssektor nach Korrektur um 635 kt CO₂-Äq mit 9,7 Mt CO₂-Äq über dem Sektorziel ausgewiesen. Daraus leitet sich für beide Sektoren die Notwendigkeit zur Vorlage eines Sofortprogramms ab.
- Z12 **Der Expertenrat weist ausdrücklich darauf hin, dass der Energiesektor sein Emissionsziel nur sehr knapp erreicht hat und die Zielunterschreitung daher nur als etwa ebenso wahrscheinlich wie unwahrscheinlich festgestellt werden kann.** Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der Sektor Energiewirtschaft das in Anlage 2 KSG festgelegte Ziel von 257 Mt CO₂-Äq. mit einem Punktwert von 255,9 Mt CO₂-Äq. knapp eingehalten. Anders als für die anderen Sektoren enthält Anlage 2 KSG für den Sektor Energiewirtschaft lediglich Ziele für die zulässigen Emissionsmengen für die Stützjahre 2020, 2022 und 2030. Das Fehlen von Einträgen für die übrigen Jahre 2021 und 2023-2030 führt zu Unsicherheit bei der Anwendung des Anpassungsmechanismus nach § 4 Absatz 3 KSG. Einerseits hat das Umweltbundesamt im Vorjahr darauf verzichtet, den Anpassungsmechanismus auch für den Sektor Energiewirtschaft anzuwenden. Andererseits wendet das Umweltbundesamt den Mechanismus für die Energiewirtschaft in diesem Jahr zwar an, verteilt aber die Unterschreitung gleichmäßig auf die Jahre 2023–2030 (statt - der im Vorjahr angewandten Interpretation folgend - vollständig auf das nächste in Anlage 2 KSG befüllte Jahr 2030). Dieses unterschiedliche Vorgehen ist für den Expertenrat nicht nachvollziehbar. Sofern im Rahmen der

Novellierung des KSG auch weiterhin keine Jahresziele im Sektor Energiewirtschaft für die Jahre 2021 und vor allem 2023-2029 ausdrücklich festgelegt werden, bittet der Expertenrat um anderweitige Klärung.

Abbildung Z2: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes



KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz

Eigene Darstellung basierend auf der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 des Umweltbundesamtes und den ausgewiesenen Unsicherheiten und den 2022 Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes.

* Im Verkehrssektor wurde durch das Umweltbundesamt nach dem 15.03.2023 eine Untererfassung von 635 kt CO₂-Äq. aufgrund einer Validierungsrechnung festgestellt. Die Emissionsdaten liegen demnach 635 kt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt ursprünglich berichteten Wert. Mögliche Abweichungen ergeben sich durch Rundungsdifferenzen.

Z13 Der Expertenrat weist darauf hin, dass nach § 8 Abs. 1 KSG für die Sektoren Gebäude und Verkehr bis zum 17.07.2023 Sofortprogramme durch die verantwortlichen Ministerien vorzulegen sowie nach § 4 Abs. 3 KSG die Jahresemissionsziele für die Sektoren anzupassen sind. Das Umweltbundesamt wird gebeten, die Tabelle zur Anpassung nach § 4 Abs. 3 KSG zu überarbeiten, um der Korrektur des Werts für die Emissionen im Verkehrssektor sowie der Inkonsistenz bei der Anpassung in der Energiewirtschaft Rechnung zu tragen.

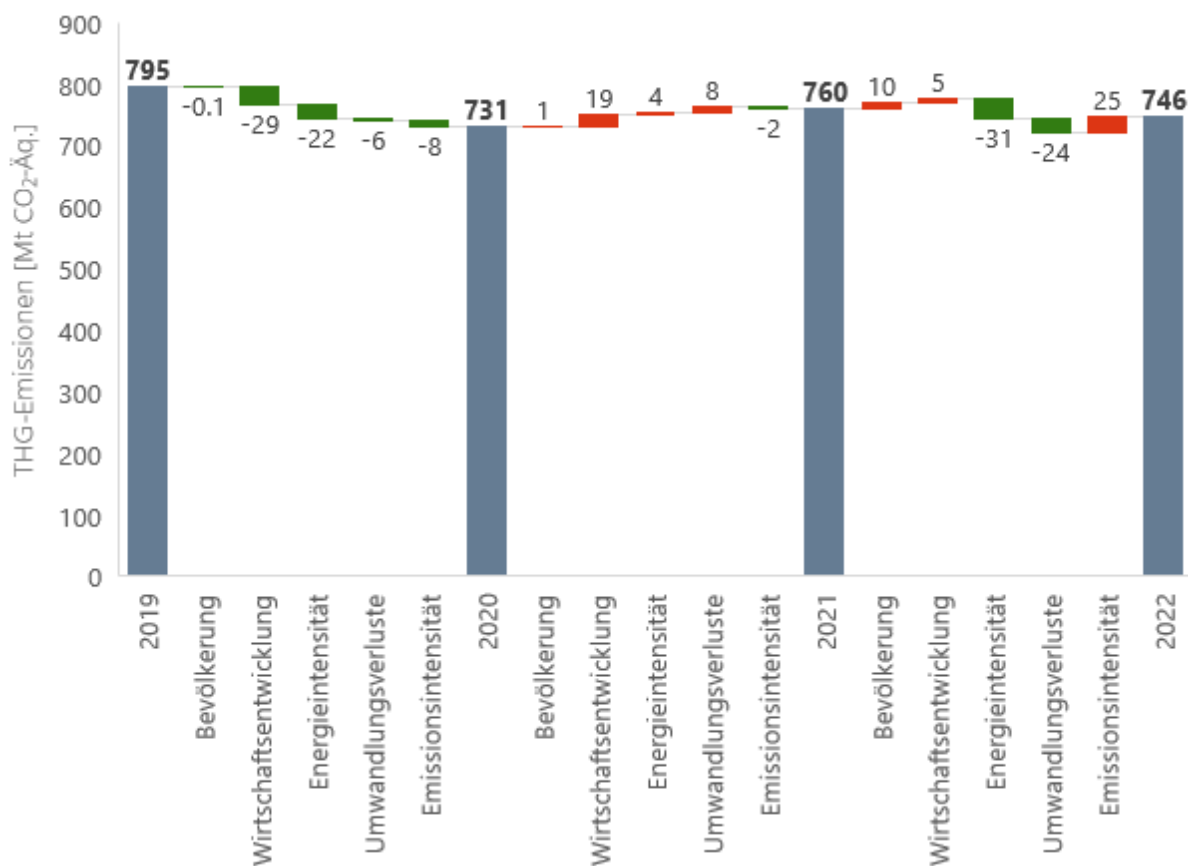
- Z14 Der Expertenrat stellt fest, dass der Inventarbericht BJ+3 für das Jahr 2020 nunmehr vorliegt und die **Zielüberschreitung des Sektors Gebäude im Jahr 2020 bestätigt**. Durch die Aktualisierung ergeben sich Änderungen in allen KSG-Sektoren, wobei die Gesamtemissionen mit 730,9 Mt CO₂-Äq. nunmehr etwas niedriger ausgewiesen werden. Die für den Gebäudesektor festgestellte Zielüberschreitung im Jahr 2020 wird durch die aktualisierten Daten auf leicht erhöhtem Niveau bestätigt, während allen anderen Sektoren weiterhin Zielerreichung zugewiesen werden kann. Somit hätte der Gebäudesektor im Abgleich mit der ersten stabilen Schätzung das KSG-Sektorziel um 5,2 Mt CO₂-Äq. statt den ursprünglichen 2 Mt CO₂-Äq. verfehlt.
- Z15 Der Expertenrat stellt fest, dass der Inventarbericht BJ+2 für das Jahr 2021 nunmehr vorliegt und die **Zielüberschreitung der Sektoren Gebäude und Verkehr im Jahr 2021 bestätigt**. Zudem hätte gemäß diesen Daten auch der Sektor Industrie die zulässige Jahresemissionsmenge im Jahr 2021 überschritten. Für das Jahr 2021 ergeben sich durch die Aktualisierung ebenfalls Änderungen in allen KSG-Sektoren, wobei die Gesamtemissionen sich nur im geringen Maße auf 760,4 Mt CO₂-Äq. geändert haben. Für Industrie, Gebäude und Landwirtschaft werden nunmehr höhere Werte und für die anderen Sektoren niedrigere Werte angegeben. Die für die Sektoren Gebäude und Verkehr im Jahr 2021 festgestellte Zielüberschreitung im Jahr 2021 wird durch die aktualisierten Daten bestätigt, und zwar in Höhe von 5 Mt CO₂-Äq. für Gebäude (plus 4,4 %) bzw. 1,8 Mt CO₂-Äq. für Verkehr (plus 1,2 %). Zudem hat basierend auf diesen Daten auch der Sektor Industrie im Jahr 2021 sein in Anlage 2 KSG gesetztes Ziel um 1,3 Mt CO₂-Äq. (plus 0,7 %) überschritten
- Z16 Der Expertenrat weist ausdrücklich darauf hin, dass im Sinne des materiellen Regelungsziels des KSG mit dem Wissen von heute im Jahr 2022 ein Sofortprogramm für den Sektor Industrie notwendig gewesen wäre. Gerade vor dem Hintergrund, dass die Zielerreichung des Sektors Industrie im Jahr 2022 vermutlich vor allem einer konjunkturellen Sondersituation zuzuschreiben ist, weist dieser Befund auf Handlungsbedarf auch in diesem Sektor hin. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung, die in diesem Sektor zu erwartende Emissionsentwicklung in den Jahren 2023–2030 auf der Grundlage der Ergebnisse des in Kürze erscheinenden neuen Projektionsberichts vertiefend zu prüfen und bei erkanntem Bedarf vorausschauende Maßnahmen einzuleiten. Für die mit der nachträglich festgestellten Zielverfehlung allgemein verbundene Problematik verweist der Expertenrat auf seine früheren Ausführungen zu diesem Thema (ERK 2021).
- Z17 Der Expertenrat stellt fest, dass die Bundesregierung den gesetzlichen Steuerungsmechanismus über die Vorlage von Sofortprogrammen bisher nur mit – im Verkehr erheblichen – Einschränkungen umgesetzt hat. Dadurch könnten aus Sicht des Expertenrats die Glaubwürdigkeit und Leistungsfähigkeit dieses Mechanismus, und damit des KSG insgesamt, ausgehöhlt werden.

Teil II: Weiterführende Betrachtungen – Einordnung der Emissionsentwicklung

- Z18 Im Jahr 2022 trugen die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung sowie die Emissionsintensität in der Summe über alle Sektoren zu einer Erhöhung der THG-Emissionen bei, wohingegen die Energieintensität und Umwandlungsverluste einen emissionsmindernden Effekt aufwiesen (siehe Abbildung Z3). Dies zeigt eine rechnerische Zerlegung der THG-Emissionen mittels einer Dekompositionsanalyse. Während der Anstieg der Emissionsintensität vornehmlich auf eine preisbedingte Verschiebung der Energieträgerstruktur von Erdgas zu Kohle in der Energiewirtschaft bzw. Heizöl in der Industrie zurückzuführen ist, erklärt sich der Rückgang der Energieintensität im Wesentlichen aus einer überdurchschnittlichen Produktionsminderung der energieintensiven Industrie bei sonst weitgehend stagnierender Produktion des verarbeitenden Gewerbes.

Z19 Die Emissionen im Jahr 2022 liegen um 49 Mt CO₂-Äq. (6,1 %) unter dem Wert des letzten Vorkrisenjahrs 2019. Würde sich diese Minderungsrate (von jährlich gut 2 %) über den Rest des laufenden Jahrzehnts fortsetzen, würde das jahresscharfe KSG-Ziel für 2030 um rund 190 Mt CO₂-Äq. und das kumulierte KSG-Ziel bis 2030 um rund 740 Mt CO₂-Äq. verfehlt. Die Treibhausgasemissionen sind in den Krisenjahren 2020 und 2022 im Vergleich zum Vorjahr jeweils gesunken, im Jahr 2021 allerdings zwischenzeitlich wieder gestiegen (siehe Abbildung Z3). Bei der Betrachtung der Dekomposition dieser Entwicklung fällt auf, dass in der Erholung nach dem von der Pandemie geprägten Jahr 2020 die Faktoren Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung in nennenswertem Umfang angestiegen sind. Im Erholungsjahr 2021 konnte dieser Anstieg nicht durch Veränderungen in der Struktur des Energiesystems kompensiert werden, eher im Gegenteil. Zudem wird die Kompensation bei Energieintensität und Umwandlungsverlusten im Jahr 2022 teilweise durch die Verschiebung hin zu emissionsintensiveren Energieträgern (Gas zu Öl bzw. Gas und Kernenergie zu Kohle) in ihrer Wirkung gemindert. Auch erscheint sie teilweise krisenbedingt und daher potenziell von begrenzter Dauer. Geht man insgesamt von einer im weiteren Verlauf des Jahrzehnts steigenden Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung aus, müssten zur Erreichung der KSG-Ziele deutlich stärker ausgeprägte kompensierende Verbesserungen bei Energie- und Emissionsintensität realisiert werden als in den vergangenen drei Jahren beobachtet.

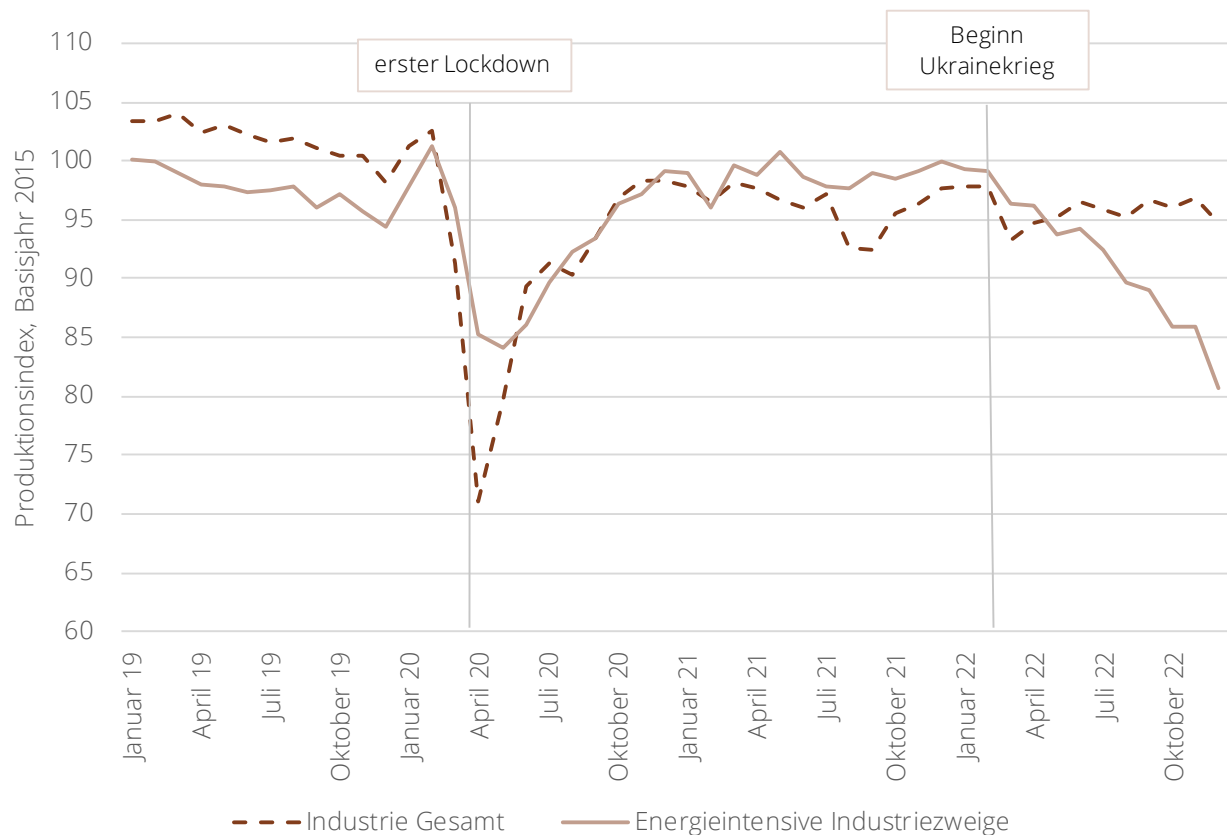
Abbildung Z3: Dekomposition der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen – Veränderung von 2019 auf 2020, von 2020 auf 2021 und von 2021 auf 2022



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich im Technischen Begleitdokument.

- Z20 Ohne das im Jahr 2022 in Folge des Krieges in der Ukraine geringer als erwartet ausgefallene Wachstum der Wirtschaftsleistung hätten nach einer Überschlagsrechnung die Treibhausgasemissionen um rund 9 Mt CO₂-Äq. höher gelegen. Dies zeigt ein Vergleich von Trendabschätzungen der Emissionen mit dem tatsächlichen und dem Ende 2021 erwarteten BIP. Ursachen der wirtschaftlichen Eintrübung waren neben der Energiepreiskrise vor allem in Folge des Krieges in der Ukraine auch andere Lieferkettenprobleme. Im Vergleich mit dem realen Emissionsgeschehen ergibt sich rechnerisch eine nicht durch das Bruttoinlandsprodukt (BIP) erklärte weitere Minderung gegenüber dem Trend von ebenfalls rund 9 Mt CO₂-Äq. Die so berechneten emissionsmindernden Effekte sind jedoch aufgrund methodischer Limitierungen kontrafaktischer Szenarien mit einer hohen Unsicherheit behaftet.
- Z21 Der Sektor Energiewirtschaft hat trotz eines Anstiegs der THG-Emissionen gegenüber dem Vorjahr um knapp 10,7 Mt CO₂-Äq. (+4,4 %) sein Sektorziel im Jahr 2022 knapp unterschritten. Trotz eines leichten Nachfragerückgangs im Zuge der wirtschaftlichen Eintrübung und einer Zunahme der Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen sind die Emissionen im Sektor Energiewirtschaft um 10,7 Mt CO₂-Äq. (+4,4 %) angestiegen. Verantwortlich für den Anstieg waren vor allem die Erhöhung des Emissionsfaktors der Stromerzeugung aufgrund einer Verschiebung von Kernenergie und Gas zu Kohle sowie eine gestiegene Nachfrage aus dem Ausland. Mit der Abschaltung der verbleibenden Kernkraftwerke zum 15. April 2023 und einer möglichen wirtschaftlichen Erholung könnte sich der Trend zu steigenden Emissionen auch im Jahr 2023 fortsetzen, was angesichts der nur knappen Unterschreitung des Sektorziels im Jahr 2022 die Zielerreichung bis 2030 in Frage stellen könnte. Vor diesem Hintergrund sowie dem geplanten, verstärkten Umstieg von fossilen Endenergieträgern auf Strom in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie empfiehlt der Expertenrat der Bundesregierung, die in diesem Sektor zu erwartende Emissionsentwicklung in den Jahren 2023–2030 auf der Grundlage der Ergebnisse des in Kürze erscheinenden neuen Projektionsberichts vertiefend zu prüfen und bei erkanntem Bedarf vorausschauende Maßnahmen einzuleiten.
- Z22 Die deutliche Zielunterschreitung im Industriesektor im Jahr 2022 war im Wesentlichen auf energiepreisbedingte Produktionsrückgänge in der energieintensiven Industrie zurückzuführen und könnte daher von temporärer Natur sein. Im Sektor Industrie sind die Emissionen im Jahr 2022 mit 19,1 Mt CO₂-Äq. (-10,4 %) deutlich gesunken. Allerdings lässt sich dieser Rückgang im Wesentlichen auf energiepreisbedingte Produktionsrückgänge in der energieintensiven Industrie zurückführen. Denn während die Produktion insgesamt nur leicht gesunken ist, hat insbesondere die energieintensive Industrie ihren Ausstoß stark verringert (siehe Abbildung Z4). Hieraus ergibt sich rechnerisch ein deutlicher Rückgang der Energieintensität der deutschen Industrie, vermutlich verstärkt durch einen ähnlichen Effekt auf Ebene der Prozesse. Beide Effekte mindern die Emissionen des Industriesektors. Im Gegenzug hat sich der Energiemix der Industrie von Gas und Strom zu Kohle und Öl verlagert, was die Emissionsintensität erhöht haben dürfte, aber bei weitem nicht in einem Umfang, der die emissionsenkend wirkenden Effekte hätte kompensieren können. Sollte sich die energieintensive Industrie in Deutschland rasch wieder erholen, könnten die im Jahr 2022 erzielten, überwiegend strukturell bedingten Emissionsrückgänge wieder verloren gehen und sich damit als nur von temporärer Natur erweisen. Auch industriepolitische Zielsetzungen wie beispielsweise im Green Industrial Plan, die auf eine verstärkte inländische Produktion auch energieintensiver Produkte abzielen, sollten aus Sicht der KSG-Ziele durch Maßnahmen zu einer Forcierung der technisch-organisatorisch bedingten Energieeinsparung und Treibhausgasminderung in der Industrie verknüpft werden.

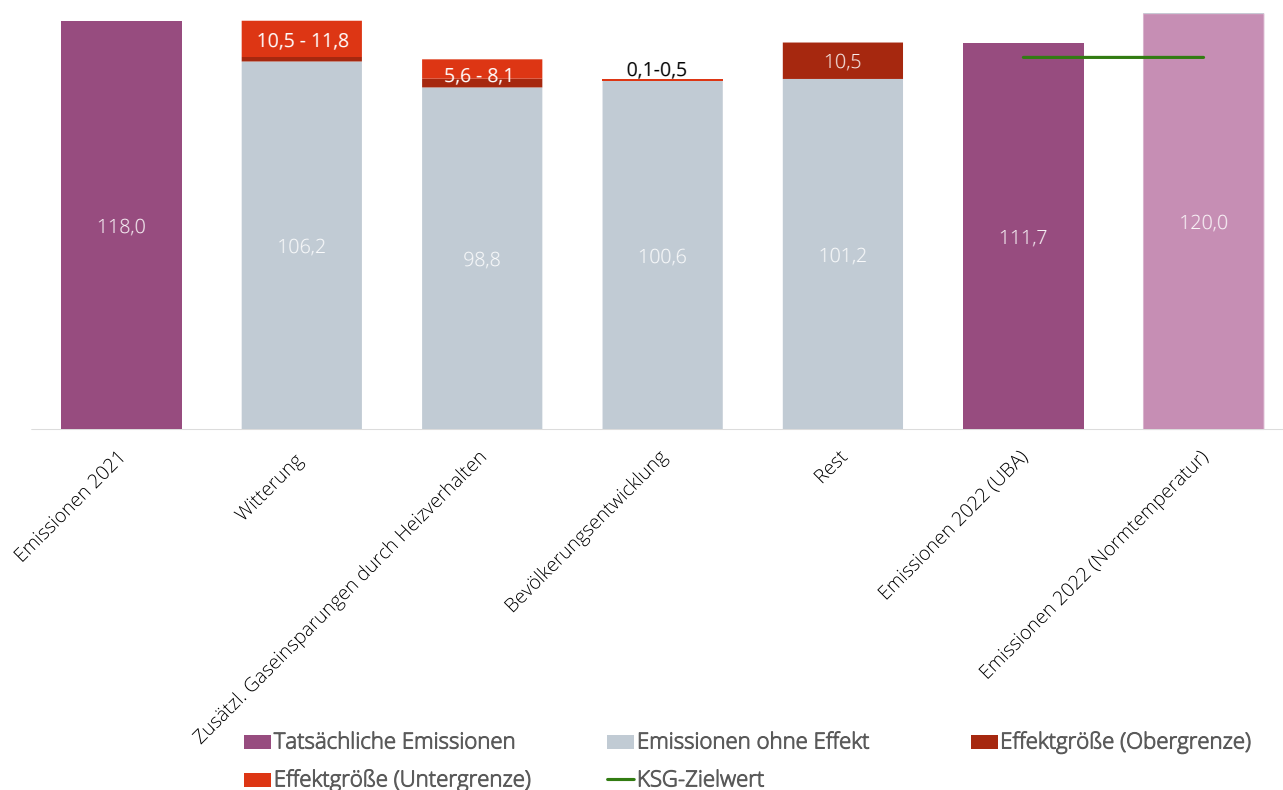
Abbildung Z4: Produktionsentwicklung in den Jahren 2019–2022 in der gesamten Industrie und in den energieintensiven Industriezweigen



Eigene Darstellung. Daten: (Destatis 2023c), X13 JDemetra+ kalender- und saisonbereinigt.

Z23 Der Sektor Gebäude weist gegenüber dem Jahr 2022 einen Rückgang der Emissionen in Höhe von 6,3 Mt CO₂-Äq. (-5,3 %) auf. Allerdings erklärt sich dieser Rückgang überwiegend aus der milden Witterung sowie möglicherweise nur temporären Veränderungen im Heizverhalten. Die trotz eines Rückgangs der THG-Emissionen erneute Verfehlung des Sektorziels im Gebäudesektor um 4,3 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022 wäre ohne verschiedene emissionsmindernde Effekte noch größer ausgefallen. Dazu gehörten vor allem die milde Witterung sowie Energieeinsparungen durch geändertes Heizverhalten infolge des Krieges in der Ukraine (siehe Abbildung Z5). Große Unsicherheit besteht zudem bezüglich der Höhe und Richtung des Lagereffekts von leichtem Heizöl. An der Struktur des Heizsystembestands hat sich auch 2022 wenig geändert. Weiterhin dominieren fossile Heizungen mit einem Anteil von über 75 %. Trotz eines stark wachsenden Marktanteils von Wärmepumpen waren Gasheizungen bei den neu eingebauten Heizungen die mit Abstand meistverkaufte Heiztechnologie.

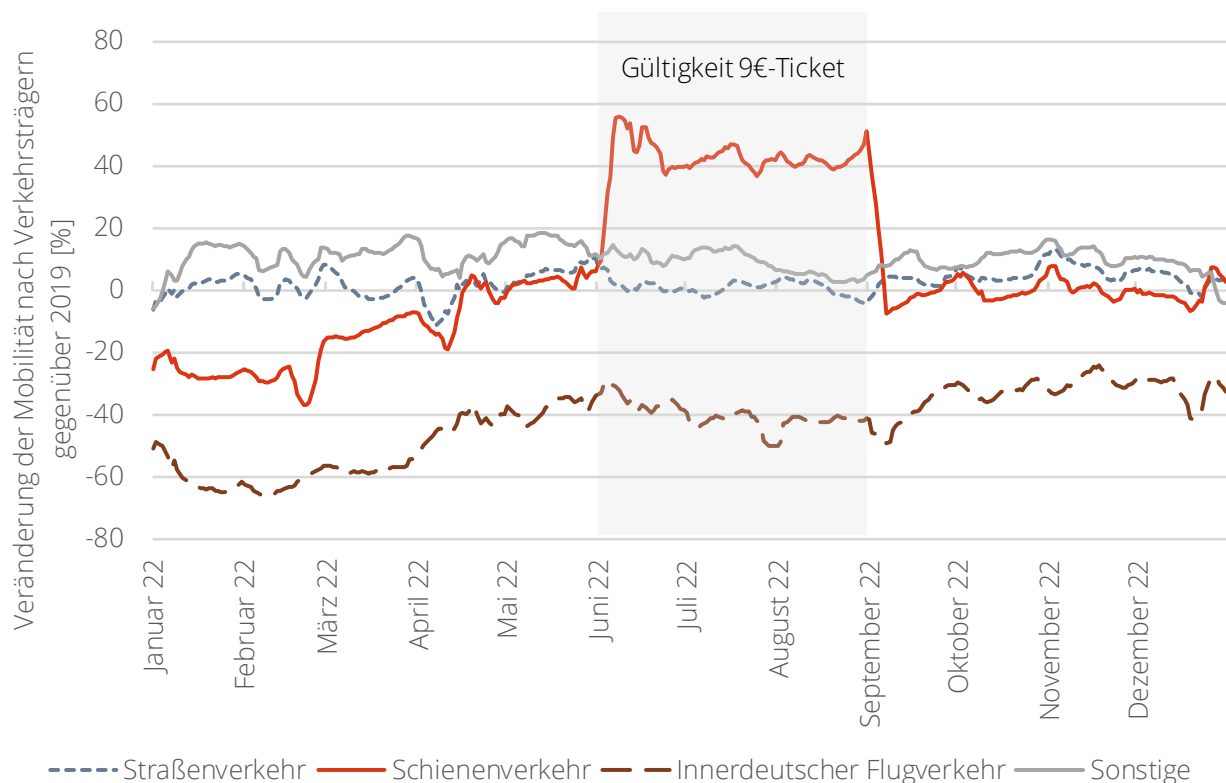
Abbildung Z5: Ursachen für die Veränderung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor im Jahr 2022 gegenüber 2021 (Werte in Mt CO₂-Äq.)



Eigene Darstellung auf Basis eigener Berechnungen. Die Abschätzung der Gaseinsparungen durch Heizverhalten basiert auf Ruhnau et al. (2022), Roth und Schill (2022) und Roth und Schmidt (2022). Die Abbildung zeigt die Veränderung der THG-Emissionen im Jahr 2022 im Vergleich zu 2021 anhand verschiedener Effekte im Jahr 2022. Für die Effekte wird eine Effektspannbreite angegeben. Die Höhe der grauen Balken stellt jeweils die verbleibende (hypothetische) Emissionsmenge nach Abzug oder Addition der jeweiligen Effekte dar. Bei den Effektspannbreiten werden Mittelwerte zur Verrechnung verwendet. Der Balken ganz rechts zeigt den Wert der Emissionen nach Durchführung einer Temperaturbereinigung.

Z24 Im Jahr 2022 kam es im Verkehrssektor im Personenverkehr trotz der gegenläufigen Wirkung gestiegener Kraftstoffpreise aufgrund der wieder zunehmenden Fahrleistung im Straßenverkehr bei nahezu konstant gebliebenem fossilem Bestand an Pkw zu keiner Trendänderung der Emissionsentwicklung (siehe Abbildung Z6). Im Jahr 2022 kam es zu verschiedenen Sondereffekten im Verkehrssektor, wie den gestiegenen Kraftstoffpreisen und temporär wirkenden politischen Ausgleichsmaßnahmen wie Tankrabatt und 9€-Ticket, die gegenläufig auf die THG-Emissionen wirkten. Die Höhe der Fahrleistung im Personenverkehr lag im Jahr 2022 nach den von der Covid-19-Pandemie beeinflussten Jahren wieder auf Vor-Pandemie-Niveau des Jahres 2019. Der Bestand an fossilen Fahrzeugen hat sich im Jahr 2022 nur marginal reduziert, während der Gesamtbestand an Fahrzeugen leicht zunahm. Die Elektromobilität folgte dem Trend der Jahre zuvor und nahm leicht zu, bewegt sich aber anteilig weiterhin auf einem sehr niedrigen Niveau. Vor diesem Hintergrund ist im Jahr 2022 keine Trendänderung der Emissionsentwicklung im Verkehr erkennbar. Die Emissionen stiegen im zweiten Jahr in Folge um 1,7 Mt CO₂-Äq. im Vergleich zum Vorjahr auf 148 Mt CO₂-Äq. an.

Abbildung Z6: Veränderung der personenbezogenen Mobilität nach Verkehrsträgern in 2022 gegenüber 2019 in Prozent



Eigene Darstellung. Ab 30 Kilometern Distanz, 7 Tage-Durchschnitt. Daten: Berechnungen des Statistischen Bundesamts basierend auf Mobilfunkdaten Teralytics (Destatis 2022c).

Z25 Der Rückbau des fossilen Kapitalstocks und der Aufbau von nicht-fossilen Alternativen verlief auch im Jahr 2022 deutlich langsamer als in Klimaneutralitätsszenarien vorgesehen. In seinem Zweijahresgutachten von November 2022 hat der Expertenrat bereits die Entwicklung wesentlicher Indikatoren mit Blick auf die Zielerreichung 2030 betrachtet. Die Weiterführung dieser Betrachtungen für das Jahr 2022 zeigt, dass die Zubauraten bei Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen zwar gegenüber dem Vorjahr zugenommen haben, sich aber zur Erreichung der politischen Ziele für das Jahr 2030 noch deutlich erhöhen müssten. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen. Auf der anderen Seite ist der fossile Kapitalstock in allen betrachteten Sektoren weitgehend konstant (Energie, Industrie, Verkehr) oder nur leicht rückläufig (Gebäude). Damit haben sich trotz der genannten positiven Impulse insgesamt die im Zweijahresgutachten des Expertenrats ausgeführten Beobachtungen zur unzureichenden Dynamik bei der Veränderung des Kapitalstocks auch im Jahr 2022 fortgesetzt.

Teil II: Weiterführende Betrachtungen – Weiterentwicklung des Klimaschutzgesetzes

Z26 Der Expertenrat hat sich bereits in der Vergangenheit mehrfach mit der Weiterentwicklung des KSG befasst und gibt auf dieser Basis eine Einordnung und empfehlende Hinweise zur geplanten Novelle des Klimaschutzgesetzes. Das Beschlusspapier des Koalitionsausschusses vom 28. März 2023 benennt Eckpunkte für eine Novellierung des Klimaschutzgesetzes. Der Expertenrat hat sich bereits in seinen vorherigen Berichten ausführlich zu möglichen Weiterentwicklungen des KSG geäußert. Auf dieser Basis

sieht der Expertenrat seine Empfehlungen teilweise aufgegriffen, gelangt aber zu einer kritischen Einschätzung bezüglich einiger Kernelemente des KSG-Mechanismus. Zudem werden weitere Empfehlungen gemacht, welche sowohl für die jetzige Fassung des KSG wie auch für die angestrebte zukünftige Fassung relevant sind

- Z27 Die im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses beschriebenen Eckpunkte zu einer Novellierung des KSG enthalten vier Eckpunkte, die aber Interpretationsspielraum zulassen.** Im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses vom 28. März 2023 werden insbesondere vier Eckpunkte für eine Novellierung des KSG genannt: 1) Verpflichtender, regelmäßiger Beschluss eines Klimaschutzprogramms im ersten Jahr einer Legislaturperiode; 2) verpflichtende Ergänzung der jährlichen Emissionsberichterstattung mit einer sektoralen Prognose der Entwicklung der Treibhausgasemissionen; 3) Anpassung des Steuerungsmechanismus des KSG; und 4) Festlegung von Zielen für Negativ-Emissionen. Generell lassen die Eckpunkte an vielen Stellen Interpretationsspielraum zu, der vom Expertenrat ausgeleuchtet wird.
- Z28 Insgesamt empfiehlt der Expertenrat für Klimafragen dem Gesetzgeber, die vorgeschlagenen Änderungen des Klimaschutzgesetzes sehr sorgfältig auf Vor- und Nachteile zu prüfen. Nachdrücklich plädiert der Expertenrat dabei für eine Weiterverfolgung eines Budgetansatzes und eine klare Umsetzung dessen im Kontext der geplanten Novelle des KSG (siehe Übersicht in Tabelle Z1).** Zudem weist der Expertenrat kritisch auf die tendenzielle Schwächung der Ressortverantwortung, den geplanten Übergang zu einem auf erst nach zweijähriger Wiederholung abstellenden Kriteriums für das Auslösen eines Sofortprogramms und den möglichen Verzicht auf die Einbeziehung von Ex-post-Daten in der Steuerungslogik hin. Ferner betont der Expertenrat die Notwendigkeit einer Absicherung der für die Projektion genutzten Daten, insbesondere wenn diese im Kontext des Auslösemechanismus Anwendung finden sollen. Insgesamt sieht der Expertenrat die Möglichkeit, dass die geplante Abschwächung der Kriterien für eine verpflichtende Befassung der Bundesregierung mit der Zielerreichung im Sinne des KSG die Gefahr einer Verfehlung der Treibhausgasminderungsziele erhöht.
- Z29 Der Expertenrat bittet die Bundesregierung um Klärung des methodischen Vorgehens in Bezug auf die fehlenden Sektorziele in der Energiewirtschaft.** Bereits im derzeitigen Klimaschutzgesetz ergeben sich offene Fragen angesichts der nur für die Jahre 2020, 2022 und 2030 quantitativ genannten Ziele für den Sektor Energiewirtschaft. Aus dem derzeitigen KSG ergeben sich dabei unterschiedliche und zugleich uneinheitliche Hinweise darauf, wie solche Zwischenziele konsistent zu definieren wären. Spätestens mit einer KSG-Novelle auf Basis einer Gesamtbetrachtung ist die Festlegung eines Budgetwertes (und damit von zulässigen Jahresemissionsmengen) für den Sektor Energiewirtschaft zwingend erforderlich, aber auch bei der für das Jahr 2023 gesetzlich anstehenden Überprüfung des Sektors nach § 8 Abs. 4 KSG. Der Expertenrat bittet daher den Gesetzgeber um eine Festlegung dieser Werte, ohne den bisherigen Anspruch des KSG für diesen Sektor abzuschwächen.
- Z30 Der Expertenrat hat im Jahr 2022 verschiedene weitere Ansatzpunkte zur Verbesserung im Hinblick auf die Umsetzung des KSG-Steuerungsmechanismus identifiziert, von denen etliche aus heutiger Sicht auch für die vom Koalitionsausschuss vorgezeichnete Neufassung von Belang sein werden.** Der Expertenrat stellt erneut fest, dass der Wortlaut des KSG offensichtlich Unschärfen bezüglich des Prüfprozesses als auch hinsichtlich der Handlungsfolgen bei Zielüberschreitungen mit sich bringt. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag nachdrücklich, im Rahmen einer Novellierung des KSG rechtliche Klarheit zu den entsprechenden Fragen zu schaffen. Insbesondere ist wichtig, dass im Gesetz ein Passus hinzugefügt wird, der vorschreibt, dass das Umweltbundesamt die Tabelle aus Anlage 2 KSG mit den jeweils aktuellen Werten führt (mit Angabe einer konkreten Internetseite), um die formalen Unklarheiten auszuräumen. Bisher ist im Gesetz lediglich vorgesehen, dass das Umweltbundesamt die angepassten Jahresemissionsmengen

veröffentlicht (§ 5 Abs. 2 KSG), allerdings geht daraus nicht eindeutig hervor, dass diese damit verbindlich sind und wo die aktualisierte Tabelle von Anlage 2 KSG geführt wird.

Tabelle Z1: Übersicht zur Einordnung der Beschlüsse des Koalitionsausschusses zur Novelle des Klimaschutzgesetzes

Elemente des KSG	Eckpunkte aus dem Beschlussdokument des Koalitionsausschusses	Einordnung
Jährliche Minderungsziele (§ 4 KSG)	Betrachtung von „aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030“ in Bezug auf „Gesamtminderungsziel“	• Der Budget-Gedanke des KSG sollte erhalten bleiben, da er essenziell im Sinne des Klimaschutzes ist. • Bei Abschaffung oder Aufweichung des Budgetprinzips bestehen verfassungsrechtliche Bedenken.
Ergänzung der Berichterstattung (§ 5 KSG und § 10 KSG)	„Mit den Emissionsdaten des Vorjahres werden in Zukunft die prognostizierte Emissionsentwicklung für die Jahre bis 2030 und mit Blick auf 2035, 2040 und 2045 dargestellt.“	• Die Erweiterung der jährlichen Ex-ante Berichterstattung (über eine Ergänzung in § 5 Abs. 2) und eine Änderung von „alle zwei Jahre“ auf „jährlich“ in § 10 Abs. 2 KSG wird begrüßt. Eine solche zeitliche Kopplung von Bericht und Projektion kann bei sachgerechter Umsetzung die Transparenz über das Emissionsgeschehen deutlich erhöhen. • Es bestehen hohe Anforderungen an die Modellierung von bestehenden und möglichen künftigen Politikmaßnahmen (zeitlicher Vorlauf, Abschätzung von Unsicherheiten, „compliance by modelling“, Einhaltung von Berichtspflichten). • Eine unabhängige Prüfung der Projektionsdaten wäre wichtig.
Veränderung des Steuerungskriteriums (§ 8 Abs. 1 KSG)	Statt sektoraler Nachsteuerung soll eine Nachsteuerung nur erfolgen, wenn „mit den aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030 das Gesamtminderungsziel nicht erreicht wird“.	• Die konkrete Ausgestaltung des Auslösemechanismus bleibt offen. Die Spannbreite reicht von Gestaltungsoptionen, die sich ausschließlich aus modellbasierten Projektionen ergeben bis hin zu solchen, die ausschließlich auf Ist-Daten basieren. Dazwischen sind unterschiedliche Mischformen denkbar (Details siehe Infokasten 1 und Tabelle 10). • Eine aggregierte Betrachtung erfordert die Festlegung von eindeutigen Zielen für die Energiewirtschaft (siehe Kapitel 7.2).
	Umstellung des Auslösemechanismus der Nachsteuerung von jährlich auf „in zwei aufeinanderfolgenden Jahren“	• Der Vorteil der Umstellung auf die Betrachtung von zwei aufeinanderfolgenden Jahren erschließt sich in einer Ex-ante Betrachtung nicht, während der Nachteil der Verzögerung bleibt.

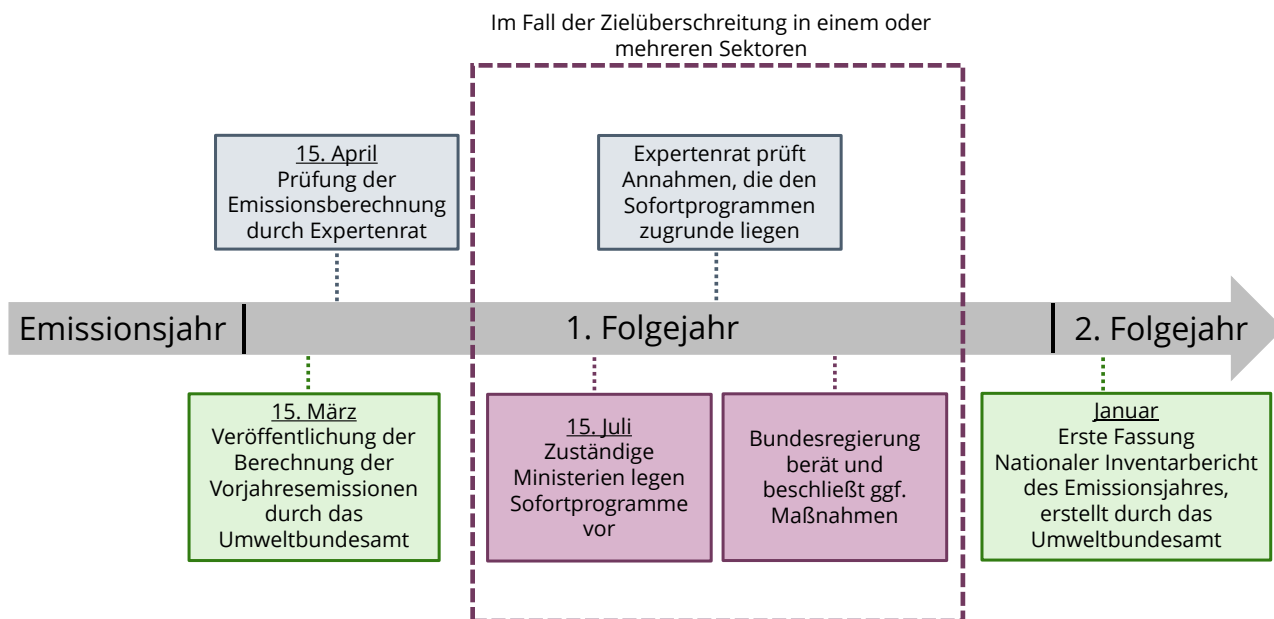
Elemente des KSG	Eckpunkte aus dem Beschlussdokument des Koalitionsausschusses	Einordnung
Veränderung der Verantwortlichkeit (§ 8 Abs. 1 KSG)	Es wird weiterhin von einer Ressortzuständigkeit für die Sektoren des Klimaschutzgesetzes ausgegangen („...wird die Bundesregierung auf Basis der Vorschläge der maßgeblich für die Minderungsmengen der Sektoren verantwortlichen Bundesministerien Maßnahmen beschließen...“), allerdings soll Handlungsbedarf für die Bundesregierung nur noch bei Überschreitungen des Gesamtziels über alle Sektoren entstehen.	- Die Sektor-bezogene Zuständigkeit von Ministerien ist wichtig zur Herstellung einer klaren Governance, da diese die Effizienz und Geschwindigkeit des Gesetzgebungsverfahrens sowie die Koordination innerhalb der Bundesregierung unterstützt. - Eine Aufweichung der Ressortverantwortung erhöht die Gefahr des Verharrens in angestammten technologischen Pfaden (beispielsweise bei Verkehr und Gebäude) und weist so auch erhebliche industriepolitische Gefahren auf. - Deutschlands Verpflichtungen aus der ESR bedürfen zudem einer separaten Betrachtung und Nachsteuerung. - Eine Aufweichung des strengen Ressortprinzips in § 8 Abs. 1 KSG hat mögliche negative Folgen.
Klimaschutzprogramme und Berichterstattung (§ 9 KSG)	„Künftig wird die Bundesregierung im ersten Jahr einer Legislaturperiode ein umfassendes sektorübergreifendes Klimaschutzprogramm beschließen“.	Mit diesem Punkt ist offensichtlich eine Erweiterung der Berichterstattung geplant, in Ergänzung zu den bislang im Gesetz in § 9 genannten Anlässen zukünftig auch verpflichtend in jedem ersten Jahr einer Legislaturperiode von der Bundesregierung ein Klimaschutzprogramm zu beschließen. Dies ist zu begrüßen und würde die Stellung der Klimaschutzpolitik in der Regierungsarbeit stärken.

Eigene Darstellung.

1 Auftrag und Herangehensweise

- 1 Am 12. Dezember 2019 hat der Deutsche Bundestag das Bundes-Klimaschutzgesetz beschlossen (KSG 2019), das am 18. Dezember 2019 in Kraft trat und am 18. August 2021 novelliert wurde (KSG 2021). Zweck dieses Gesetzes ist es, „zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Die ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen werden berücksichtigt. Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris aufgrund der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, wonach der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen ist, um die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels so gering wie möglich zu halten“ (§ 1 KSG).
- 2 Um bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität in Deutschland zu erreichen, definiert das Bundes-Klimaschutzgesetz nationale Klimaziele und schafft einen gesetzlichen Rahmen, der das Erreichen dieser Ziele sicherstellen soll. Als Zwischenziel sieht das Bundes-Klimaschutzgesetz für das Jahr 2030 eine Treibhausgasminderung von insgesamt 65 % gegenüber 1990 vor und legt hierfür verbindliche, jährliche Sektorziele fest. Bis zum Jahr 2040 soll durch jährliche Minderungsziele eine Treibhausgasminderung von 88 % erreicht sein und im Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität (§ 3 KSG).
- 3 Das Bundes-Klimaschutzgesetz definiert des Weiteren die Aufgaben des unabhängigen Expertenrates für Klimafragen. Unter anderem prüft der Expertenrat seit dem Jahr 2021 die jährlich durch das Umweltbundesamt berichteten Emissionsdaten. Diese Prüfung findet im vorliegenden Bericht zum dritten Mal statt, weshalb teils auf Informationen aus dem letztjährigen Bericht zurückgegriffen wird. Für die Prüfung ist im Gesetz ein Mechanismus mit einer genauen zeitlichen Abfolge definiert (Abbildung 1):
 - Jeweils am 15. März eines Jahres veröffentlicht das Umweltbundesamt die Emissionsdaten des Vorjahres und übersendet sie an den Expertenrat (§ 5 Abs. 1 KSG). Das Umweltbundesamt zeigt auf Basis dieses sektorenscharfen Datensatzes außerdem Über- oder Unterschreitungen von den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Jahresemissionsmengen für betroffene Sektoren auf. Seit dem Berichtsjahr (BJ) 2021 enthält der Datensatz zusätzlich eine Auflistung der Emissionsanteile, die der Europäischen Klimaschutzverordnung unterliegen (§ 5 Abs. 2 KSG).
 - Innerhalb von einem Monat nach Übersendung der Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt prüft der Expertenrat die Berechnungen und legt zum 15. April eine Bewertung vor (§ 12 Abs. 1 KSG). Bestätigt der Expertenrat die Überschreitung der zulässigen Emissionsmenge in einem oder mehreren Sektoren, greifen Punkte iii und iv.
 - Im Fall, dass der Expertenrat die Überschreitung der zulässigen Emissionsmenge in einem Sektor bestätigt, legt das zuständige Bundesministerium der Bundesregierung innerhalb von drei Monaten „ein Sofortprogramm für den jeweiligen Sektor vor, das die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors für die folgenden Jahre sicherstellt“ (§ 8 Abs. 1 KSG).
 - „Die Bundesregierung berät über die zu ergreifenden Maßnahmen im betroffenen Sektor oder in anderen Sektoren oder über sektorenübergreifende Maßnahmen und beschließt diese schnellstmöglich. [...] Vor Erstellung der Beschlussvorlage über die Maßnahmen sind dem Expertenrat die den Maßnahmen zugrunde gelegten Annahmen zur Treibhausgasreduktion zur Prüfung zu übermitteln. Das Prüfungsergebnis wird der Beschlussvorlage beigelegt.“ (§ 8 Abs. 2 KSG).

Abbildung 1: Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz



Eigene Darstellung.

- 4 Im vorliegenden Bericht werden die durch das Umweltbundesamt vorgelegten und veröffentlichten Daten der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022 (UBA 2023e) bewertet.
- 5 Dem Expertenrat wurden am 15. März 2023 die folgenden Unterlagen durch das Umweltbundesamt übermittelt:
 - Zeitreihen der Emissionsdaten von 1990 bis 2022, aufgeschlüsselt nach den Sektoren und Sub-Sektoren entsprechend den Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Format – CRF) nach der Europäischen Klimaberichterstattungsverordnung oder entsprechend einer auf der Grundlage von Artikel 26 Absatz 7 der Europäischen Governance-Verordnung erlassenen Nachfolgeregelung. Zusätzlich enthält diese Tabelle gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Abs. 2 eine Auflistung der Emissionsanteile, die der Europäischen Klimaschutzverordnung unterliegen (UBA 2023e).
 - Ein begleitender Bericht mit dem Titel »Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2022 gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz« (UBA 2023b).
 - Eine Dokumentation mit dem Titel »Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Klimaschutzgesetz, allgemeiner Methodenband« (UBA 2023a).
 - Der finale Entwurf (Stand 14.03.2023) des Nationalen Inventarberichts zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2021 (UBA 2023c).
 - Weitere sektorenspezifische Informationen, die auf Anfrage zur Verfügung gestellt wurden und zur Prüfung und Plausibilisierung genutzt wurden.
- 6 Der vorliegende Prüfbericht ist wie folgt aufgebaut:

- Teil I dieses Berichts enthält die Prüfung und Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt. Die vom Umweltbundesamt verwendete Datenbasis und die Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsdaten wurden dafür soweit möglich nachvollzogen. Änderungen bezüglich Daten und Methoden gegenüber der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2021 werden in Kapitel 2 dargestellt. Für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude wurde zusätzlich eine Prüfung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres einzelner CRF-Kategorien durchgeführt (Kapitel 3). Hierbei wurde gemeinsam mit dem Umweltbundesamt die Berechnung der THG-Emissionen soweit möglich nachvollzogen. Eine Aussage zur Güte (Kapitel 4) der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres erfolgt einerseits auf Basis der durch das Umweltbundesamt übermittelten Angabe zur Unsicherheit der vorgelegten Daten. Außerdem basiert die Aussage zur Güte wie in den beiden vorherigen Prüfberichten (ERK 2021; 2022b) auf einer aktualisierten Analyse der nachträglichen historischen Korrekturbedarfe, einschließlich der neuen Korrekturen für das Berichtsjahr 2021. Auf Basis der durchgeführten Prüfung und Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten und der vorgelegten Unterlagen zur Methodik erfolgt die Feststellung in Bezug auf die Einhaltung der Zielwerte entsprechend § 4 Abs. 1 KSG sowie Anlage 2 KSG (Kapitel 5).
 - Teil II dieses Berichts enthält weiterführende Betrachtungen, die unter anderem der Einordnung der vorgelegten Emissionsdaten dienen. In Kapitel 6 wird eine qualifizierte Einschätzung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2022 vorgenommen. Diese basiert auf einer sektorenübergreifenden Dekomposition und einem kontrafaktischen Szenario, das einer groben Einschätzung des Effektes des Krieges in der Ukraine auf die Emissionsentwicklung dient. Darüber hinaus erfolgt eine Aktualisierung der Indikatoren des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr, die eine Einordnung der Trends zur Zielerreichung im Jahr 2023 ermöglicht. Für diese Sektoren wird anschließend die Veränderung hinsichtlich auftretender Effekte zwischen den Jahren 2021 und 2022 in Bezug auf die Emissionsentwicklung analysiert. In Kapitel 7 werden abschließend Anmerkungen zum Bundes-Klimaschutzgesetz vorgenommen.
- 7 Als Ergänzung zu diesem Prüfbericht wird ein Technisches Begleitdokument (ERK 2023) veröffentlicht, das weiterführende Details zu einigen Kapiteln dieses Prüfberichts enthält. An den entsprechenden Stellen in diesem Bericht wird darauf verwiesen.

Teil I: Prüfung und Bewertung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres

2 Die Nationale Berichterstattung der Treibhausgasemissionen

2.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung

- 8 Deutschland ist Vertragspartner der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) und damit verpflichtet, jährliche Inventare zu nationalen Treibhausgasemissionen zu erstellen und zu veröffentlichen. In Deutschland ist für die Erstellung der Treibhausgasinventare das Umweltbundesamt zuständig. Die Treibhausgasinventare werden jeweils für das Vorvorjahr (t-2) am 15. Januar veröffentlicht (Abbildung 1). Die vom Umweltbundesamt beschriebene Methodik zur Berechnung der Nationalen Treibhausgasinventare (UBA 2023f) stellt auch die Grundlage für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres dar, welche jedes Jahr am 15. März veröffentlicht und im Rahmen dieses Berichtes geprüft wird.
- 9 In der Berichterstattung erfasst werden die Emissionen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O), Methan (CH₄) sowie die fluorierten Treibhausgase (F-Gase) Perfluorcarbone (PFCs), Fluorkohlenwasserstoffe (FKWs), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃). Die Treibhausgasemissionen werden in sogenannten Quellgruppen berichtet, die sich aus dem Common Reporting Format (CRF), der nach UNFCCC etablierten Systematik der Klimaberichterstattung (siehe Abbildung 2) ergeben. Die Berechnung der THG-Emissionen erfolgt für jede CRF-Kategorie nach dem Grundprinzip $\text{Aktivitätsdaten} \times \text{Emissionsfaktor} = \text{THG-Emissionen}$. Dabei bezeichnen Aktivitätsdaten einen Wert, der proportional zu den damit verbundenen THG-Emissionen ist, z. B. Kraftstoff-Absatz in Litern zu Brennstoff-Emissionen (DEHSt 2019). Der Emissionsfaktor wiederum ist ein Proportionalitätsfaktor. Er drückt aus, welche Menge Treibhausgas pro emissionserzeugende Größe (Aktivitätsdaten) in die Atmosphäre freigesetzt wird, also z. B. die ausgestoßene Menge an CO₂ pro Liter Kraftstoff. Die Emissionsfaktoren sind spezifisch für jedes Treibhausgas und werden abschließend zu CO₂-Äquivalenten (CO₂-Äq.) umgerechnet. Die in den Treibhausgasinventaren ausgewiesenen THG-Emissionen sind also grundsätzlich keine gemessenen Größen, sondern werden anhand der Aktivitätsdaten und der zugehörigen Emissionsfaktoren hochgerechnet.

Abbildung 2: Nomenklatur der CRF-Kategorien nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes

Energiewirtschaft		Gebäude		Verkehr	
1.A.1	Energiewirtschaft *	1.A.4.a/b i	Stationäre Verbraucher in Haushalten und GHD *	1.A.3.a	Flugverkehr
1.A.3.e	Pipelinetransport *	1.A.4 a/b ii	Mobile Verbraucher in Haushalten und GHD	1.A.3.b	Straßenverkehr
1.B	Diffuse Emissionen aus Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe	1.A.5	Militär	1.A.3.c	Schienenverkehr
Industrie		Landwirtschaft		1.A.3.d	Schiffsverkehr
1.A.2	Verarbeitendes Gewerbe/ Industrielle Feuerungen *	1.A.4.c	Stationäre und mobile Feuerungsanlagen in der Landwirtschaft *	LULUCF	
2.A	Mineralische Industrie	3	Landwirtschaft	4.A	Wald °
2.B	Chemische Industrie	Abfallwirtschaft und Sonstiges		4.B	Ackerland °
2.C	Metallindustrie	5.A	Abfalldeponierung °	4.C	Grünland °
2.D	Emissionen aus Produktverwendungen	5.B	Biologische Abfallbehandlung °	4.D	Feuchtgebiete °
2.E/F	Emissionen fluorierter Treibhausgase	5.D	Abwasserbehandlung kommunal und industriell °	4.E	Siedlungen °
2.G	Emissionen fluorierter Treibhausgase und Lachgas	5.E.1	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	4.G	Holzprodukte

Eigene Darstellung (LULUCF = Land Use, Land Use Change and Forestry; GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistung); * Für diese CRF-Kategorie wird die Frühschätzung der Energiebilanz genutzt (siehe Kapitel 2.2.2); ° In dieser CRF-Kategorie kam es zu weiteren Änderungen im Vorgehen im Vergleich zum Vorjahr (siehe Kapitel 2.2.3).

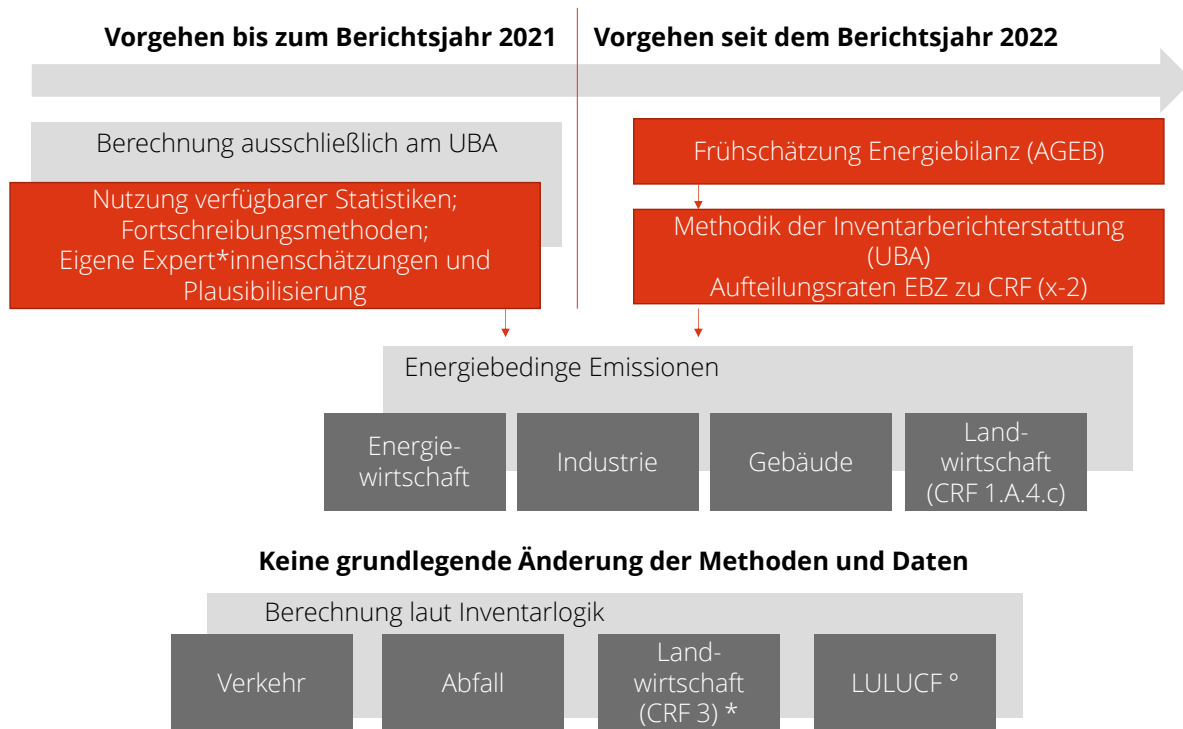
2.2 Daten und Methoden zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres

2.2.1 Übersicht der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres im Jahr 2022

- 10 Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen des Berichtsjahres 2022 gab es Änderungen im Vorgehen in den CRF-Kategorien, die mit ° markiert sind (Abbildung 2). Diese Änderungen werden detailliert in Kapitel 2.2.3 dargestellt. Eine weitere wesentliche Änderung des Verfahrens im Vergleich zu den Vorjahren liegt darin, dass für einige CRF-Kategorien das Berechnungsverfahren auf das Vorgehen zur Erstellung der Treibhausgasinventare angepasst wurde (siehe mit einem * markierten Kategorien in Abbildung 2). Dies erfolgt erstmalig ab der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 und basiert auf der Frühschätzung der Energiebilanz, die durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) bereitgestellt wird. Die Energiebilanz stellt eine wesentliche Datenquelle für die Berechnung energiebedingter THG-Emissionen im Rahmen der Berechnung der Treibhausgasinventare dar. Die Verfügbarkeit der Frühschätzung der Energiebilanz ermöglicht es damit, das bisherige heuristische Vorgehen unter Berücksichtigung von Expert*innenwissen (siehe Abbildung 3 sowie die

detaillierte Beschreibung in Kapitel 2.2.3) durch eine bereits an den Methoden der Inventarberichterstattung orientierte Berechnung der THG-Emissionen abzulösen.

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Verfahrensänderung in der Berechnung der Emissionsdaten im Jahr 2022 im Vergleich zum bisherigen Vorgehen



Eigene Darstellung. EBZ bedeutet Energiebilanzzeile und bezieht sich auf die Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023b). Die CRF-Kategorien entsprechen dem Common Reporting Format gemäß der UNFCCC Guideline (UNFCCC 2000). *Im Sektor Landwirtschaft wurde die neue Emissionsquelle Abfallgärreste und Komposte auf Böden berücksichtigt, ° im Sektor LULUCF wurde die neue Emissionsquelle Fischteiche berücksichtigt.

- 11 Durch die Anwendung des geänderten Verfahrens zur Berechnung der Energiedaten des Vorjahres auf Basis der Frühschätzung der Energiebilanz kommt es zu Änderungen in den Berechnungen der energiebedingten THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.1, 1.A.3.e), Industrie (CRF-Kategorie 1.A.2), Gebäude (CRF-Kategorien 1.A.4.a/b i sowie 1.A.5) und Landwirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.4.c) (Tabelle 1). Die übrigen CRF-Kategorien sind nicht von der Frühschätzung der Energiebilanz betroffen. Obwohl im Verkehrssektor zum Großteil energiebedingte THG-Emissionen entstehen, greift das Umweltbundesamt nicht auf die Daten der Frühschätzung zurück, da die amtliche Mineralölstatistik wie in den Vorjahren direkt für die Berechnung der Emissionsdaten verwendet werden kann. Insgesamt sind von der Verfahrensumstellung auf die Nutzung der Frühschätzung rund 64 % der Gesamtemissionen betroffen. Die konkreten Änderungen in den Sektoren sowie weitere, von der Einführung der Frühschätzung der Energiebilanz unabhängige Änderungen, werden in Kapitel 2.2.3 beschrieben. Die Berechnung der Emissionsdaten in den Sektoren Verkehr, Abfall und Sonstiges, Landwirtschaft und Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) lehnten sich bisher bereits zum Großteil an die Inventarberichterstattung an. In den Sektoren Verkehr und Landwirtschaft wird auf dasselbe Modellinstrumentarium (TREMODO, Py-Gas-EM) der Inventarberichterstattung zurückgegriffen. Im Sektor LULUCF wird die

Landnutzungsmatrix für Flächenaufteilung und das Landnutzungsmodell für Flächenveränderungen genutzt, teils jedoch mit nicht aktualisierten Daten. Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden dieselben Methoden benutzt wie bei der nationalen Inventarberichterstattung, worin die Daten in vielen Fällen (wie auch im Inventarbericht) extrapoliert oder fortgeschrieben werden.

Tabelle 1: Überblick über die Sektoren und CRF-Kategorien, die von der Vorgehensänderung der energiebedingten THG-Emissionen mit Bezug auf die Frühschätzung der Energiebilanz betroffen sind

Sektor nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)	CRF-Kategorien	Anteil betroffener THG-Emissionen im Sektor in %
Energiewirtschaft	1.A.1: Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft	98,1
	1.A.3.e: Pipelinetransport	0,4
Industrie	1.A.2: Verarbeitendes Gewerbe/industrielle Feuerung	67,9
Gebäude	1.A.4.a i: Stationäre Feuerungsanlagen in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	27,4
	1.A.4.b i: Stationäre Feuerungsanlagen in Haushalten	71,9
Landwirtschaft	1.A.4.c i: Stationäre Feuerungsanlagen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei	10,1
Gesamtemissionen	-	64,5

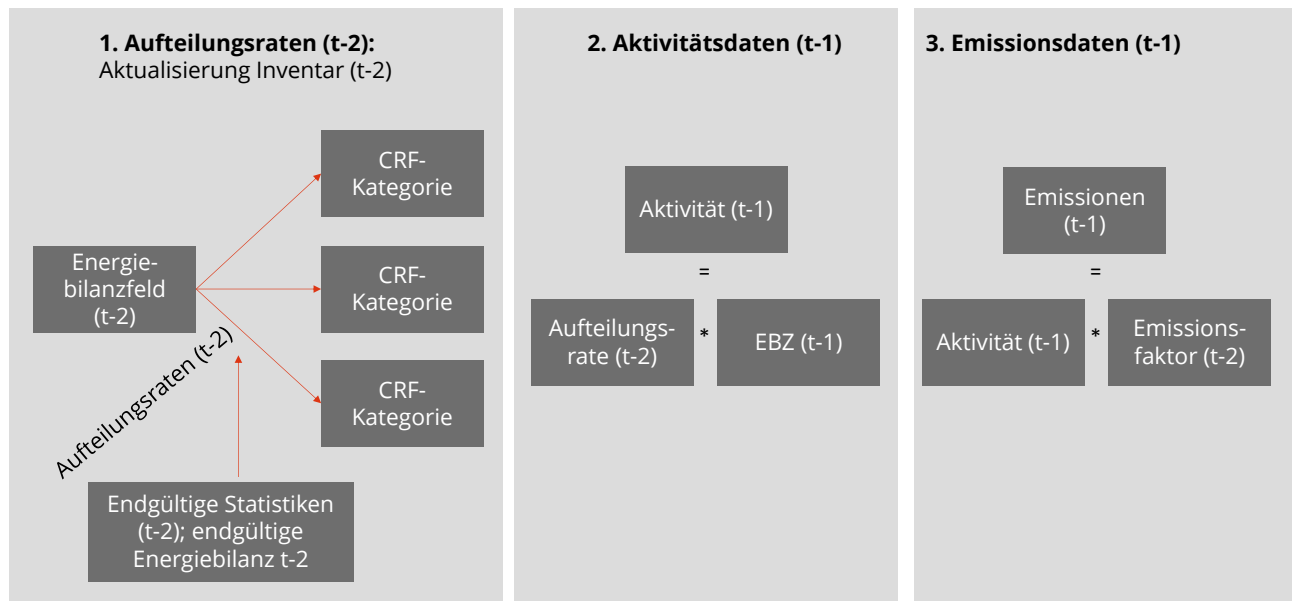
Eigene Berechnung basierend auf der Trendtabelle des UBA für das Jahr 2022 (UBA 2023e).

- 12 Methodisch erfolgt die Berechnung der energiebedingten THG-Emissionen unter Nutzung der Frühschätzung der Energiebilanz gemäß der schematischen Abbildung 4 laut UBA (2023a) wie folgt: In einem ersten Schritt werden die Aktivitätsdaten berechnet. Dies geschieht auf Basis der endgültigen Energiebilanz (t-2) und der Frühschätzung. Zunächst erfolgt eine Aktualisierung des Inventars auf Basis vollständiger Statistiken und der endgültigen Energiebilanz für das Jahr t-2. Auf dieser Basis erfolgt eine Disaggregation der Energiebilanz² analog zum Verfahren im Rahmen der Inventarberichterstellung. Kriterien, die Berücksichtigung finden, sind immissionsrechtliche Zulassungen, Technologien sowie die Differenzierung bestimmter Brennstoffe. Durch diese Aktualisierung des Inventars ergeben sich prozentuale Aufteilungsraten für die betroffenen Energiebilanzfelder für das Jahr t-2. Das geschätzte Aktivitätsdatum für das Jahr t-1 ergibt sich dann durch die Multiplikation der Aufteilungsrate aus t-2 mit den Energiebilanzfeldern der Frühschätzung. Implizit wird damit unterstellt, dass sich der Verbrauch eines Brennstoffs in t-1 in gleicher Weise auf die sogenannten Strukturelemente der Energiebilanzdisaggregation des Umweltbundesamtes verteilt hat, wie in t-2, was naturgemäß eine Annahme darstellt. In einem nächsten Schritt werden die Emissionsdaten berechnet, indem analog zur Inventarberichterstellung die Aktivitätsdaten mit den Emissionsfaktoren des Jahres t-2 multipliziert

² Hiervon betroffen sind die Energiebilanzzeilen 11,12,14,15,16, 40, 41, 60, 66 und 67.

werden. Endgültige Emissionsfaktoren für das Jahr t-1 liegen zum Zeitpunkt der Erstellung der Emissionsdaten des Vorjahres noch nicht vor, wodurch eine weitere Unsicherheit besteht. Durch Aggregation der Emissionswerte der CRF-Kategorien werden anschließend die THG-Emissionen nach KSG-Sektoren ermittelt.

Abbildung 4: Vorgehen des Umweltbundesamts zur Ermittlung der Emissionsdaten des Vorjahres für energiebedingte THG-Emissionen



Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2023a). EBZ bedeutet Energiebilanzzeile.

- 13 Die Frühschätzung der Energiebilanz ermöglicht es damit für die in Abbildung 2 gekennzeichneten CRF-Kategorien, die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres analog zum Verfahren der Inventarberichterstattung durchzuführen. Daher orientiert sich die Erstellung der Emissionsdaten des Vorjahres zum Großteil an den Methoden der Inventarberichterstattung. Die Inventarberichterstattung unterliegt einem offiziellen Review-Prozess. Demnach folgt das Vorgehen nun einem stringenten und nachvollziehbaren Verfahren, was grundsätzlich positiv zu bewerten ist. Im Rahmen der Erstellung der Emissionsdaten erfolgen Qualitätssicherungsprozesse (Prüfung und Aktualisierung des Dateninputs und Berechnungsverfahren und -ergebnisse, sowie der Energie Daten Konsistenz Analyse Prozess). Die Schätzung fehlender oder vorläufiger Datenquellen zu Aktivitätsdaten zum Zeitpunkt der Erstellung der Emissionsdaten des Vorjahres hat sich nun teilweise vom Umweltbundesamt zur Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen verlagert. Die Verteilung der Energiebilanzzeilen (EBZ) auf die CRF-Kategorien liegt weiterhin beim Umweltbundesamt. Mit der Umstellung des Verfahrens geht eine Verlagerung von heuristischen methodischen Ansätzen unter Berücksichtigung von Expert*innenwissen hin zu objektivierbaren methodischen Ansätzen einher, was aus Sicht des Expertenrats für Klimafragen begrüßenswert ist. Im Folgenden werden die Daten und Methoden der Frühschätzung der Energiebilanz genauer dargestellt.

2.2.2 Frühschätzung der Energiebilanz

- 14 Im Januar 2023 veröffentlichte das Umweltbundesamt eine Studie, die die Ergebnisse eines Pilotprojektes zur Frühschätzung der Energiebilanz 2020 beinhaltet. Das Umweltbundesamt hat die AGEB mit diesem Pilotprojekt zur Erstellung einer Frühschätzung der Energiebilanz für das Jahr 2020 (UBA 2023g) beauftragt. Das dort dokumentierte Vorgehen des Pilotprojektes wurde in großen Teilen für die Frühschätzung des Jahres 2022 von der AGEB wieder angewandt und läuft wie folgt ab: Zum Zeitpunkt der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz im Februar liegen für das Berichtsjahr (t-1) noch nicht alle Statistiken vor. Daher erstellt die AGEB die Frühschätzung mittels eines Hybridansatzes. Ziel des Hybridansatzes ist es, möglichst finale oder vorläufige statistische Daten zu verwenden. Nur in Fällen, in denen keine Daten vorliegen, wird auf modellgestützte Prognosen zurückgegriffen. Für die Frühschätzung war das Stichdatum für Datenstände der 05. Februar 2023. Wenn keine unterjährigen Daten vorliegen, wird auf modellgestützte Prognosen (Energiebilanz-Prognose-Modell (Mehrgleichungssystem), Regressionsmodelle oder Jahresschätzungen (UBA 2023g)) zurückgegriffen. Eine nähere Erläuterung zu den verwendeten Daten und Methoden kann dem Technischen Begleitdokument entnommen werden (ERK 2023, Kap A.1.2.2). Der verwendete Hybrid-Ansatz soll die Abweichungen der Frühschätzung der Energiebilanz gegenüber der endgültigen Bilanz minimieren, indem nur für die Bereiche Werte geschätzt werden müssen, für die keine unterjährigen Energiedaten vorliegen. Die Endverbrauchssektoren müssen vollständig geschätzt werden, da unterjährige monatliche oder vierteljährliche Informationen nur für Teile der Aufkommenseite der Energiebilanz vorliegen. Für die Aufkommenseite werden überwiegend die Monatsstatistiken aus dem Berichtsjahr verwendet, die stets bis mindestens einschließlich Oktober vorliegen. Für die Frühschätzung der Energiebilanz 2022 konnte überwiegend auf Monatsdaten inklusive des Monats November zurückgegriffen werden, was eine deutliche Verbesserung gegenüber der Pilotstudie darstellt. Eine Übersicht der vorliegenden Daten kann Tabelle 1 im Technischen Begleitdokument entnommen werden (ERK 2023). Um Datenlücken zu schließen, werden für die nicht verfügbaren Monate Schätzungen durchgeführt. Die verwendeten Modelle bedingen ein Maß an Unsicherheit bei der Abschätzung der Aktivitätsdaten für einzelne Brennstoffe bzw. Sektoren und Energiebilanzzeilen. Bei dem verwendeten Hybrid-Ansatz (Nutzung statistischer monatlicher und jährlicher Daten sowie Modellierung) ist eine Aussage über Unsicherheiten einzelner Energiebilanzfelder (Brennstoffkategorien oder Summen je Energiebilanzzeile) laut Aussage der AGEB nicht möglich.
- 15 Generell zeigt ein Vergleich zwischen der Frühschätzung der Energiebilanz und der endgültigen Energiebilanz für das Jahr 2020 im Rahmen der Pilotstudie (UBA 2023g), dass der fossile Endenergieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) um 12 % überschätzt wurde. Dahingegen wurde der fossile Endenergieverbrauch privater Haushalte um 3,2 %, der des Verkehrssektors um 1,1 % und der des Industriesektors um 0,4 % unterschätzt. Für die Summe der Endenergieverbrauchssektoren wurde der fossile Endenergieverbrauch um 0,1 % überschätzt. Ein Vergleich zwischen Frühschätzung und endgültiger Energiebilanz (UBA 2023g) im Bereich des Primärenergieverbrauchs zeigt eine Abweichung von lediglich etwa 1 % bei fossilen Brennstoffen. Diese hohe Genauigkeit liegt vornehmlich an der fast vollständigen Verfügbarkeit monatlicher Daten (in der Regel bis mindestens November), die für die Ermittlung des brennstoffspezifischen Primärenergieverbrauchs verwendet werden.
- 16 Für die amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2022) zeigt ein Vergleich der für den fehlenden Monat Dezember 2022 fortgeschriebenen Werte mit den inzwischen veröffentlichten Werten für Dezember 2022 insgesamt eine hohe Genauigkeit der Fortschreibung. Für einen Großteil der Energiebilanzzeilen liegt die relative Abweichung in Summe unter 1 %. Für einzelne Brennstoffe lagen allerdings auch

deutlich höhere Abweichungen vor (z. B. relative Abweichung des Primärenergieverbrauchs (PEV) von leichtem Heizöl: -74 %), die in Summe (wegen geringer absoluter Werte) jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Genauigkeit haben³.

- 17 Für die Ermittlung von Aktivitätsdaten im Endenergieverbrauch, wie sie für die Berechnung der Treibhausgasemissionen des Vorjahres benötigt werden, kommt vorwiegend das Energiebilanzprognosemodell zum Einsatz. Hier wird der ganzjährige Endenergieverbrauch über Sektoren und Brennstoffe hinweg geschätzt. In das Modell fließen verschiedene Größen ein, die Produktion, Beheizung von Räumen, und auch die Preisentwicklung einzelner Brennstoffe ganzjährig und teils unterjährig (aggregiert auf Jahreswerte) abbilden. Dieses wird von den Autor*innen (siehe UBA 2023g) als adäquat und sachdienlich eingestuft. Dies ist durch die hohe ausgewiesene Prognosegenauigkeit im ex-post Zeitraum (siehe Abbildung 8 in UBA 2023g) und insbesondere bezogen auf den Zeitpunkt der Erstellung und Einschätzung der Pilotstudie (2021, vor Krieg in der Ukraine) auch zu bestätigen. Unsicherheiten entstehen jedoch in folgenden Punkten: Durch den Modellansatz werden Veränderungen des Kapitalstocks nicht explizit abgebildet. Diese haben jedoch tendenziell zwischen zwei Jahren einen geringen Einfluss und werden zum Teil über Trendvariablen modelliert. Bei Strukturbrüchen, die von spontanen Nutzungsveränderungen und zum Teil Kapitalstockveränderungen gezeichnet sein können, ist mit Unschärfen in der sektoralen und brennstoffspezifischen Aufteilung des Endenergieverbrauchs zu rechnen. Dies betreffe vornehmlich die Aufteilung zwischen und innerhalb der Sektoren Industrie und Gebäude. Es ist davon auszugehen, dass sich in krisenbetroffenen Jahren mit drastisch geänderten Rahmenbedingungen und Konsument*innenverhalten nachträgliche Korrekturen der Energiebilanz verstärken können. Des Weiteren umfasst das Energiebilanzprognosemodell Stützzeiträume (1997-2021), die die hohen Preissteigerungen in 2022 nicht annähernd umfassen. Vorhersagen sind somit inhärent mit höheren Unsicherheiten behaftet ("out-of-sample prediction") als womöglich bei der Entwicklung des Modells angenommen wurden. Auch bezieht sich die vom Umweltbundesamt ausgewiesene Unsicherheit auf die Aktivitätsdaten an sich, nicht aber auf die mögliche Unschärfe bei der Aufteilung der Aktivitätsdaten über Sektoren hinweg, die zum Großteil durch die Frühschätzung der Energiebilanz etabliert wird. Es liegt kein direkter Vergleich vor zwischen der neuen Methode, die mit der Frühschätzung der Energiebilanz näher an der Inventarberichterstattung liegt, und der vorherigen, bei der für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude ein heuristisches Vorgehen unter Berücksichtigung von Expert*innenwissen zur Schätzung der Aktivitätsraten durchgeführt wurde (siehe ERK 2022c).

2.2.3 Änderungen in Daten und Methoden der einzelnen Sektoren im Vergleich zum Vorjahr

- 18 Neben den übergeordneten Änderungen, die sich im Jahr 2022 insbesondere auf die energiebedingten THG-Emissionen der Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude beziehen, werden im Folgenden alle daten- und methodenbezogenen Änderungen dargestellt, die sich im Vergleich zum

³ Die AGEB wies auf folgende Besonderheiten hin, die bei der Interpretation dieser vergleichsweisen hohen, relativen Abweichung zu beachten sind: Der PEV an leichtem Heizöl ist von der Aufkommensseite durch den Außenhandelsaldo, die Hochseebunkerungen und Bestandsveränderungen determiniert. Die Ein- und Ausfuhren von leichtem Heizöl sowie die Hochseebunkerungen lassen sich verlässlich schätzen. Bei den Bestandsveränderungen kam es hingegen im Vergleich zu unserer ursprünglichen Schätzung (Bestandsentnahme von 9 PJ) durch die Berücksichtigung der Werte für Dezember 2022 der AMS zu einem Vorzeichenwechsel (Bestandsentnahme von 3,6 PJ). Diese Veränderung, gepaart mit dem sehr niedrigen Ausgangswert für den PEV an leichtem Heizöl führt im Ergebnis zu der hohen prozentualen Abweichung von -74 % (Basiseffekt).

Vorjahr in den einzelnen Sektoren ergeben haben. Eine detaillierte Beschreibung der Daten und Methoden kann dem Technischen Begleitdokument entnommen werden (ERK 2023).

- 19 In der **Energiewirtschaft** kam es in CRF-Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ und in der CRF-Kategorie 1.A.3.e „Pipelinetransport“ zu einer methodischen Veränderung im Verfahren gegenüber dem Jahr 2021. Dabei wurde das Verfahren weitestgehend an die Methodik der Inventarberichterstattung (UBA 2023c) angepasst. Das neue Verfahren stützt sich zu einem großen Teil auf die Frühschätzung der Energiebilanz der AGEb.
- 20 Für die CRF-Kategorie 1.A.1.a „Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“ wurden die Aktivitätsdaten bisher hauptsächlich der Monaterhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2022a) entnommen. Zusätzlich wurde der Brennstoffeinsatz in Fernheizwerken anhand der Gradtagzahlen fortgeschrieben. Beim neuen Verfahren werden die Aktivitätsdaten der Frühschätzung der Energiebilanz entnommen. Die Methode (Datenbasis und Emissionsfaktoren) ist grundlegend gleichgeblieben. Der wesentliche Unterschied besteht nun darin, dass sich das Verfahren an der Inventarberichterstattung orientiert, während es vorher eine Bottom-up Berechnung war. Die Primärdaten gehen nun indirekt über die Frühschätzung der Energiebilanz der AGEb in die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres ein (siehe Kapitel 2.2.1). Analog zum Vorgehen bei der Inventarberichterstattung werden für die Bestimmung der Aktivitätsdaten bei der Strom- und Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Kraftwerke, sowie der Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Fernheizwerke die Aktivitätsdaten aus der Frühschätzung der Energiebilanz mit Daten aus der Abfallstatistik ergänzt.
- 21 In der CRF-Kategorie 1.A.1.b „Mineralölraffinerien“ wurden die Aktivitätsdaten bisher anhand der Amtlichen Mineralölstatistik (BAFA 2022) bestimmt und mithilfe von Produktionsdaten auf Plausibilität überprüft. Beim neuen Vorgehen werden die Aktivitätsdaten der Frühschätzung der Energiebilanz entnommen und mit Daten der deutschen Emissionshandelsstelle aus dem EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) aus dem Vorjahr (t-2) ergänzt. Datengrundlage der Frühschätzung für die relevanten Energiebilanzzeilen ist ebenfalls die Amtliche Mineralölstatistik.
- 22 Für die Abschätzung der THG-Emissionen aus CRF-Kategorie 1.A.1.c „Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger“ wurden bisher verschiedene Methoden genutzt (Fortschreibung oder Berechnung der Aktivitätsdaten). In diesem Jahr werden die Aktivitätsdaten weitestgehend der Frühschätzung der Energiebilanz entnommen. In der CRF-Kategorie 1.A.3.e „Pipelinetransport“ wurden die THG-Emissionen bisher anhand der prozentualen Entwicklung des Primärenergieverbrauchs fortgeschrieben. In diesem Jahr werden auch hier die Aktivitätsdaten nach der allgemeinen Methodik als Anteil an der entsprechenden Energiebilanzzeile der Frühschätzung der Energiebilanz entnommen. Bei den THG-Emissionen aus der Erdgasbereitstellung gab es eine Anpassung im Berechnungsmodell, die in Böttcher (2022) dokumentiert ist.
- 23 Im **Industriesektor** gab es eine methodische Änderung in der CRF-Kategorie 1.A.2 „Verarbeitendes Gewerbe/industrielle Feuerungen“. Bisher wurden die Absätze an Heizöl und Erdgas jeweils aus der sektoralen Energiebilanz aus dem Jahr t-2 (in diesem Fall 2021) übernommen und jeweils mit der Änderungsrate des Gesamtabsatzes an leichtem Heizöl bzw. an Erdgas zwischen den Jahren t-2 (2021) und t-1 (2022) verrechnet. Das neue Verfahren stützt sich auf die Frühschätzung der sektoralen Energiebilanz durch die AGEb, in der die Absätze an Heizöl und Erdgas in der Industrie über das Energiebilanzprognosemodell berechnet werden (siehe Kapitel 2.2.2). In den anderen CRF-Kategorien im Industriesektor gab es nur vereinzelte Änderungen in der Berechnung der Emissionsdaten. Dabei handelt es sich nicht um eine grundlegende Änderung in der Berechnungsmethodik, sondern um

Anpassungen aufgrund einer veränderten Datenverfügbarkeit des Jahres 2022, da nicht alle Verbandsdaten verfügbar waren, die im vergangenen Jahr genutzt wurden. Im Detail betreffen diese Änderungen die Bestimmung der Prozessemissionen von Sekundäraluminium, welche für das Jahr 2022 nicht mehr durch Verbandsdaten, sondern über eine Expert*innenschätzung bestimmt wird. Zudem werden für die Produktionsmengen 2022 von Blei und Zink Vorjahreswerte und nicht mehr Verbandsdaten verwendet. Die Lösemittlemissionen werden für das Jahr 2022 nun mit Hilfe von Verbandsdaten abgeschätzt.

- 24 Im **Gebäudesektor** kam es zu einer Änderung der Vorgehensweise in den CRF-Kategorien 1.4.a/b i „Stationäre Feuerung in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung“. Bei Heizöl wurde bisher der Absatz an Heizöl aus der sektoralen Energiebilanz aus dem Jahr t-2 (in diesem Fall 2021) genommen und mit der Änderungsrate des Gesamtabsatzes an leichtem Heizöl zwischen den Jahren t-2 (2021) und t-1 (2022) verrechnet. Für die Berechnung des Verbrauchs⁴ an Erdgas wurden ebenfalls die Absätze aus der sektoralen Energiebilanz aus dem Jahr t-2 genommen und in diesem Fall mit der Änderung des Gasabsatzes aus dem Jahresbericht des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (BDEW 2022) vom Jahr t-2 nach t-1 für Haushalte beziehungsweise Gewerbe, Handel, Dienstleistungen verrechnet. Die so berechneten Aktivitätsdaten wurden mit Expert*Innenwissen aus dem Umweltbundesamt zu den äußeren Einflüssen auf das Emissionsgeschehen (Witterung, Brennstoffpreise, etc.) im jeweiligen Jahr abgeglichen. Dabei wurden die Aktivitätsdaten gegebenenfalls auch angepasst.
- 25 Das neue Verfahren stützt sich auf die Frühschätzung der sektoralen Energiebilanz der AGEB (AGEB 2023b), in der die Absätze an Heizöl und Erdgas an Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen in den Energiebilanzzeilen 66 und 67 angegeben sind. Für die Berechnung der Absätze an Heizöl und Erdgas an Haushalte (EBZ 66) wird ein Teilmodell des Energiebilanzprognosemodells verwendet (siehe Technisches Begleitdokument (ERK 2023, Kapitel A.1.2.3). Der für Heizöl durch das Modell ermittelte Verbrauch wird zudem mit prognostizierten Lagerbestandsbewegungen verrechnet, um den Gesamtabsatz an Heizöl für die Frühschätzung der Energiebilanz zu ermitteln. Im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (EBZ 67) wurden nach Aussage der AGEB Restrechnungen für Heizöl, Erdgas und elektrischen Strom verwendet, welche sich über die Differenz der Absätze an Erdgas und Heizöl an Industrie und private Haushalte von der bekannten Gesamtmenge ergibt. Für die weiteren Felder wurde ein Modellverfahren verwendet.
- 26 Der Expertenrat führte eine Berechnung der CO₂ Emissionswerte für die stationären Feuerungsanlagen in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen nach dem bisherigen Verfahren durch und verglich diese mit den Ergebnissen des neuen Verfahrens. Die ebenfalls im Rahmen des bisherigen Verfahrens durchgeführte Einordnung und Anpassung der Berechnungsergebnisse auf Basis von Expert*innenwissen (siehe RZ 24) erfolgte jedoch nicht. Die finalen Emissionsdaten für das Jahr 2022 liegen erst bei Erstellung des Treibhausgasinventars vor, sodass zu diesem Zeitpunkt keine Aussage darüber getroffen werden kann, welche Methode zu einer valideren Schätzung führt. Bei ausschließlicher Betrachtung der Ergebnisse des Rechenverfahrens ist festzustellen, dass die Emissionswerte für leichtes Heizöl im Bereich privater Haushalte mit der vorherigen Berechnungsmethode um 2 Mt CO₂ niedriger liegen, während sie für GHD 1,8 Mt CO₂ höher ausfallen. Dadurch besteht bilanziell für den Gebäudesektor kein substantieller Unterschied zwischen den Methoden. Für Erdgas liegen die CO₂-Emissionen für Haushalte bei Anwendung der alten Methode ebenfalls um 2 Mt CO₂ niedriger, in diesem Fall liegt jedoch auch bei GHD ein um 0,96 Mt CO₂

⁴ Auf Ebene der Endenergienachfrage entspricht bei nicht lagerfähigen Energieträgern der Verbrauch dem Absatz.

niedrigerer Wert vor. Mit dem bisherigen Verfahren fallen die Emissionswerte des Gebäudesektors bei Erdgas (ohne gegebenenfalls anfallende Korrektur durch Expert*Innen) daher um ca. 3 Mt CO₂ niedriger aus.

- 27 In den anderen CRF-Kategorien gab es keine Änderungen in Daten und Methoden im Vergleich zum Vorjahr. Zu den mobilen Emittenten der Haushalte (CRF-Kategorie: 1.A.4.b ii) und des GHD-Bereichs (CRF-Kategorie: 1.A.4.a ii) liegen keine statistischen Daten zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten vor. Deshalb erfolgt weiterhin eine Übernahme der im Rahmen der aktuellsten Emissionsberichterstattung erfassten Kraftstoffmengen, also der Vorvorjahreswerte (ERK 2023, Kapitel A.1.2). Brennstoffabsätze an das Militär werden aus der Monatsstatistik der amtlichen Mineralölstatistik übernommen.
- 28 Im **Verkehrssektor** kam es zu keinen Änderungen in der Methode und Datengrundlage gegenüber dem Vorjahr für die Berechnung der Treibhausgasemissionen für das Berichtsjahr 2022. Eine Beschreibung des generellen Vorgehens bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor ist im Technischen Begleitdokument (ERK 2023, Kapitel A.1.2) zu finden.
- 29 Eine Beschreibung des generellen Vorgehens bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Sektor **Landwirtschaft** ist im Technischen Begleitdokument (ERK 2023, Kapitel A.1.2) zu finden und entspricht dem im Nationalen Inventarbericht beschriebenen Vorgehen (UBA 2023c). Gegenüber dem Vorjahr gab es bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Landwirtschaftssektor für das Berichtsjahr 2022 einige kleinere Änderungen im Vorgehen. So wurden sektorenübergreifend die Treibhausgaspotenziale für CH₄ (Anstieg um 12 %) und N₂O (Reduktion um 11 %) basierend auf dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC umgestellt (IPCC 2014). Des Weiteren erfolgte eine methodische Umstellung in der CRF-Kategorie 1.A.4.c „Stationäre und Mobile Feuerungsanlagen“. In dieser CRF-Kategorie dient nicht mehr wie zuvor die Energiebilanz als Datenbasis, sondern die neue Frühschätzung der Energiebilanz. Dort werden die stationären Feuerungsanlagen wie bisher im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung mitberechnet. Sie werden dann mit dem aus dem Vorjahr übernommenen Anteil aus dem Sektor Gebäude herausgerechnet und dem Landwirtschaftssektor zugerechnet. In der CRF-Kategorie 3 wurden zum ersten Mal die Treibhausgasemissionen aus Abfallgärresten und Komposten auf Böden dem Sektor Landwirtschaft anstelle des Sektors Abfallwirtschaft zugeordnet. Erstmals wurden neue Fütterungsdaten für Mastschweine, Daten aus einer Zusatzerhebung zum Proteineinsatz in der Schweinemast (Destatis 2022b), THG-Emissionen beim Auslauf von Freilandlegehennen und Auswaschungsemissionen aus Feldrandlagerung von Mist (UBA 2023c) berücksichtigt. Weitere Aktualisierungen betreffen die indirekten N₂O-Emissionen, die durch Änderungen bei den Ammoniakemissionen aus der Tiefstreuhaltung, der Änderung der Emissionsfaktoren in der Legehennenhaltung, sowie bei der Berechnung der Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung beeinflusst werden (UBA 2023c).
- 30 Für den Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstige** ist das generelle Vorgehen bei der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres im Technischen Begleitdokument (ERK 2023) erörtert. In diesem Sektor weisen die THG-Emissionen eine hohe Unsicherheit auf, die durch regelmäßige nachträgliche Korrekturen ersichtlich wird (siehe Kapitel 4.2.2). Anpassungen bei der Datengrundlage und Berechnung sind einerseits bedingt durch die Aktualisierung der GWPs im fünften Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2014). Zum anderen ergaben sie sich durch Änderungen von Emissionsfaktoren bzw. Modellparametern (modellbasierte Emissionsberechnungen) und aktualisierten Statistiken, auf deren Grundlage Aktivitätsdaten über Extrapolationen bestimmt werden. Hervorgehoben werden kann die Modellierung von Methanemissionen der Abfalldeponierung (CRF-Kategorie 5.A), die einen Großteil (72 %) der Gesamtemissionen des Sektors ausmachen. Mehrere Parameter, die den Abbau organischen

Materials beschreiben (z. B. Halbwertszeit sowie Anteil organischen Materials für Papier und Holz) wurden angepasst. Des Weiteren wurden Lachgas-relevante Emissionsfaktoren für Kompostierung und Vergärung (CRF-Kategorie 5.B) herabgesetzt. Insgesamt führten diese Anpassungen im Vergleich zum Nationalen Inventarbericht des Vorjahres (UBA 2022b) zu einer Verringerung der Emissionen im Sektor (über die gesamte Zeitreihe) um etwa die Hälfte. Letztlich ist anzumerken, dass Emissionen von Böden nach Ausbringung von Abfallgärresten und Komposten (CRF-Kategorie 5.B) nun in der Landwirtschaft bilanziert werden.

- 31 Eine Beschreibung des generellen Vorgehens bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Sektor **LULUCF** ist im Technischen Begleitdokument (ERK 2023, Kapitel A.1.2) zu finden und entspricht dem im Nationalen Inventarbericht beschriebenen Vorgehen (UBA 2023c). Für das Berichtsjahr 2022 wurden Änderungen in Daten und Methoden umgesetzt. Gegenüber dem Vorjahr wurden wie üblich die Kartengrundlagen und Landnutzungsmatrix aktualisiert. Erstmals wurde das LULUCF-Berechnungsmodell in R und C++ implementiert. Des Weiteren wurden mehrere neue Landnutzungssubkategorien eingeführt, nämlich Hecken (in CRF-Kategorie 4.C), natürliche Gewässer, stehende künstliche Gewässer, fließende künstliche Gewässer (in CRF-Kategorie 4.D) und Straßen (in CRF-Kategorie 4.E). In der CRF-Kategorie 4.A "Wald" wurde erstmalig die Biomasse von Totholz und Streu im Zusammenhang mit Waldbränden berücksichtigt, sowie eine neue Modellierungsmethode für die Mineralböden im Wald eingeführt. In der CRF-Kategorie 4.E "Siedlungen" wurden neue regionalisierte Emissionsfaktoren für Mineralböden in den Subkategorien Gebäude und Freiflächen verwendet. Zur Regionalisierung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte in Mineralböden wurden neue hochaufgelöste Rasterkarten erstellt.

2.3 Fazit zur Emissionsberichterstattung

- 32 Im Rahmen der Erstellung der Treibhausgasemissionsdaten des Jahres 2022 gab es wesentliche Verfahrensänderungen im Vergleich zum Vorjahr. Grundlage der Verfahrensumstellung ist die Erstellung einer Frühschätzung der Energiebilanz durch die AGEb, für deren Erstellung ein Hybrid-Ansatz gewählt wurde. Der Ansatz stellt sicher, dass auf amtliche statistische Daten (inklusive Monatsdaten bis zum Monat November) zurückgegriffen wird und nur dann Schätzwerte oder Modellansätze verwendet werden, wenn Datenlücken bestehen. Erstmals konnte das Berechnungsverfahren so umgestellt werden, dass dem Vorgehen bei der Berechnung der Inventare gefolgt wird, da die Aktivitätsdaten bereits aus der Frühschätzung der Energiebilanz (AGEb 2023b) entnommen werden können. Dies stellt aus Sicht des Expertenrats für Klimafragen methodisch einen deutlichen Fortschritt und eine weitgehende Vereinheitlichung des Vorgehens auf allen Etappen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres dar und ist daher grundsätzlich positiv zu sehen. Der Ansatz der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz wird vom Expertenrat für Klimafragen als plausibel und gut nachvollziehbar bewertet. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass das Verfahren die Annahme beinhaltet, die Aufteilungsraten zwischen der Energiebilanz und den CRF-Kategorien fest vom aktuellen Inventarbericht zu verwenden, um die Aktivitätsdaten zu bestimmen, was naturgemäß mit Unsicherheiten verbunden ist. Der Ansatz der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz wird vom Expertenrat für Klimafragen (ERK) als plausibel und gut nachvollziehbar bewertet, auch wenn nicht jede einzelne Berechnung nachvollzogen wurde. An der begrenzten Verfügbarkeit vollständiger amtlicher Statistiken zum Zeitpunkt der Emissionsdatenerstellung hat sich jedoch grundsätzlich nichts geändert. Die dadurch notwendigen Schätzungen fehlender Werte erfolgt nun nicht mehr am Umweltbundesamt durch eingehende Expert*innenschätzungen, sondern unterliegt der AGEb mit Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz. Da das Umweltbundesamt nun das standardisierte Vorgehen der

Inventarberichterstattung angewendet, erfolgt keine eingehende Plausibilisierung der Eingangsdaten mehr. Dies wird vom Expertenrat insbesondere in Jahren mit Sondereffekten jedoch als sinnvoll erachtet. Ein direkter Vergleich zwischen alter und neuer Methode ist dem Expertenrat aufgrund mangelnden vollständigen Einblicks in die Gesamtheit der zugrundeliegenden Daten und Methoden nicht möglich.

3 Prüfung

3.1 Vorgehensweise bei der Prüfung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres

- 33 In der diesjährigen Prüfung hat sich der Expertenrat auf Sektoren und CRF-Kategorien konzentriert, bei deren Berechnung es zu den im vorherigen Kapitel beschriebenen grundlegenden Änderungen des Vorgehens gekommen ist. Insbesondere umfasst die Prüfung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres die von dieser Umstellung betroffenen Sektoren Energiewirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.1), Industrie (CRF-Kategorie 1.A.2) und Gebäude (CRF-Kategorien 1.A.4.a i und 1.A.4.b i), welche knapp zwei Drittel der Gesamtemissionen ausmachen.⁵ Da es bei den Emissionsfaktoren zu keinen Veränderungen gekommen ist, beschränkt sich die Prüfung auf die Berechnung der jeweiligen Aktivitätsdaten.
- 34 Für seine vertiefende Prüfung stand dem Expertenrat die technische Dokumentation des Umweltbundesamts zum Vorgehen bei der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres zur Verfügung (UBA 2023a). Darüber hinaus wurde dem Expertenrat das Vorgehen bei der Berechnung der Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt und die AGEb erläutert, und zwar sowohl im Allgemeinen als auch für die nachfolgend näher beschriebene Stichprobe. Rückfragen seitens des Expertenrats wurden zudem unverzüglich schriftlich geklärt und dokumentiert.
- 35 Für die Prüfung der einzelnen CRF-Kategorien wurden Prüfkriterien definiert. Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der Prüfung dargestellt. Für eine detaillierte Beschreibung der Prüfergebnisse wird auf das Technische Begleitdokument (ERK 2023, Kapitel A.4) verwiesen

3.2 Prüfung der Berechnung der energiebedingten THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude

Verwendete Datenbasis

- 36 Die Berechnung der Aktivitätsdaten in den geprüften CRF-Kategorien erfolgt nunmehr vor allem auf Basis der Frühschätzung der Energiebilanz (siehe vorheriges Kapitel). Durch die Dokumentation der Pilotstudie (UBA) sowie über einen intensiven Austausch mit der AGEb konnte der Expertenrat die Grundzüge des Hybrid-Ansatzes der Frühschätzung nachvollziehen, mit welchem die brennstoffspezifische Aufteilung des Primär- und Endenergieverbrauchs der Energiebilanz erfolgt. Eine detaillierte Prüfung der Frühschätzung der Energiebilanz wäre vom Expertenrat im Rahmen dieses Gutachtens nicht leistbar gewesen.
- 37 Mit der Frühschätzung der Energiebilanz erstellt die AGEb brennstoffspezifische Aktivitätsdaten innerhalb von Energiebilanzzeilen. Der Ansatz verwendet, wenn möglich, statistische Datenquellen und nur in Fällen von Datenlücken modellgestützte Schätzungen (siehe vorheriges Kapitel). Beim Primärenergieverbrauch (vornehmlich relevant für die Energiewirtschaft und zum Teil für den Industriesektor (Energiebilanzzeile 12)) sind die Unsicherheiten in der Frühschätzung der Energiebilanz generell als gering einzustufen, da die eingehenden Daten hier bereits fast vollständig vorliegen und nur

⁵ Obwohl die CRF-Kategorien 1.A.5 und 1.A.4.c ebenfalls von der Methodenumstellung betroffen sind, werden diese aufgrund der anteilig geringen Emissionen nicht geprüft.

zu einem geringen Teil aus Modellen stammen. Die Unsicherheiten der Aktivitätsdaten bei der Industrie und im Gebäudesektor (sowie für einen vernachlässigbaren Teil der Landwirtschaft) sind wegen des komplexen Modellansatzes zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs generell höher einzuschätzen als für den Sektor Energiewirtschaft. So weist die Pilotstudie für den Endenergieverbrauch einen mittleren prozentualen Fehler zwischen Prognose in der Frühschätzung und endgültiger Energiebilanz von ca. 2,1 % aus, beim Primärenergieverbrauch hingegen nur von 0,9 % (siehe Abbildung 8 in UBA 2023g). Die Unsicherheiten im Endenergieverbrauch sind für das Jahr 2022 nach Einschätzung des Expertenrats mindestens gleich oder größer als bei der Erstellung der Pilotstudie (siehe Kapitel 2.2.2 für Abweichungen). Dies liegt an der Schätzung des Endenergieverbrauchs in der Frühschätzung der Energiebilanz, die zum Großteil auf Stützzeiträumen fußt, die den Dynamiken des Jahres 2022 nicht entsprechen, und nur zum Teil auf unterjährigen Daten beruht.

- 38 Als kritisch wird von AGEb, Umweltbundesamt und Expertenrat die mangelnde Datenverfügbarkeit im Gebäudesektor erachtet, die zu vergleichsweise hohen Unsicherheiten bei den Emissionswerten führt. Zudem wurde laut Aussage der AGEb der wahre Heizölabsatz für private Haushalte aufgrund der Sondereffekte im Jahr 2022 durch das verwendete ökonometrische Modell vermutlich unterschätzt. Des Weiteren wurden verhaltensbezogene Einsparungen lediglich über Energiepreisentwicklungen berücksichtigt, jedoch nicht als mögliche gesellschaftliche Reaktion auf eine im damaligen Zeitraum befürchtete Gasmangellage (siehe Kapitel 6.1.3).
- 39 Die Sichtung der vom Umweltbundesamt verwendeten weiteren Datenquellen (siehe Tabelle 1 des Technischen Begleitdokuments) ergab, dass auch dem Expertenrat keine alternativen Datenquellen bekannt sind, die hätten genutzt werden könnten. Zudem wurden nach Einschätzung des Expertenrats die jeweils aktuellsten Daten genutzt. Ausnahmen betreffen die Daten des Monats Dezember der amtlichen Mineralölstatistik (Abweichungen der Schätzung des Monats Dezember sind in RZ 16 dargestellt) und der Monaterhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung, welche zum Zeitpunkt des Datenschlusses der AGEb zur Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz noch nicht vorgelegen haben. Anzumerken ist, dass im Industriesektor nicht alle verwendeten Datenquellen einsehbar sind, da diese teilweise der Geheimhaltung unterliegen. Übergreifend wird die Datengrundlage in allen drei Sektoren als plausibel erachtet, es ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede in den zugrunde liegenden Statistiken im Vergleich zu den Vorjahren.

Aufteilung von Energiebilanzfeldern auf Sektoren

- 40 Im Rahmen der Berechnung der Aktivitätsdaten werden am Umweltbundesamt die Energiebilanzfelder auf einzelne Quellgruppen, die letztlich eine CRF-Kategorie bilden, aufgeteilt. Für die meisten Energiebilanzzeilen ergibt sich dabei eine eindeutige Zuordnung zu einem der KSG-Sektoren. Für zwei Energiebilanzzeilen ist diese Zuordnung jedoch nicht eindeutig: Bei der Energiebilanzzeile 12 (Industriewärmekraftwerke) gibt es Überschneidungen zwischen den KSG-Sektoren Energiewirtschaft und Industrie sowie bei der Energiebilanzzeile 67 (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher) Überschneidungen zwischen der Landwirtschaft und dem Gebäudesektor. Für die Aufteilung der Aktivitätsdaten aus diesen Energiebilanzzeilen auf die Sektoren übernimmt das Umweltbundesamt die Aufteilungsdaten einzelner Energiebilanzfelder auf Quellgruppen direkt aus dem Treibhausgasinventar (t-2).⁶ Sollten die tatsächlichen Aufteilungsdaten im Jahr 2022 von denen des

⁶ Dieses Verfahren sieht das Umweltbundesamt zum einen darin begründet, dass eine hohe zeitliche Autokorrelation bei den Aufteilungsdaten besteht, d.h., dass aufeinanderfolgende Aufteilungsdaten einander stark ähneln. Zum anderen habe die

Jahres 2021 abweichen, könnte es hier zu Ungenauigkeiten in der Schätzung der Aktivitätsdaten kommen. Solche Anteilsverschiebungen zwischen Kalenderjahren sind grundsätzlich möglich, insbesondere in Jahren mit stark veränderten Rahmenbedingungen wie im Jahr 2022 (z. B. Preiselastizitäten). Das Ausmaß der möglicherweise resultierenden sektoralen Verschiebung von THG-Emissionen konnte vom Expertenrat im Rahmen der Prüfung nicht quantifiziert werden, da auch dem Expertenrat keine Daten vorlagen, die eine näher an den tatsächlichen Werten liegende Aufteilung, als die vom Umweltbundesamt vorgenommene, erlauben würden. Dennoch bleibt der Hinweis, dass über andere Ansätze ein anderes Ergebnis für die Aufteilungsdaten möglich gewesen wäre. Beispiele für solche Ansätze sind Expert*innenplausibilisierungen, wie sie beispielsweise in den vergangenen Jahren am Umweltbundesamt durchgeführt wurden.

- 41 In der Energiebilanzzeile 12 beträgt zum Beispiel der Anteil des Sektors Energiewirtschaft an den CO₂-Emissionen von Erdgas, Mineralölen, Braun- sowie Steinkohlen für das Jahr 2022 ca. 7 % (2416,7 kt CO₂-Äq.). Eine Verschiebung zu Lasten der Energiewirtschaft (d.h., Erhöhung) auf anteilig ca. 11 % würde die aktuelle KSG-Zielwertunterschreitung (1,1 Mt CO₂-Äq., siehe Kapitel 5) negieren.⁷ Daher könnte eine Unschärfe in der Verteilung dieser Aktivitätsdaten bei knapper Zieleinhaltung bzw. -verfehlung in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie durchaus relevant sein. Für die übrigen Quellgruppen der Industrie und des Gebäudesektors ist die Unsicherheit, die durch die nachgelagerte Aufteilung der Aktivitätsdaten entstehen könnte, vernachlässigbar (siehe Fußnote 6).

Stichprobe für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen

- 42 Die Überführung der Daten der Energiebilanz in die der Berechnung der Treibhausgasemissionen zugrunde gelegten Aktivitätsdaten konnte vor dem Hintergrund der Komplexität des vom Umweltbundesamt verwendeten und im Rahmen der Inventarberichterstattung genutzten sowie qualitätsgesicherten Systems von Datenbanken und Berechnungsschritten nicht in allen Einzelheiten nachvollzogen werden. Eine Ausnahme stellt der Gebäudesektor dar, in dem die Korrespondenz von Energiebilanzdaten und den im Rahmen der Berechnung der Treibhausgasemissionen verwendeten Aktivitätsdaten unmittelbar einsichtig ist.
- 43 Exemplarisch hat sich der Expertenrat die Berechnungsschritte für die Aufteilung des Brennstoffs Erdgas aus Energiebilanzzeile 15 („Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung“) auf die Aktivitätsdaten der Quellgruppe 1.A.1.a anhand einer für den Expertenrat erstellten Dokumentation sowie im Rahmen eines virtuellen Termins mit dem Umweltbundesamt am 24.03.2023 erklären lassen. Von Seiten des Umweltbundesamts wurde bestätigt, dass das beschriebene Vorgehen für die anderen Energiebilanzzeilen und Brennstoffe analog angewandt wird. Der Expertenrat konnte die Berechnung

feingliedrige Disaggregation auf Quellgruppen über die historischen Aufteilungsdaten einen geringen Einfluss auf die Emissionsberechnungen einer CRF-Kategorie, da eine hohe Konsistenz zwischen Verbrennungsprozessen, Brennstoffen und den entsprechenden Emissionsfaktoren besteht. In Summe ist der Einfluss der vorgenommenen Aufteilungen auf die CO₂-Emissionen, die bei den energiebedingten Emissionen dominieren, laut Umweltbundesamt damit gering.

⁷ Diese Betrachtung bezieht sich auf aggregierte Emissionen. Auf Ebene einzelner Brennstoffe lagen dem Expertenrat für Klimafragen nicht ausreichend Daten vor, um den Einfluss hypothetischer Aufteilungsdaten auf Aktivitätsdaten stichhaltig zu untersuchen. Solche Analysen sind für den nächsten Prüfbericht angestrebt. Zur Veranschaulichung ist hier aber beispielhaft folgende Betrachtung: Eine Erhöhung des Anteils der Energiewirtschaft am Energiebilanzfeld Erdgas um 1 % könnte einen Anstieg der Emissionen in diesem Sektor um 88,2 kt CO₂-Äq. bedingen. So ließe sich – bezogen auf die existierende Aufteilung der Energiebilanzzeile 12 – die benötigte Anteilsverschiebung bis zu einer Zielverfehlung ermitteln (von ca. 3 % auf ca. 15 %). Diese Werte ergeben sich aus eigenen Berechnungen anhand eines Datensatzes, der bei der Stichprobe für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen zusätzlich vom UBA bereitgestellt wurde.

nachvollziehen und sieht keinen Grund zur Annahme, dass es bei anderen Energiebilanzzeilen Anlass zu einer Beanstandung geben könnte.

3.3 Nachträgliche Übermittlung von Korrekturen im Verkehrssektor durch das Umweltbundesamt

- 44 Der Expertenrat hat den Sektor Verkehr im Berichtsjahr 2022 nicht vertiefend geprüft, da es hier anders als in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude nicht zu einer methodischen Änderung gegenüber den Vorjahren gekommen ist. Da die für die hier geprüften Sektoren verwendete Frühschätzung der Energiebilanz ebenfalls relevante Energiebilanzzeilen für den Verkehrssektor enthält, hat der Expertenrat das Umweltbundesamt jedoch darauf hingewiesen, dass diese Daten auch zur Validierung der berechneten Emissionsdaten im Verkehrssektor genutzt werden könnten. Auf Basis dieses Hinweises kam es zur nachträglichen Erhöhung der Emissionsmenge im Verkehrssektor um 635 kt CO₂-Äq. Im Rahmen einer Validierungsrechnung wurde eine Untererfassung bei der Erfassung der Energiemenge für Diesel im nationalen Seeverkehr festgestellt. Da diese Untererfassung nicht Gegenstand des begleitenden Berichts der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten (UBA 2023b) ist, bittet der Expertenrat das Umweltbundesamt, die Berechnung der Emissionsdaten um diesen Fehler zu korrigieren und die entsprechenden Tabellen anzupassen. Diese Anpassung hat Auswirkungen auf den Umfang des vom zuständigen Ressort nach KSG § 8 Abs. 4 KSG vorzulegenden Sofortprogramms sowie für die Neuberechnung der zulässigen Jahresemissionsmengen des Verkehrssektors nach § 4 Abs. 3 KSG.

3.4 Fazit zur Prüfung

- 45 Die vertiefende Prüfung hat aus Sicht des Expertenrats keine Anzeichen ergeben, dass die Datengrundlage, das Vorgehen bei der Aufteilung der Energiebilanzzeilen für Aktivitätsdaten und das Vorgehen des Umweltbundesamts hinsichtlich der an die Inventare angelehnten Berechnung der Treibhausgasemissionen grundsätzlich ungeeignet oder in ungeeigneter Weise durchgeführt worden wäre. Einzige Ausnahme ist eine Untererfassung von Aktivitätsdaten im Verkehrssektor.
- 46 Auch liefert die Prüfung keinen Hinweis, dass der in Kapitel 2 beschriebene Methodenwechsel zu einer Verschlechterung der Datenqualität geführt haben könnte. Dabei wird allerdings darauf hingewiesen, dass die Anwendung der bisherigen Methode zur Berechnung der Emissionsdaten, welche auf Schätzungen, statistischen Daten sowie Expert*innenschätzungen beruhte, zu anderen Ergebnissen hätte führen können.
- 47 Grundsätzlich bestätigt die Prüfung die bekannten Unsicherheiten in der Berechnung der Emissionsdaten, welche bei der Frühschätzung der Energiebilanz durch die AGEb und bei der nachfolgenden Aufteilung einzelner Energiebilanzzeilen auf CRF-Kategorien bestehen. Diese Unsicherheit ist insbesondere im Hinblick auf die knappe Unterschreitung der Energiewirtschaft im Jahr 2022 von -1,1 Mt CO₂-Äq. bedeutsam (siehe Kapitel 5).

4 Gütebetrachtung

4.1 Allgemeine Überlegungen

- 48 Die sektoralen THG-Emissionen im Nationalen Treibhausgasinventar und insbesondere in der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres sind Schätzungen, die vielfach auf vorläufigen Datenquellen basieren. Dabei bildet die Diskrepanz zwischen geschätzten und wahren Werten eine Gesamtunsicherheit ab, welche sich aus zufälligen Fehlern und systematischen Verzerrungen zusammensetzt. Diese beiden Konzepte sind unabhängig voneinander zu betrachten, ergeben jedoch zusammengenommen die Ungenauigkeit einer Schätzung. Ist die Datenverfügbarkeit auf geringe Stichprobengrößen begrenzt, sinkt die Präzision bei Schätzungen durch eine Zunahme von zufälligen Fehlern. Systematische Verzerrungen hingegen können durch Instrumentenfehler auftreten oder wenn nicht alle Prozesse, die die Messgrößen beeinflussen oder steuern, berücksichtigt werden (IPCC 2006).
- 49 Aus der Unsicherheitsbetrachtung ergeben sich zwei Fragen an die Güte der berechneten Emissionsdaten: (1) In welchem Umfang muss mit nachträglichen Korrekturen der Emissionsschätzungen gerechnet werden, sofern später detailliertere und präzisere Ausgangsdaten für das Jahr 2022 vorliegen? Und (2) wie präzise trifft die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres den wahren, nicht beobachtbaren Emissionswert? Eine Antwort auf die erste Frage wird in Kapitel 4.2 angestrebt. Zunächst werden die bisherigen Korrekturbedarfe der Berechnungen der Vorjahresemissionen im Längsschnitt aufgezeigt. Des Weiteren werden die Korrekturen zwischen den Emissionsschätzungen im Rahmen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar für das Berichtsjahr 2021 analysiert. Zusätzlich werden die Berichtsjahre 2020 und 2021 hinsichtlich späterer Korrekturen und des Über- bzw. Unterschreitens der KSG-Sektorenziele betrachtet. Für die Beantwortung der zweiten Frage erfolgt eine Diskussion der Angaben zu sektorenspezifischen und sektorenübergreifenden Unsicherheiten des Umweltbundesamtes (Kapitel 4.3). Die Plausibilität der Unsicherheiten des Umweltbundesamtes wird in Kapitel 4.4 auf Basis eines Vergleichs mit den bisherigen Korrekturbedarfen bewertet.

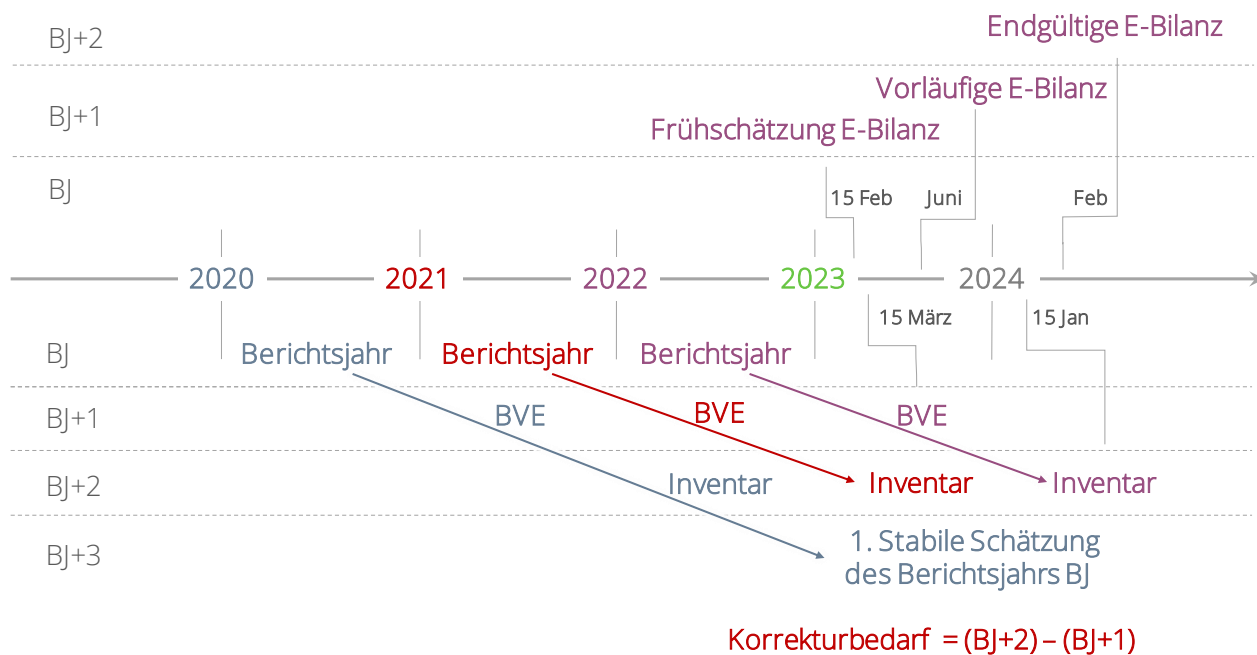
4.2 Korrekturbedarfe

4.2.1 Zielsetzung und mehrjähriger Vergleich historischer Korrekturbedarfe

- 50 Die Qualität der Emissionsdaten nimmt für ein Berichtsjahr (BJ) ausgehend von der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres (BJ+1) über nachfolgende Treibhausgasinventare (BJ+i mit $i \geq 2$) zu. Dies liegt an der steigenden Verfügbarkeit von Ausgangsdaten. Eine schematische Darstellung der zeitlichen Abfolge der Veröffentlichungen zeigt Abbildung 5. Daraus ergeben sich für Emissionsdaten in späteren Treibhausgasinventaren im Vergleich zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres regelmäßig umfangreiche Korrekturbedarfe. Dabei berichtet die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres nur die Treibhausgasemissionen des zurückliegenden Berichtsjahres, wohingegen die Nationalen Treibhausgasinventare Emissionsdaten für den Zeitraum vom Jahr 1990 bis zum jeweiligen Bezugsjahr enthalten. Hierbei werden die Emissionsdaten rückwirkend für alle Jahre an die neusten Daten und Methoden angepasst. Daher ist zu erwarten, dass sich die Genauigkeit der berichteten THG-Emissionen im Zeitverlauf erhöht und somit die Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Emissionsschätzungen für dasselbe Berichtsjahr (Korrekturbedarf) ein Gütekriterium darstellt (ERK 2023, Kap. A.2.1). Die

Genauigkeit der berichteten THG-Emissionen unterteilt sich dabei in zwei Kriterien: Präzision und Richtigkeit. Die Präzision gibt die Streubreite der Schätzung an, wohingegen die Richtigkeit die Schätzung hinsichtlich systematischer Fehler bewertet.

Abbildung 5: Schematische Darstellung von der zeitlichen Aufeinanderfolge diverser Veröffentlichungen



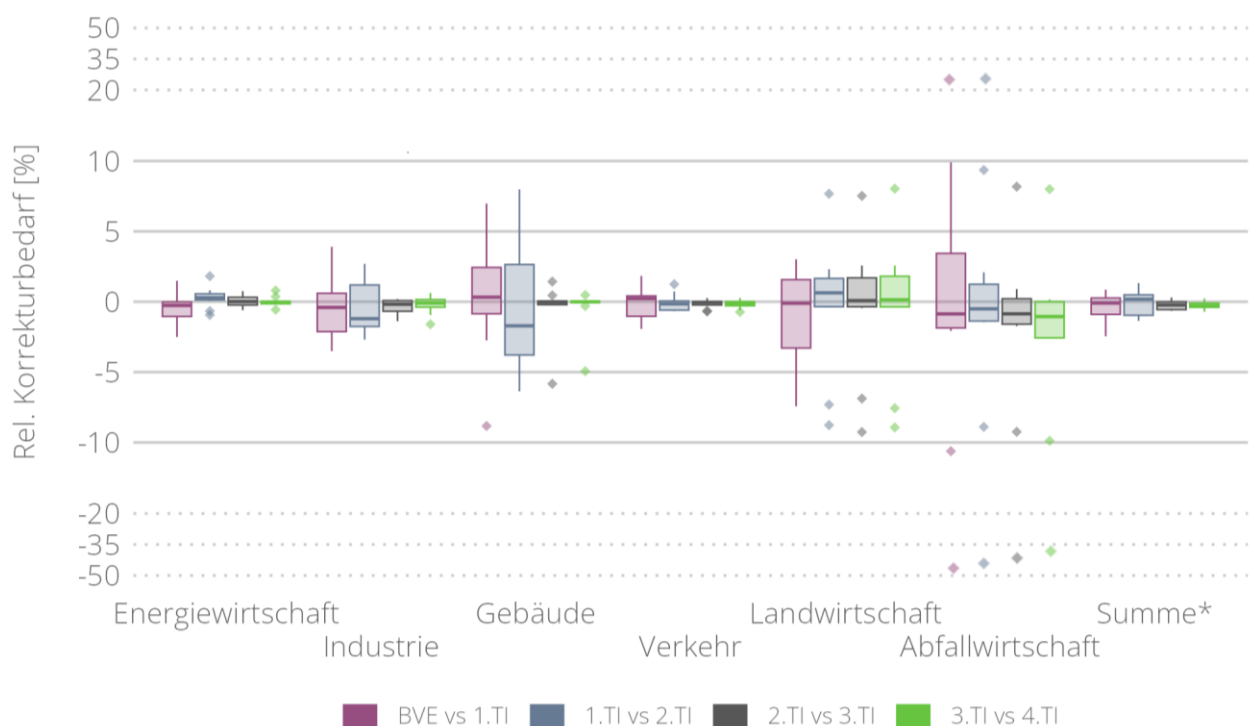
Eigene Darstellung. E-Bilanz = Energiebilanz; BVE = Berechnung der Vorjahresemissionsdaten; BJ = Berichtsjahr. Korrekturbedarfe ergeben sich aus den Differenzen aufeinanderfolgender Veröffentlichungen.

- 51 Um die Güte der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres zu bewerten, wurde im Rahmen der letzten Prüfberichte des Expertenrats der beobachtete Korrekturbedarf der Treibhausgasinventare über die Zeit ermittelt. Emissionsdaten, die in den nachfolgenden Treibhausgasinventaren im Regelfall nur noch geringfügig korrigiert wurden, werden als stabile Schätzung bezeichnet. Für den aktuellen Bericht wurde eine Aktualisierung und Ergänzung um das Berichtsjahr 2021 vorgenommen (siehe ERK 2023, Kapitel A.2.1).
- 52 Die Korrekturen zwischen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres und nachfolgendem Treibhausgasinventar sowie aufeinanderfolgender Treibhausgasinventare werden dabei sowohl auf sektoraler Ebene als auch aggregiert ab dem Berichtsjahr 2010 analysiert. Wie bereits in vergangenen Prüfberichten (ERK 2021; 2022b) festgestellt, lässt sich aus (unmittelbar) nachfolgenden Korrekturen durch die Inventarberichterstattung keine systematische Über- oder Unterschätzung bei der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres feststellen (siehe Abbildung 6 und ERK 2023). Somit können die berichteten THG-Emissionen in Anbetracht der angewandten Methoden und einhergehenden Limitierungen als richtig angesehen werden.
- 53 Die Korrekturbedarfe nehmen in der Regel ab, je weiter die berichteten Emissionsdaten und das Berichtsjahr auseinander liegen (siehe Abbildung 6). Sowohl die sektoralen als auch die Gesamtemissionen wurden nach dem zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+3) im Regelfall nur noch geringfügig korrigiert. Für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr liegen die Mittel der absoluten Korrekturen etwa unter 0,4 %, im Gebäudesektor bei 0,8 % und in der

Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges bei etwa 3 % und 6,5 % (ERK 2023). Daher ist festzustellen, dass die Präzision der berichteten THG-Emissionen im Zeitverlauf zunimmt.

- 54 Die Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges waren bislang am stärksten von nachträglichen Korrekturen der Treibhausgasinventare betroffen. Ursache hierfür sind insbesondere Anpassungen bezüglich der Annahmen der Emissionsfaktoren der Nicht-CO₂-Emissionen (CH₄, N₂O-Emissionen) sowie eine zum Teil mit großer Verzögerung berichtete Datenlage (Destatis 2021) (Destatis 2019; 2018). Es kann daher gerade in diesen Sektoren auch nach dem zweiten nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventar (BJ+i mit $i \geq 3$) zu substantziellen Korrekturen der Nicht-CO₂-Emissionen und somit auch der CO₂-äquivalenten Emissionen kommen.
- 55 Folglich sollten alle früher berichteten Emissionsdaten aufgrund vorläufiger, maßgeblicher Ausgangsdaten unter dieser Prämisse bewertet werden. Diese Erkenntnisse sind auch auf die Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Berichtsjahr 2022 (BJ+1 UBA 2023b) übertragbar. Folglich ist mindestens bis zum zweiten nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventar (BJ+3) für das Berichtsjahr 2022 mit Korrekturen auf sektoraler Ebene zu rechnen. Dieses wird im Jahr 2025 zur Verfügung stehen.

Abbildung 6: Relative Korrekturbedarfe der Emissionsdaten gegenüber der jeweils vorangegangenen Emissionsschätzung der Berichtsjahre 2010 – 2021



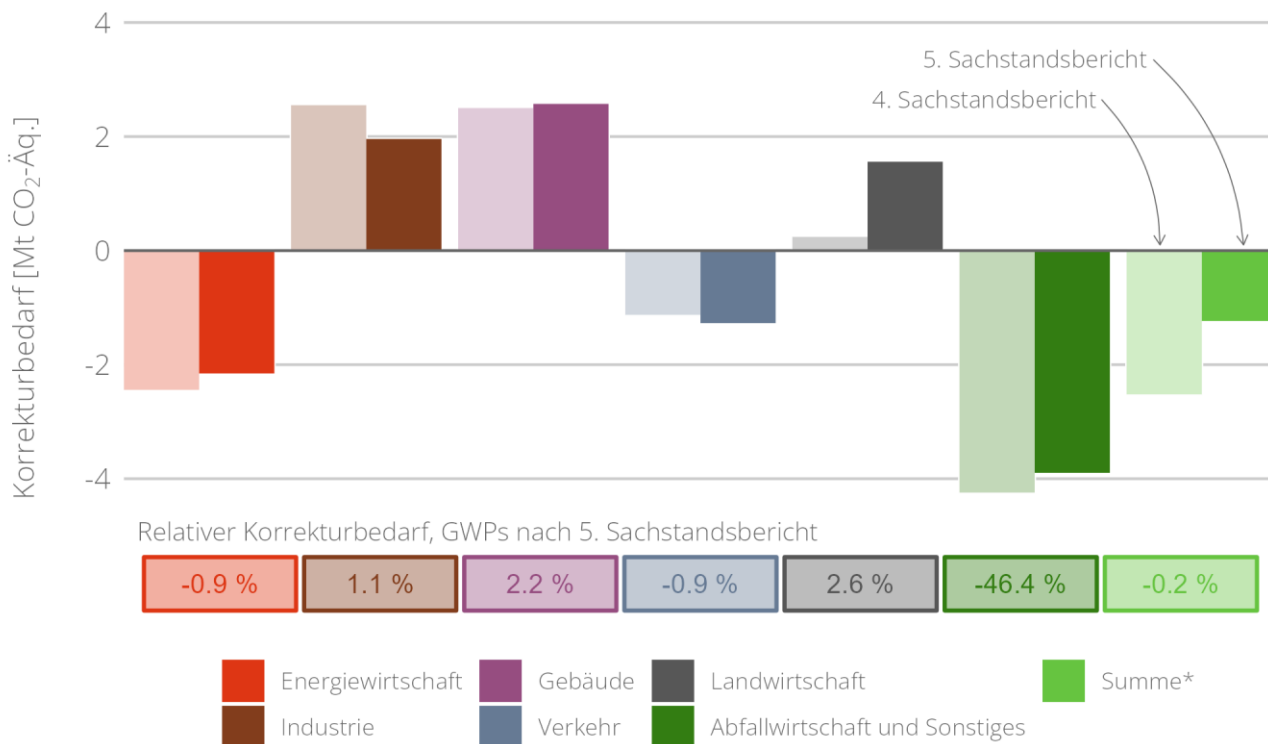
Eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen auf Basis der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) und der Treibhausgasinventare (TI) des Umweltbundesamtes der Berichtsjahre 2010–2021. Die x-Achse (Relativer Korrekturbedarf) ist uneinheitlich skaliert, da für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges einzelne Datenpunkte bedeutend höher bzw. tiefer liegen. Jeder Kasten beschreibt zwischen Unter- und Oberkante das 25. bis 75. Perzentil und die Mittelbande den Median. Die maximale Länge der aufsitzenen (hängenden) „Ähren“ ist gleich dem Abstand des 25. und 75. Perzentils multipliziert mit 1,5, und wird bis zum letzten Wert innerhalb dieser Länge gezeichnet. Alle Werte, die nicht entlang der Ähre sitzen, werden als Punkte gesondert gezeichnet.

* beinhaltet nicht die Treibhausgasemissionen des Sektors LULUCF.

4.2.2 Nachträglicher Korrekturbedarf für das Berichtsjahr 2021

- 56 Der nachträgliche Korrekturbedarf für das Berichtsjahr 2021 zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten (2022) und dem nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventar (2023) ist in Abbildung 7 für die aktualisierten und vorherigen Treibhausgaspotenzialen (Global Warming Potentials, GWPs) aus dem vierten und fünften Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2014; 2007) dargestellt (siehe auch Tabelle 2). Nachfolgende Aussagen beziehen sich auf Korrekturen, die mit den aktuellen GWPs (fünfter Sachstandsbericht) errechnet wurden. Die Gesamtemissionen (ohne LULUCF) wurden um 1,23 Mt CO₂-Äq. im Treibhausgasinventar (BJ+2) reduziert. Die Anpassung ergab sich aus Erhöhungen in den Sektoren Industrie (1,96 Mt CO₂-Äq.), Gebäude (2,57 Mt CO₂-Äq.), Landwirtschaft (1,56 Mt CO₂-Äq.) und nachträglichen Minderungen bei den Sektoren Energiewirtschaft (-2,15 Mt CO₂-Äq.), Verkehr (-1,27 Mt CO₂-Äq.) sowie Abfallwirtschaft und Sonstige (-3,90 Mt CO₂-Äq.).
- 57 Während die absoluten Korrekturen für die einzelnen Sektoren in einem ähnlichen Ausmaß liegen, unterscheiden sich die relativen Korrekturen deutlich. Diese Unterschiede sind auf die variierenden Anteile der Sektoren an den Gesamtemissionen zurückzuführen. So begrenzen sich die Korrekturen für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr auf 0,9 % (Verkehr) bis 2,2 % (Gebäude) sowie auf 0,2 % für die Gesamtemissionen (ohne LULUCF). Bei den Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige hingegen umfassen die Korrekturen 2,6 % bzw. sogar 46,4 % (siehe Abbildung 7).
- 58 Die Korrekturen ergaben sich nicht nur aus der nachträglichen Aktualisierung von Aktivitätsdaten. Insbesondere bei der Landwirtschaft kommen die angepassten GWPs des fünften Sachstandsberichts zum Tragen, da ein Großteil des Sektors von Lachgas- und Methanemissionen dominiert wird. Ähnlich verhält es sich beim Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige. Hier schlägt eine Anpassung der Emissionsfaktoren (siehe Kapitel 2.2.3), die auch auf die gesamte Zeitreihe rückgerechnet wird, allerdings bei der Korrektur stärker zu Buche.

Abbildung 7: Absolute und relative Korrektur der Emissionsdaten zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten (BJ+1) und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+2) für das Berichtsjahr 2021 mit den GWPs des vierten und fünften Sachstandsberichts



Eigene Darstellung auf Basis eigener Berechnungen zu der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten 2021 und des Nationalen Treibhausgasinventars 2023 des Umweltbundesamtes (Stand 13.01.2023 und 15.03.2023). Die helle und dunkle Farbabstufung zeigt die Berechnungen mit GWPs respektive nach viertem und fünften Sachstandsbericht des IPCC. Korrekturen ergeben sich nicht nur aus den geänderten GWPs (z. B. relevant bei Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges; siehe Kapitel 2.2.3). * beinhaltet nicht die Treibhausgasemissionen des Sektors LULUCF

- 59 Grundsätzlich basiert die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres auf zum Teil vorläufigen Statistiken, weswegen es regelmäßig zu Korrekturen durch das Vorliegen der endgültigen Energiebilanz kommt. Neben endgültigen Statistiken führen methodische Änderungen zu Korrekturen und damit verbundenen Rückrechnungen der gesamten Zeitreihe. Die in Abbildung 7 gezeigten absoluten und relativen Korrekturen lassen sich ausnahmslos auf methodische Rückrechnungen (siehe Böttcher 2022) und endgültige Statistiken zurückführen. Daher wird an dieser Stelle nicht explizit auf die Gründe der Korrektur eingegangen. Abbildung 7 zeigt weiter die Differenz der Korrekturen durch die Umstellung der Treibhausgaspotenziale auf den Stand des 5. Sachstandsberichts (IPCC 2014).
- 60 Die Anpassung der Treibhausgaspotenziale hat, wie bereits in ERK (2022b) beschrieben, hauptsächlich Auswirkungen auf die Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft. Durch den Anstieg des der Treibhausgaspotenziale für CH₄ um 12 % und die Reduktion des Wertes für N₂O um 11 % kommt es in der Landwirtschaft zu einem zusätzlichen Anstieg in Höhe von 1,3 Mt CO₂-Äq (Differenz zwischen heller und dunkler Farbstufe, Abbildung 7). Der absolute Anstieg der THG-Emissionen durch die Umstellung des Treibhausgaspotenzials in der Abfallwirtschaft und Sonstiges liegt bei 0,4 Mt CO₂-Äq., entsprechend einem relativen Anstieg von 8 %. Während die Änderungen der Treibhausgaspotenziale von CH₄ und N₂O wenig Auswirkungen auf die Industrie haben, führt die Anpassung der Treibhausgaspotenziale diverser F-Gase zu einer Reduktion der THG-Emissionen um 0,6 Mt CO₂-Äq. Insgesamt führen die

Anpassungen der Treibhausgaspotenziale zu einem Anstieg der THG-Emissionen um 1,3 Mt CO₂-Äq. (ohne LULUCF).

Tabelle 2: Absolute und relative Korrektur der Emissionsdaten zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten (BJ+1) und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+2) für das Berichtsjahr 2021 mit den GWPs des vierten und fünften Sachstandsberichts

		4. Sachstandsbericht (Stand 9. Jan, 2023)			5. Sachstandsbericht (Stand 15. Mär, 2023)	
	KSG-Ziel	BVE	THG-Inventar	Korrektur	THG-Inventar	Korrektur
	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]
Energiewirtschaft	-	247,3	244,8	-2,4	245,1	-2,2
Industrie	182	181,3	183,8	2,6	183,2	2,0
Gebäude	113	115,5	118,0	2,5	118,0	2,6
Verkehr	145	148,1	146,9	-1,1	146,8	-1,3
Landwirtschaft	68	61,1	61,3	0,2	62,7	1,6
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	8,4	4,1	-4,2	4,5	-3,9
Gesamt-emissionen (ohne LULUCF)	-	761,6	759,1	-2,5	760,4	-1,2

Eigene Darstellung auf Basis eigener Berechnungen zu der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) für 2021 und des Nationalen Treibhausgasinventars 2023 des Umweltbundesamtes (Stand 09.01.2023 und 15.03.2023). Alle Werte sind in Mt CO₂-Äq. Korrekturen ergeben sich nicht nur aus den geänderten GWPs (z. B. für Abfallwirtschaft und Sonstiges, siehe Kapitel 2.2.3). Etwaige Diskrepanzen bei Korrekturen ergeben sich aus Rundungen.

4.3 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2021

- 61 Zusätzlich zu den Emissionsdaten weist das Umweltbundesamt sektorenspezifische und sektorenübergreifende Unsicherheitsbereiche der Treibhausgasemissionen aus. Das Umweltbundesamt führt dementsprechend Unsicherheitsschätzungen aller Quellgruppen und Senken im Rahmen der Nationalen Inventarberichterstattung durch (UBA 2023f)⁸.
- 62 In Tabelle 3 sind die vom Umweltbundesamt angegebenen sektorenspezifischen Unsicherheiten dargestellt, aufgeteilt nach Unsicherheiten bei den Aktivitätsdaten, Emissionsfaktoren und auf Ebene der Gesamtemissionen. Hervorzuheben ist, dass die absoluten Bandbreiten der Konfidenzintervalle aller Sektoren, ausgenommen LULUCF, in der Größenordnung mehrerer Mt CO₂-Äq. liegen. Die größten relativen Unsicherheiten (bezogen auf die Emissionsmengen) gibt es laut Umweltbundesamt in den Sektoren Landwirtschaft (21,9 %), LULUCF (45,7 %) und, mit deutlichem Abstand, im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges (291,5 %). Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist das Konfidenzintervall um ein Vielfaches größer als der geschätzte sektorale Emissionswert. Diese große Unsicherheit ist durch die Vielzahl und Heterogenität an Abfallarten und einer nicht aktuellen bzw. nicht vollständig sachdienlichen Datenlage zu erklären, die Unschärfen bei den Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten bedingen (UBA 2023f, S. 123). Diese sind folglich auch in den nachträglichen Korrekturbedarfen ersichtlich (siehe Kapitel 4.2.1). Den Hauptbeitrag zur hohen Unsicherheit im Landwirtschaftssektor leisten die Nicht-CO₂-Emissionen, insbesondere die N₂O-Emissionen aus den CRF-Kategorien 3.B Düngermanagement und 3.D landwirtschaftliche Böden (UBA 2023f, S. 124). Auch hier spiegelt sich dies bei den in Kapitel 4.2.1 berichteten Korrekturbedarfen wider. Die hohe sektorspezifische Unsicherheit im Sektor LULUCF ist auf die zum Zeitpunkt der Berechnung noch nicht vorliegenden Daten bzw. nicht aktuellen Datengrundlage zurückzuführen (UBA 2023a).
- 63 Die geringsten Konfidenzintervalle sowohl bei den Aktivitätsdaten als auch bei den Emissionsfaktoren werden in der Industrie und der Energiewirtschaft berichtet. Die niedrigere sektorale Unsicherheit in der Energiewirtschaft lässt sich durch die frühere Verfügbarkeit zuverlässiger Daten erklären (UBA 2023a). Die niedrige sektorale Unsicherheit im Industriesektor lässt sich nach Angaben des Umweltbundesamtes auf die hohe Korrelation zwischen verfügbaren Produktionsdaten und dem Brennstoffeinsatz zurückführen (UBA 2023a). Dennoch sei hier darauf hingewiesen, dass der Industriesektor in der Vergangenheit hohen nachträglichen Korrekturen unterlag (siehe Kapitel 4.2.1).
- 64 Die Angaben des Umweltbundesamtes zu den sektorspezifischen Unsicherheiten konnten mithilfe der IPCC-Richtlinien aus dem Jahr 2006 (IPCC 2006) unabhängig nachvollzogen und geprüft werden. Weiter wurde die Anwendung des Experten-Boosters, der die Unsicherheiten in Aktivitätsdaten moduliert, mithilfe des Umweltbundesamtes nachvollzogen. Der vorläufige Charakter der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres wird zum einen durch die zur Unsicherheitsberechnung verwendete Methode, zum anderen bei der Anwendung des Experten-Boosters deutlich (siehe auch ERK 2022c). Die

⁸ Nach den IPCC-Richtlinien können zwei Verfahren (Approach-1 und Approach-2) zur Aggregation von Unsicherheiten verwendet werden. Zur Bestimmung der Unsicherheit der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres wurde die Approach-1-Methode (Fehlerfortpflanzung) angewendet. Eine genauere Erläuterung dieses Vorgehens findet sich in (ERK Kap. A.3.2.). Für die Treibhausgasinventare wird zusätzlich die Approach-2-Methode zur Ermittlung von Unsicherheiten genutzt. Zweite Methode trägt unterschiedlichen Verteilungsfunktionen Rechnung, indem auch asymmetrische Unsicherheitsangaben durch Aggregation mittels Monte Carlo Simulation berücksichtigt werden. Das Approach-2-Verfahren ist jedoch komplexer als die Fehlerfortpflanzung und erfordert zusätzlich die Ermittlung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren (UBA 2023f).

Experten-Booster entsprechen außer für den Sektor LULUCF, der von 1,2 auf 1,3 angehoben wurde, denen des Vorjahres. Die Anhebung trägt laut Umweltbundesamt den Umweltbedingungen im Jahr 2022 Rechnung. Des Weiteren sei das Beibehalten der übrigen Werte darin begründet, dass etwaige Methodenverbesserungen bzw. -änderungen die Unsicherheiten, die auf der besonderen Situation des Jahres 2022 beruhen (siehe z. B. Kapitel 6.1), ausgleichen würden. Da der Experten-Booster aber nur auf die Aktivitätsdaten übertragen wird, hat dessen absoluter Wert einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Gesamtunsicherheit. Nach Einschätzungen des Umweltbundesamtes sollen die Unsicherheiten als qualitative Orientierungsgröße und nicht als trennungsscharfes Unsicherheitsband dienen. Dieser Charakter der Unsicherheitsberechnung konnte vonseiten des Expertenrats nachvollzogen werden. Alle vom Umweltbundesamt zugrunde gelegten Annahmen und Berechnungen konnten nachvollzogen werden und werden für plausibel begründet erachtet.

Tabelle 3: Unsicherheit der sektoralen und aggregierten Emissionsschätzungen nach Angaben des Umweltbundesamtes

Sektor nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)	Emissionsschätzung [Mt CO ₂ -Äq.]	Unsicherheiten			
		Aktivitätsdaten [%]	Emissionsfaktoren [%]	THG-Emissionen [±Mt CO ₂ -Äq.]	THG-Emissionen [%]
Energiewirtschaft	255,9	2,5	2,3	8,6	3,3
Industrie	164,2	1,6	1,9	4,0	2,4
Gebäude	111,7	4,6	6,2	8,6	7,7
Verkehr	147,9 148,5*	2,5	4,6	7,8	5,3
Landwirtschaft	61,7	4,7	21,4	13,5	21,9
Abfallwirtschaft und Sonstiges	4,3	62,6	284,7	12,5	291,5
LULUCF	-1,8	11,5	44,2	-0,8	45,7
Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	745,6			23,8	3,2

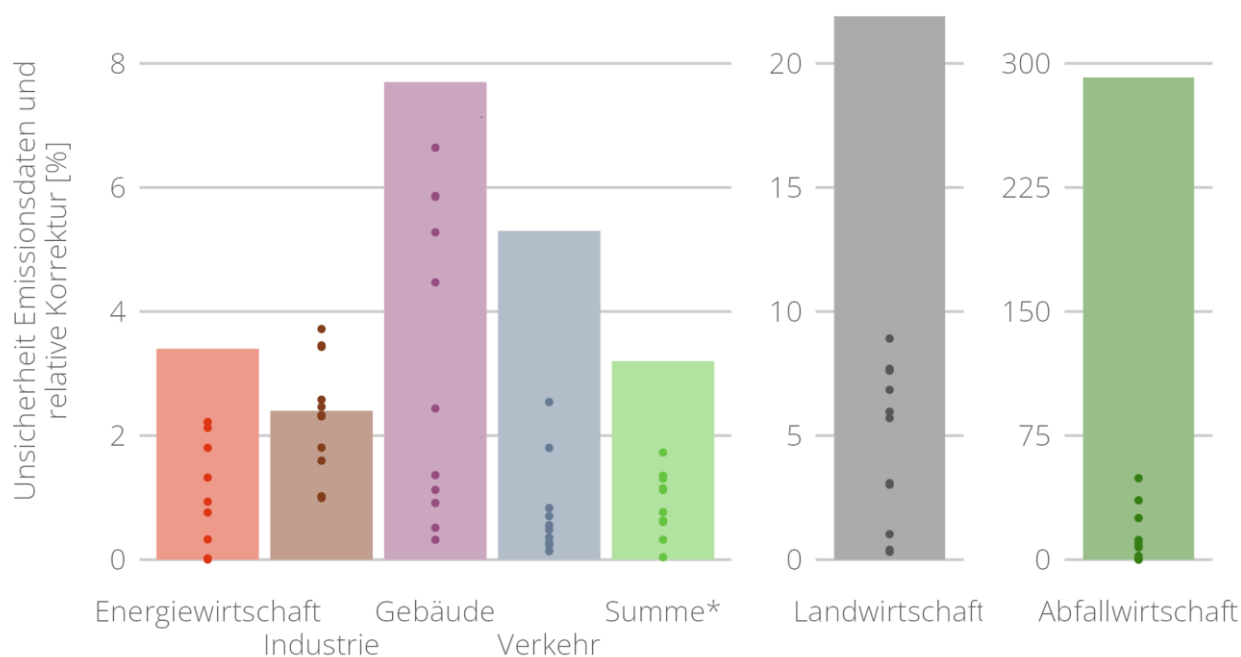
Eigene Darstellung auf Basis von (UBA 2023e). * Im Verkehrssektor wurde durch das Umweltbundesamt nach dem 15.03.2023 eine Untererfassung von 0,6 Mt CO₂-Äq. im Rahmen einer Validierungsrechnung festgestellt, die Emissionsdaten liegen demnach 0,6 Mt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt ursprünglich berichteten Wert.

4.4 Einordnung und Vergleich von Unsicherheiten und Korrekturbedarfen

- 65 Die vom Umweltbundesamt ausgewiesene Unsicherheit schätzt eine (hypothetische) Verteilungsfunktion des Fehlers zwischen der Punktschätzung und der tatsächlichen (unbeobachteten und unbeobachtbaren) Emissionsmenge. Ob diese Verteilungsfunktion zutreffend geschätzt wird, lässt sich empirisch nicht ohne weiteres überprüfen, weswegen der Expertenrat sich diesbezüglich auf die Prüfung des Prozesses der Ermittlung der Unsicherheitsbänder beschränkt (siehe Kapitel 4.3).
- 66 Eine grobe Indikation für die Plausibilität der vom Umweltbundesamt ermittelten Unsicherheitsangaben kann sich aus dem Vergleich mit dem beobachteten historischen Korrekturbedarf der Jahre 2010 bis

2020 ergeben. Dieser berechnet tatsächliche Anpassungen an die Schätzungen im Zeitverlauf (siehe Kapitel 4.2) und sollte sich infolge dieser Anpassungen idealerweise dem tatsächlichen Wert immer mehr annähern. Die diesjährige Prüfung konnte das Inventar (BJ+3) erneut als, erste stabile Schätzung⁹ bestätigen (siehe Kapitel 4.2.1). Interpretiert man den zweiten Inventarbericht in diesem Sinne als Proxy für den tatsächlichen Wert der Emissionen, kann man den historischen Korrekturbedarf von (BJ+1) zu (BJ+3) als die tatsächliche Realisierung des zum Zeitpunkt (BJ+1) zu vermutenden Fehlers betrachten. Wenn die heute ausgewiesene Unsicherheit dann auch die in der Vergangenheit vorliegende Unsicherheit beschreiben würde (Annahme einer konstanten Unsicherheitsstruktur), würde man erwarten, dass bei 11 Datenpunkten zu historischen Korrekturen weniger als 1 Datenpunkt außerhalb des 95 % Konfidenzintervalls liegt. Liegen mehr Datenpunkte außerhalb des Konfidenzintervalls, hieße das, dass die Streuung der Korrekturbedarfe, und somit ihre Varianz, in der Vergangenheit größer war als die Unsicherheit, die das Umweltbundesamt aktuell für die Zukunft unterstellt.

Abbildung 8: Gegenüberstellung der Unsicherheiten des Umweltbundesamtes mit den relativen Korrekturbedarfen im zweiten Inventarbericht gegenüber der jeweiligen Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres



Eigene Darstellung auf Basis der Vorjahresschätzungen und Nationalen Inventarberichte des Umweltbundesamtes der Veröffentlichungsjahre 2011–2022 sowie ergänzende Informationen des Umweltbundesamtes zu UBA (2023e). * beinhaltet nicht die Treibhausgasemissionen des Sektors LULUCF.

- 67 Die Gegenüberstellung der historischen Korrekturbedarfe mit den vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheiten (Abbildung 8) zeigt auf Ebene der Gesamtemissionen (Summe ohne

⁹ Die erste stabile Schätzung beschreibt das Inventar, nachdem es zu keinen substantziellen nachträglichen Korrekturen kommt. Dies ist der Fall für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr (siehe Kapitel 4.2.1, insb. Abbildung 6).

LULUCF) sowie in allen Sektoren außer der Industrie, dass keine der historischen Korrekturen außerhalb des jeweiligen Konfidenzintervalls liegen. Es gibt hinsichtlich dieser Sektoren also keinen Hinweis darauf, dass das Umweltbundesamt eine besondere Begründung vorbringen müsste, warum die für die Zukunft angegebenen (hypothetischen) Unsicherheitsbänder geringer sind als die tatsächlichen Streubreiten historischer Korrekturbedarfe.

- 68 Für den Sektor Industrie liegen allerdings fünf der historischen Korrekturbedarfe außerhalb des Konfidenzintervalls. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die vom Umweltbundesamt angegebene Gütebetrachtung die Unsicherheit für den Emissionswert dieses Sektors eher unterschätzt – oder es müsste gesondert begründet werden, warum in diesem Sektor die Unsicherheit heute strukturell geringer ausfällt als in der Vergangenheit.¹⁰ Da allerdings keine zeitliche Struktur bei den historischen Korrekturbedarfen der Industrie erkennbar ist, können Methodenbrüche in der Vergangenheit die mehrfache Überschreitung des Konfidenzintervalls kaum hinreichend erklären. Auch geht das Umweltbundesamt – trotz des vollzogenen Methodenwechsels (siehe Kapitel 2.2) – selbst davon aus, dass die Unsicherheiten gegenüber dem Vorjahr im Wesentlichen unverändert geblieben sind (siehe Kapitel 4.3). Die Unschärfen in den Aufteilungsdaten der Aktivitätsdaten zwischen den Sektoren (siehe Kapitel 3.2) könnten dabei sogar eher verstärkend (als mindernd) auf den Korrekturbedarf wirken. Insofern bestätigt sich insgesamt die Einschätzung aus (ERK 2021), dass die Unsicherheitsangabe in der Industrie im Vergleich zu den historischen Korrekturbedarfen in der Tendenz zu niedrig erscheint.¹¹ Die tatsächliche Größenordnung der Korrekturen an der Vorjahresschätzung kann erst im Jahr 2025 einigermaßen verlässlich abgeschätzt werden, wenn das erste stabile Inventar für das Berichtsjahr 2022 vorliegen wird.
- 69 Allgemein bleibt aus Sicht des Expertenrats abzuwarten, wie sich die Umstellung der Methode für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres auf die Korrekturbedarfe (und damit die Unsicherheit) auswirken wird. Die Prüfung der Berechnungen hat einige Hinweise auf Unsicherheitsquellen gegeben, die unter Umständen in der Vergangenheit durch Ad-hoc-Korrekturen abgemildert worden sind, insbesondere in Krisenjahren. Eine solche durch den Methodenwechsel induzierte Erhöhung des nachträglichen Korrekturbedarfs wäre vor allem in den Sektoren Industrie und Gebäude denkbar (siehe Kapitel 3.2). Gegenläufig könnten allerdings auch Verbesserungen in der Schätzgenauigkeit bei der neuen Erstellungsmethode der Frühschätzung der Energiebilanz wirken, weswegen eine abschließende Einschätzung zum jetzigen Zeitpunkt unmöglich erscheint.

4.5 Einordnung der Punktschätzung im Gebäudesektor im Jahr 2022

- 70 Die Punktschätzung im Gebäudesektor von 111,7 Mt CO₂-Äq. ist im Jahr 2022 durch die aufgetretenen Sondereffekte mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet. Die Plausibilisierung des Expertenrats ergab, dass folgende Aspekte tendenziell zu einer Verschiebung der Punktschätzung führen könnten und somit Einfluss auf den Wert bzw. die Erwartungstreue des Punktschätzers haben könnten.¹²

¹⁰ ERK (2022b) zeigt auf, dass bei tiefgreifenden Änderungen der Datenbasis oder der Schätzmethodik der Vergleich historischer Korrekturbedarfe mit vorwärtsschauenden Unsicherheitsbändern möglicherweise an Aussagekraft verliert.

¹¹ In ERK (2022b) wurde gezeigt, dass die historischen Korrekturen auch statistisch signifikant größer sind als die Unsicherheitsangabe des Umweltbundesamts.

¹² Eine nähere Betrachtung der Angaben des Umweltbundesamts zur Unsicherheit bzw. Präzision der Punktschätzung findet sich in Kapitel 4.3 bzw. (ERK 2023, Abschnitt A.2.2.2). Darüber hinaus erfolgt in diesem Abschnitt keine Einordnung der Punktschätzung im GHD-Bereich, da der dafür verwendete Energieverbrauch vornehmlich eine Restgröße aus Gesamtabsatz abzüglich Industrie und Haushalte darstellt.

- i) Im Rahmen der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz wird durch die AGEB zunächst eine modellbasierte Verbrauchsschätzung durchgeführt, wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben. Auf Nachfrage bei der AGEB konnte bestätigt werden, dass eine direkte Berücksichtigung der Einsparappelle (insbesondere Absenkung der Raumtemperatur) im Erklärungsansatz des verwendeten Modells nicht enthalten ist. Es wird jedoch seitens der AGEB darauf hingewiesen, dass die Preiseffekte vermutlich auch dazu geführt haben dürften, dass Teilflächen in gasbeheizten Wohnungen in eingeschränkterer Weise beheizt wurden. Studien gehen von temperaturbereinigten Einsparungen im Gasverbrauch durch angepasstes Heizverhalten privater Haushalte und GHD von 5,6 bis 8,1 Mt CO₂-Äq. aus (siehe Kapitel 6.1.3). Möglicherweise wurden diese Einspareffekte bei privaten Haushalten in der Schätzung der AGEB daher unterschätzt, sodass der tatsächliche Erdgasverbrauch eventuell niedriger ausfiel als in der Frühschätzung der Energiebilanz ausgewiesen. In diesem Fall läge eine Überschätzung der Emissionshöhe vor. Sollten die im Jahr 2022 erfolgten Einsparungen im Gasverbrauch durch angepasstes Heizverhalten durch das Modell der Frühschätzung nur unzureichend abgebildet sein, würde das für niedrigere als vom Umweltbundesamt berichtete THG-Emissionen sprechen.
- ii) Die Energiebilanz berichtet grundsätzlich Absatzdaten. Auch die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres basiert auf dem Absatzprinzip. Für den Haushaltssektor werden hierfür Lagerbestandsänderungen geschätzt, um von der Verbrauchsschätzung auf die Absatzmengen zu kommen. Für die Frühschätzung der Energiebilanz wurde basierend auf einem Modellansatz, der die gestiegenen Ölpreise berücksichtigt, ein Abbau der Lagerbestände von leichtem Heizöl um 117 PJ geschätzt und damit ein emissionsmindernder Effekt von rund 8,7 Mt CO₂-Äq. angenommen. Für das Jahr 2022 ist nicht klar, ob es zu einem Aufbau oder einem Abbau der Lagerbestände kam, da hierfür keine empirische Datengrundlage vorhanden ist. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass aufgrund befürchteter Ölpreisanstiege und Versorgungsengpässe Vorratskäufe bei leichtem Heizöl getätigt wurden. Hierfür spricht sowohl eine Expert*innen-Einschätzung der AGEB, als auch Berechnungen des Expertenrates. Tatsächlich könnte statt des prognostizierten Abbaus von rund 9 Millionen Tonnen ein Aufbau von Lagerbeständen im Volumen von mehreren Millionen Tonnen stattgefunden haben. Dies würde wiederum eine Unterschätzung der tatsächlichen Emissionshöhe (nach Absatzprinzip) bedeuten und damit eine größere Verfehlung des Sektorziels Gebäude. Dieser Effekt wäre somit gegenläufig zu der im vorigen Absatz diskutierten, möglicherweise höheren, Gaseinsparung durch Heizverhalten.
- iii) Auf Basis der zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres vorliegenden Daten ist die Aufteilung der Brennstoffabsätze zwischen Industrie- und Gebäudesektor nicht bekannt. Bis zum letzten Jahr wurden deswegen die Anteile aus dem Jahr t-2 übernommen. Mit der neuen Methodik werden die Absätze an Industrie und Haushalte modellbasiert berechnet. Bei leichtem Heizöl ergibt sich mit der neuen Methode ein höherer Absatz an Haushalte und ein leicht geringerer Absatz an den Industriesektor. Da der Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung als Restgröße gerechnet wird, wird diesem somit ein höherer Absatz zugewiesen. Dadurch bleibt die Aufteilung des leichten Heizöls zwischen Industrie und Gebäudesektor anteilmäßig fast konstant. Anders sieht es bei Erdgas aus. Hier wird modellbasiert mit der neuen Methode berechnet, dass der Erdgasabsatz an die Haushalte weniger stark sinkt als es bei gleichbleibenden Anteilen der Fall sein würde. Für den Industriesektor wird wiederum ein stärkerer Rückgang des Gasabsatzes berechnet. Für Gewerbe, Handel, Dienstleistung ergibt sich als Restgröße ein höherer Gasabsatz als mit gleichbleibenden Anteilen. So werden an den Gebäudesektor mit der modellbasierten Methode 65,3 % an Gas abgesetzt, mit der alten Methode wären es 63,5 %. Insgesamt ergeben sich mit der alten Methode 3 Mt niedrigere CO₂ Emissionen auf Basis des Gasabsatzes und damit eine knappere Zielverfehlung als vom Umweltbundesamt aufgrund der neuen Methodik angegeben.

- iv) Weitere Faktoren, die nicht berücksichtigt wurden, wie Verschiebungen im Energieträgermix oder das Bevölkerungswachstum, spielen tendenziell eine untergeordnete Rolle (siehe RZ 146 und 148 in Kapitel 6.1.3).
- 71 Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Punktschätzer im Gebäudesektor aufgrund von Sondereffekten im Jahr 2022 (Gaseinsparungen durch Heizverhalten, Lagerhaltung) und methodischen Änderungen (Aufteilung der Brennstoffabsätze zwischen Industrie- und Gebäudesektor) besonderen Unsicherheiten und möglichen Verzerrungen unterliegt. Die Gaseinsparungen durch Heizverhalten und methodische Änderungen bei der Aufteilung der Brennstoffabsätze könnten für eine Überschätzung der THG-Emissionen sprechen, die mögliche Erhöhung der Lagereffekte hingegen für eine Unterschätzung der THG-Emissionen. Diese Verzerrungen haben möglicherweise einen Einfluss auf die Erwartungstreue des Punktschätzers. Ist diese Erwartungstreue nicht gegeben, ist eine Betrachtung der Güte auf Basis der Konfidenzintervalle unzulässig, da diese symmetrisch um den erwartungstreuen Punktschätzer liegen. Da das Umweltbundesamt für die Berechnung der Konfidenzintervalle grundlegend von einem erwartungstreuen Schätzer ausgeht, ist eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit der Zielverfehlung im Gebäudesektor aus Sicht des Expertenrats nur eingeschränkt möglich.

4.6 Fazit zur Güte

- 72 Die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres und die THG-Emissionen der Nationalen Treibhausgasinventare stellen zum überwiegenden Teil Schätzungen und keine Messungen dar. Auf Grundlage der bisherigen Erfahrungen ist zu erwarten, dass mindestens bis zur Inventarberichterstattung der Treibhausgase über das Berichtsjahr 2022 im Jahr 2025 (erste stabile Schätzung) weiterer Anpassungsbedarf entsteht.
- 73 Die Betrachtung der relativen Korrekturbedarfe zeigt, dass bis zum zweiten nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventar (BJ+3) mit Korrekturen zu rechnen ist. Das Nationale Treibhausgasinventar (BJ+3) zeichnet sich für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr durch entsprechende Stabilität im weiteren Zeitverlauf der Inventarberichtserstattung aus.
- 74 Die nachträglichen Korrekturbedarfe für das Berichtsjahr 2021 ergaben sich aus dem Abgleich mit dem nationalen Treibhausgasinventar (BJ+2). Insgesamt wurden die Gesamtemissionen (ohne LULUCF) um 1,23 Mt CO₂-Äq. nach unten korrigiert. Die Anpassung ergab sich aus Erhöhungen in den Sektoren Industrie (1,96 Mt CO₂-Äq.), Gebäude (2,57 Mt CO₂-Äq.), Landwirtschaft (1,56 Mt CO₂-Äq.) und nachträglichen Minderungen bei den Sektoren Energiewirtschaft (-2,15 Mt CO₂-Äq.), Verkehr (-1,27 Mt CO₂-Äq.) sowie Abfallwirtschaft und Sonstige (-3,90 Mt CO₂-Äq.). Dabei war die Hauptursache der Korrekturen das Vorliegen endgültiger Statistiken, sowie die Anpassung der Treibhausgaspotenziale und Emissionsfaktoren.
- 75 Der Abgleich der korrigierten Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres zu KSG-Sektorzielen des Berichtsjahres 2020, bestätigt die Überschreitung des Gebäudesektors und die Einhaltung aller anderen Sektoren. Für den Gebäudesektor wird nunmehr ein höherer Wert und für alle anderen Sektoren niedrigere Werte angegeben. Somit ergibt sich für das Berichtsjahr 2020 eine Zielverfehlung im Gebäudesektor in Höhe von 5,2 Mt CO₂-Äq. Die Korrekturen der Emissionsdaten für das Berichtsjahr 2021 führten zu nunmehr höheren Werten in den Sektoren Industrie, Gebäude und Landwirtschaft, während die anderen Sektoren nach unten korrigiert wurden. Die für die Sektoren Gebäude und Verkehr im Jahr 2021 festgestellte Zielüberschreitung im Jahr 2021 wird durch die aktualisierten Daten bestätigt. Zudem hat auch der Sektor Industrie im Jahr 2021 das für ihn in Anlage 2 Bundes-

Klimaschutzgesetz gesetzte Ziel überschritten. Solche nachrichtlichen Zielverfehlungen sollten insbesondere wegen der anstehenden KSG-Novelle, bei der erst nach zwei aufeinanderfolgenden Zielwertüberschreitungen in einem Sektor eine Pflicht zur Erstellung eines Sofortprogramms besteht, als verbindliches Richtmaß in Erwägung gezogen werden.

- 76 Die Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamts zu diesem Zeitpunkt dienen als qualitative Orientierungsgröße zur Einschätzung der vorliegenden sektoralen und sektorenübergreifenden Unsicherheit in der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres. Dieser Charakter der Unsicherheitsberechnung konnte vonseiten des Expertenrats nachvollzogen werden. Alle vom Umweltbundesamt zugrunde gelegten Annahmen und Berechnungen konnten nachvollzogen werden und werden als plausibel erachtet.

5 Feststellungen

5.1 Feststellungen zur Zielerreichung der Vorjahresemissionen

- 77 Das Umweltbundesamt hat seinen Bericht zur Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten 2022 fristgerecht vorgelegt. Zur Überprüfung der Daten fanden Validierungsgespräche mit dem Umweltbundesamt und der AGEB statt, in denen einzelne CRF-Kategorien und die Verwendung der einfließenden statistischen Daten erörtert wurden. Zudem wurden eigene Recherchen und Berechnungen durchgeführt, um die Plausibilität der Berechnung der Emissionsdaten zu bestätigen. Aufbauend auf den vom Umweltbundesamt bereitgestellten Daten wird im Folgenden die durch das Umweltbundesamt durchgeführte Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten 2022 mit den Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes verglichen. Die Zielerreichung wird nach den im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren aufgeschlüsselt und überprüft.
- 78 Die vom Umweltbundesamt bereitgestellten Daten bestehen einerseits aus einer Punktschätzung für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres. Dieser Punktwert wird mit dem im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Sektorziel verglichen und bildet somit die Grundlage für den im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanismus zur Einleitung eines Sofortprogramms (§ 8 Abs. 1 KSG).¹³ Andererseits stellt das Umweltbundesamt Unsicherheitsbandbreiten der Punktschätzungen bereit. In Tabelle 4 sind die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Zielwerte für die Jahresemissionsmenge, die berechneten Treibhausgasemissionen und die Bandbreite der Unsicherheiten in der Berechnung der Treibhausgasemissionen für das Berichtsjahr 2022 aufgeführt. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2022 und sind für jeden Sektor aufgeschlüsselt.
- 79 Die Berechnungen des Umweltbundesamtes legen dar, dass in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges die ermittelten Punktschätzungen unterhalb der im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten und nach dem Ausgleichsmechanismus (§ 4 Abs. 3 KSG) angepassten Sektorzielen für das Jahr 2022 liegen. Im Gebäudesektor und im Verkehrssektor liegen die für die Emissionsmengen berechneten Punktschätzungen über dem jeweiligen festgelegten Sektorziel für das Jahr 2022. Für den Sektor LULUCF ist kein Sektorziel im Bundes-Klimaschutzgesetz angegeben.
- 80 Unter der Annahme, dass (1) die vom Umweltbundesamt vorgenommene Punktschätzung den Erwartungswert trifft und (2) die Fehler normalverteilt sind und (3) dass die vom Umweltbundesamt ausgewiesenen Konfidenzintervalle den tatsächlichen Konfidenzintervallen entsprechen, können aus der Schätzung des Umweltbundesamtes die Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden, ob die einzelnen Sektoren tatsächlich ihr Sektorziel für 2022 erreicht haben (Tabelle 4).¹⁴

¹³ Für die Energiewirtschaft gelten spezielle Regelungen im KSG, auf die in Kapitel 7.2 vertieft eingegangen wird.

¹⁴ Folgende Begriffe wurden verwendet, um die bewertete Wahrscheinlichkeit eines Ergebnisses anzugeben, wobei die IPCC-Nomenklatur für die Beschreibung von Unsicherheiten verwendet wurde: *praktisch sicher* 99–100 %, *sehr wahrscheinlich* 90–100 %, *wahrscheinlich* 66–100 %, *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich* 33–66 %, *unwahrscheinlich* 0–33 %, *sehr unwahrscheinlich* 0–10 %, *besonders unwahrscheinlich* 0–1 %. (AGEB 2023a)

Tabelle 4: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2022 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)

Sektor	Zielwert KSG 2022 [Mt CO ₂ -Äq.]	Berechnung UBA 2022 [Mt CO ₂ -Äq.]	Änderung in 2022 gegenüber 2021 [Mt CO ₂ -Äq.]	KSG-Zielerreichung: Differenz BVE-Zielwert [Mt CO ₂ -Äq.]	Unsicherheit der BVE (95 %-Intervall) [Mt CO ₂ -Äq.]	Wahrscheinlichkeit für das Erreichen des KSG Sektorziels auf Basis der IPCC-Skala (Siehe Fußnote 8)
Energie-wirtschaft	257,0	255,9	+10,7	-1,1	247–264	etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich
Industrie	176,9	164,2	-19,1	-12,7	160–168	praktisch sicher
Gebäude	107,4	111,7	-6,3	+4,3	103–120	unwahrscheinlich**
Verkehr	138,8	148,5* 147,9	+1,7* +1,1	+9,7* +9,1	141–156* 140–156	besonders unwahrscheinlich
Landwirtschaft	67,6	61,7	-0,9	-5,9	48–75	wahrscheinlich
Abfallwirtschaft und Sonstiges	8,5	4,3	-0,2	-4,2	(-8)–17	wahrscheinlich
LULUCF	-	-1,8	-5,8	-	(-3)–(-1)	-
Gesamt (ohne LULUCF)	756,2	746,2* 745,6	-14,1* -14,7	-9,9* -10,6	722–770* 722–769	wahrscheinlich

BVE: Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres, UBA: Umweltbundesamt, KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz.

Daten basierend auf Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 und den vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheiten der Schätzung.

* Im Verkehrssektor wurde durch das Umweltbundesamt nach dem 15.03.2023 eine Untererfassung von 0,6 Mt CO₂-Äq. im Rahmen einer Validierungsrechnung festgestellt, die Emissionsdaten liegen demnach 0,6 Mt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt ursprünglich berichteten Wert. Mögliche Abweichungen ergeben sich durch Rundungsdifferenzen.

** Die Validität der Einschätzung der Zielerreichung basiert auf der Annahme, dass der vom Umweltbundesamt ausgewiesene Punktschätzer erwartungstreu ist. Aufgrund der im Kapitel 4.4 diskutierten Effekte, erscheint die Annahme der Erwartungstreue verletzt, weshalb eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung nach Einschätzung des Expertenrats in diesem Jahr nur bedingt möglich ist.

Eigene Darstellung.

- 81 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der Sektor **Energiewirtschaft** das Ziel von 257 Mt CO₂-Äq. mit einem Punktwert von 255,9 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Damit liegt der Punktwert um 1,1 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung der Energiewirtschaft ist auf Basis der IPCC-Skala als *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich* einzustufen.
- 82 Im Sektor Energiewirtschaft entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ (98 %), für die die Aktivitätsdaten zu einem grundlegenden Teil auf der Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023a) fußen. Wesentliche

Datenquelle der Energiebilanz ist die Monatserhebung über die Allgemeine Versorgung zur Elektrizitäts- und Wärmeversorgung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2023e), die bis zum Monat November bereits vorliegt. Alle weiteren CRF-Kategorien haben einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtemissionen. Die vom Umweltbundesamt angegebene Güteeinschätzung der Energiewirtschaft erscheint vor dem Hintergrund der Analysen des Expertenrats hinsichtlich der historischen Korrekturbedarfe insgesamt plausibel. Diese Analyse unterliegt der Annahme des Umweltbundesamts, dass sich die Unsicherheit im Jahr 2022 nicht gegenüber den Vorjahren geändert hat.

- 83 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der **Industriesektor** das Ziel von 176,9 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Der Punktwert liegt 12,7 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Industriesektor ist auf Basis der IPCC-Skala als *praktisch sicher* einzustufen. Die Besonderheiten im Industriesektor, die im Jahr 2022 zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen beitrugen, werden in Kapitel 6.1.3 betrachtet.
- 84 Im Sektor Industrie entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe. Die Aktivitätsdaten basieren maßgeblich auf der Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023a), in der die Werte für den Industriesektor mithilfe ökonomischer Modelle ermittelt wurden. Statistische Daten für die Brennstoffeinsätze der Industrie liegen zum Zeitpunkt der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz noch nicht vor. Die Aktivitätsdaten für die Ermittlung prozessbedingter THG-Emissionen hingegen basieren vor allem auf vorliegenden oder fortgeschriebenen Verbandsdaten und amtlichen Statistiken. Die Datengrundlage ist im Industriesektor sehr heterogen und für die verschiedenen Branchen von unterschiedlicher Qualität. Die vom Umweltbundesamt angegebene Güteeinschätzung der Industrie erscheint vor dem Hintergrund der Analysen des Expertenrats hinsichtlich der historischen Korrekturbedarfe eher unterschätzt. Diese Analysen unterliegen der Annahme des Umweltbundesamts, dass sich die Unsicherheit im Jahr 2022 nicht gegenüber den anderen Jahren geändert hat.
- 85 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der **Gebäudesektor** das Ziel von 107,4 Mt CO₂-Äq. überschritten. Der Punktwert liegt mit 111,7 Mt CO₂-Äq. um 4,3 Mt CO₂-Äq. über dem Zielwert des Bundesklimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Gebäudesektor ist auf Basis der IPCC-Skala als *unwahrscheinlich* einzustufen.
- 86 Im Gebäudesektor entstammt der größte Teil der THG-Emissionen aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe, insbesondere von leichtem Heizöl und Erdgas, in stationären Feuerungsanlagen. Die Aktivitätsdaten basieren maßgeblich auf der Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023a), in der die Werte für den Gebäudesektor mit Hilfe des Energiebilanzprognosemodells, Abschätzungen von Lagerbestandsbewegungen bei leichtem Heizöl und über Restrechnungen (primär im GHD-Bereich) geschätzt werden. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass im Gebäudesektor eine hohe Unsicherheit in den Aktivitätsdaten aufgrund einer mangelnden Datenverfügbarkeit vorliegt. Das Umweltbundesamt weist auf eine höhere Unsicherheit im Gebäudesektor als in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie hin. Dies liege insbesondere an der Konstruktion der Energiebilanz, die im Gebäudesektor auch auf Restrechnungen basiert, unvollständigen Erfassungen bei stationären Feuerungen sowie der Diskrepanz zwischen Verbrauch und Absatz bei leichtem Heizöl. Die vom Umweltbundesamt angegebene Güteeinschätzung für den Gebäudesektor erscheint vor dem Hintergrund der Analysen des Expertenrats hinsichtlich der historischen Korrekturbedarfe insgesamt plausibel. Diese Analyse unterliegt der Annahme des Umweltbundesamts, dass sich die Unsicherheit im Jahr 2022 nicht gegenüber den Vorjahren geändert hat. Wie in Abschnitt (siehe Kapitel 4.5) erläutert, gibt es jedoch Hinweise, dass die der Wahrscheinlichkeitsrechnung zugrundeliegende Annahme der Erwartungstreue

verletzt ist. Daher ist aus Sicht des Expertenrats für Klimafragen eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung in diesem Jahr nur bedingt möglich.

- 87 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der **Verkehrssektor** das Ziel von 138,8 Mt CO₂-Äq. überschritten. Der Punktwert liegt mit 147,9 Mt CO₂-Äq. in einer Höhe von 9,1 Mt CO₂-Äq. über dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die durch das Umweltbundesamt nachträglich festgestellte Untererfassung der THG-Emissionen erhöht die Verfehlung des Verkehrssektors auf eine Überschreitung des Zielwerts in Höhe von 9,7 Mt CO₂-Äq. Der neue Emissionswert liegt folglich bei 148,5 Mt CO₂-Äq. In beiden Fällen ist die Zielerreichung im Verkehrssektor auf Basis der IPCC-Skala als *besonders unwahrscheinlich* einzustufen. Die Untererfassung um 0,6 Mt CO₂-Äq. wurde vom Expertenrat nachvollzogen und bestätigt (siehe Kapitel 3.3). Der Expertenrat bittet das Umweltbundesamt, die Berechnung der Emissionsdaten um den Fehler zu korrigieren und die entsprechenden Tabellen anzupassen. Die Besonderheiten im Verkehrssektor des Jahres 2022 (hohe Kraftstoffpreise, „Tankrabatt“, 9€-Ticket), die zur Entwicklung beitrugen, werden in Kapitel 6.1.3 näher beleuchtet.
- 88 Im Verkehrssektor entstammt ein Großteil der THG-Emissionen aus den Verbrennungsprozessen von Antrieben, welche Mineralöl (Benzin und Diesel), Kerosin und zu einem geringen Anteil Gas nutzen. Etwa 98 % der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor sind dem Straßenverkehr zuzuordnen. Die restlichen THG-Emissionen werden durch den inländischen Bahn-, Flug- und Schiffsverkehr generiert. Etwa 99 % der Treibhausgasemissionen bestehen aus CO₂, andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas spielen im Verkehrssektor eine untergeordnete Rolle. Die vom Umweltbundesamt angegebene Güteeinschätzung erscheint vor dem Hintergrund der Analysen des Expertenrats hinsichtlich der historischen Korrekturbedarfe insgesamt plausibel. Diese Analyse unterliegt der Annahme des Umweltbundesamtes, dass sich die Unsicherheit im Jahr 2022 nicht gegenüber den Vorjahren geändert hat.
- 89 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der **Landwirtschaftssektor** das Ziel von 67,6 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Der Punktwert liegt 5,9 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes.¹⁵ Die Zielerreichung im Sektor Landwirtschaft ist auf Basis der IPCC-Skala als *wahrscheinlich* einzustufen.
- 90 Im Sektor Landwirtschaft liegen teils vorläufige Aktivitätsdaten vor, welche in ein Berechnungsmodell zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen einfließen. Dadurch können sich noch Änderungen in den Daten Mitte des Jahres ergeben, die aber in der Vergangenheit eher klein ausfielen. Die vom Umweltbundesamt angegebene Güteeinschätzung erscheint vor dem Hintergrund der Analysen des Expertenrats hinsichtlich der historischen Korrekturbedarfe insgesamt plausibel. Diese Analyse unterliegt der Annahme des Umweltbundesamtes, dass sich die Unsicherheit im Jahr 2022 nicht gegenüber den Vorjahren geändert hat.

¹⁵ Für die Berechnung der Emissionen im Landwirtschaftssektor wurde für das Jahr 2021 erstmals anstelle des Default-Werts (UBA 2023b) ein neuer nationaler Emissionsfaktor für Lachgasemissionen aus der Ausbringung von Düngern und Gärresten aus Ernterückständen (UBA 2023b) verwendet, wodurch diese Emissionen um rund 40 % sanken. Ohne diesen Methodenwechsel, läge der Emissionswert nach Aussage des Thünen Instituts für das Jahr 2022 um 4,7 Mt CO₂-Äq. höher als vom Umweltbundesamt ausgewiesen. Der Sektor würde aber auch so weiterhin das Sektorziel gemäß Anlage 2 KSG einhalten. Diese methodische Anpassung wurde bei der nachrichtlichen Festsetzung der KSG-Zielwerte nicht berücksichtigt. Die Zielerreichung der Landwirtschaft ohne die methodische Anpassung ist auf Basis der IPCC-Skala als etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich einzustufen.

- 91 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 hat der Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** das Ziel von 8,5 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Der Punktwert liegt 4,2 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist auf Basis der IPCC-Skala als *wahrscheinlich* einzustufen.
- 92 Die THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden durch biologische Prozesse und dabei vor allem durch historische Deponierung bestimmt. THG-Emissionen aus dieser CRF-Kategorie (5.A) machen etwa 72 % der Gesamtemissionen des Sektors aus. Der vom Umweltbundesamt berechnete Unsicherheitsbereich der Schätzung im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist sowohl im Vergleich zu den anderen Sektoren als auch im Verhältnis zur Emissionsmenge sehr hoch. Diese Unsicherheit ergibt sich für die Aktivitätsdaten aus der Diskrepanz zwischen dem Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres und der Verfügbarkeit von endgültigen Statistiken sowie Unsicherheiten bei den Emissionsfaktoren. Bei Letzteren kann es auf Basis von Veränderungen des aktuellen Wissensstandes zu Anpassungen kommen, was zu deutlichen Veränderungen der berichteten THG-Emissionen führen kann. Die vom Umweltbundesamt angegebene Güteeinschätzung erscheint vor dem Hintergrund der Analysen des Expertenrats hinsichtlich der historischen Korrekturbedarfe insgesamt plausibel. Diese Analyse unterliegt der Annahme des Umweltbundesamtes, dass sich die Unsicherheit im Jahr 2022 nicht gegenüber den Vorjahren geändert hat.
- 93 Auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 liegen die THG-Emissionen im Sektor **LULUCF** bei -1,8 Mt CO₂-Äq. Für den Sektor LULUCF ist für das Jahr 2022 kein Zielwert definiert, sondern erstmalig für das Jahr 2030 mit -25 Mt CO₂-Äq.
- 94 Einige wesentliche Statistiken (Holzeinschlagstatistik, Produktionsstatistik für Holzhalbwaren, vollständige Erntestatistik, Torfproduktionsstatistik) liegen für das Jahr 2022 noch nicht vor. Größere Änderungen werden im Kohlenstoffvorrat der Biomasse des Waldes erwartet. Um die Jahre zwischen den Waldinventuren zu überbrücken, wird die Holzeinschlagstatistik für diese Abschätzung genutzt, die laut Umweltbundesamt die Schadensereignisse der letzten Jahre nicht vollständig erfasst
- 95 Die **Gesamtemissionen** (ohne LULUCF) lagen laut der Angaben des Umweltbundesamts im Jahr 2022 bei 745,6 Mt CO₂-Äq. (um den Fehler im Verkehr korrigiert bei 746,2 Mt CO₂-Äq.) und damit um 10,6 Mt CO₂-Äq. (um den Fehler im Verkehr korrigiert: 10,0 Mt CO₂-Äq.) unter dem angepassten KSG-Zielwert von 756,2 Mt CO₂-Äq. Unter Berücksichtigung der von Umweltbundesamt ausgewiesenen Unsicherheit hat Deutschland das Ziel für die Gesamtemissionen daher *wahrscheinlich* erreicht. Allerdings weist der Expertenrat darauf hin, dass Deutschland das angepasste KSG-Ziel um 5,3 Mt CO₂-Äq. unterschritten hätte, wenn das KSG-Ziel der Landwirtschaft um den Effekt des zum Berichtsjahr 2021 vorgenommenen Methodenwechsels gekürzt worden wäre (siehe Kapitel 7.3.3). Diese Anpassung würde zwar zu keiner Änderung der Bewertung nach IPCC-Skala führen, allerdings befindet sich der Wert nun nur noch knapp außerhalb einer Klassifizierung einer ebenso wahrscheinlich wie unwahrscheinlichen Zielerreichung.

5.2 Aktualisierung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen aufgrund des Ausgleichsmechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes (§ 4 Abs. 3 KSG)

- 96 Mit der Setzung sektorspezifischer Ziele im Bundes-Klimaschutzgesetz geht ein Mechanismus einher, der die in einem Berichtsjahr stattfindenden Abweichungen vom definierten Zielwert innerhalb eines Sektors (Unter- und Überschreitungen) gleichmäßig auf die Jahresemissionsmengen bis zum nächsten im Bundes-Klimaschutzgesetz genannten Zieljahr anrechnet (§ 4 Abs. 3 KSG). Basierend auf den Emissionsdaten für das Jahr 2022 kommt dieser Mechanismus nach der erstmaligen Anwendung im vergangenen Jahr das zweite Mal zum Tragen. Unter- und Überschreitungen der im Bundes-Klimaschutzgesetz ausgewiesenen Zielwerte in einem Sektor sind ohne Verrechnung mit anderen Sektoren gleichmäßig auf die festgelegten sektorspezifischen Jahresemissionsmengen im verbleibenden Zeitraum bis zum Zieljahr 2030 anzurechnen.¹⁶ Entsprechend erhöhen oder reduzieren sich in den Folgejahren die angegebenen Ziele eines jeden betroffenen Sektors für den Zeitraum bis 2030. Die Anpassungen haben entsprechend auch Konsequenzen für den Zielwert, aus dem sich die mögliche Notwendigkeit für die Erstellung von Sofortprogrammen bei Zielwertüberschreitung (§ 8 KSG) ergibt.
- 97 Das Umweltbundesamt hat, wie im vergangenen Jahr, einen Bilanzbogen veröffentlicht, der die durch den Ausgleichsmechanismus angepassten sektorspezifischen Jahresemissionsmengen enthält (Tabelle 7UBA 2023b). Abweichungen von weniger als 1000 Tonnen CO₂-Äq. wurden gerundet. Das Umweltbundesamt geht für die Berechnung in mehreren Schritten vor. In einem ersten Schritt werden die Anpassungen der Jahresemissionsmengen des Jahres 2021 mit den seit dem 15.01.2023 vorliegenden Emissionsdaten des ersten Inventars berechnet (Tabelle 3 und 4UBA 2023b). Auf Basis dieser angepassten Jahresemissionsmengen werden in einem zweiten Schritt die Über- bzw. Unterschreitungen für das Jahr 2022 berechnet (Tabelle 5UBA 2023b). Diese werden gleichmäßig auf die verbleibenden Jahre bis 2030 verteilt und auf Basis dessen ergeben sich die neuen angepassten Jahresemissionsmengen für die Jahre 2023 bis 2030, wie sie in Tabelle 5 dargestellt sind. Der Energiewirtschaft kommt dabei eine Sonderrolle zu, da hier nur für die Jahre 2022 und 2030 Jahresemissionsmengen in Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt werden. Das Umweltbundesamt passt in der Energiewirtschaft daher nur die Jahresemissionsmenge im Jahr 2030 um ein Achtel der Abweichung im Jahr 2022 an. Auch für den Sektor LULUCF werden keine sektorspezifischen Jahresemissionsmengen in der Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt und es kommt daher zu keiner Anwendung des Ausgleichsmechanismus.¹⁷
- 98 Der vom Umweltbundesamt erstellte Bilanzbogen wurde vom Expertenrat nachvollzogen, geprüft und um die Berechnung der neuen Summe der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen für das Jahr 2030 ergänzt. Nach dieser erhöht sich das Ziel für die Gesamtemissionen für das Berichtsjahr 2030 auf 439,5 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht einer Erhöhung um 1,5 Mt CO₂-Äq. im Vergleich zur Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetz und um 1,3 Mt CO₂-Äq. im Vergleich zum Bilanzbogen in 2021 (Tabelle 5).

¹⁶ Für die Energiewirtschaft gelten spezielle Regelungen im KSG, auf die in Kapitel 7.2 vertieft eingegangen wird.

¹⁷ Es soll allerdings für den LULUCF Sektor (nach § 3a Abs. 1 KSG) mindestens eine Treibhausgasemissionssenkung von -25 Mt CO₂-Äq. bis zum Jahr 2030 erreicht werden.

Tabelle 5: Angepasste sektorspezifische Jahresemissionsmengen für die Jahre 2023–2030
(in kt CO₂-Äq.)

Sektor nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Energiewirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	108 142
Industrie	173 449	166 449	158 449	150 449	141 449	133 449	126 449	119 449
Gebäude	100 906	95 906	90 906	85 906	80 906	75 906	70 906	65 906
Verkehr	132 591* 132 670	126 591* 126 670	121 591* 121 670	115 591* 115 670	110 591* 110 670	103 591* 103 670	94 591* 94 670	83 591* 83 670
Landwirtschaft	67 327	66 327	64 327	63 327	62 327	60 327	58 327	57 327
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9 027	8 027	8 027	7 027	7 027	6 027	6 027	5 027
Summe Jahresemissionsmenge, angepasst 2022	-	-	-	-	-	-	-	439 442* 439 521
Summe Jahresemissionsmenge, angepasst 2021	-	-	-	-	-	-	-	438 197
Summe Jahresemissionsmenge, Anlage 2 KSG								438 000

Tabelle 7 in (UBA 2023b), eigene Berechnungen. * Im Verkehrssektor wurde durch das Umweltbundesamt nach dem 15.03.2023 eine Untererfassung von 635 kt CO₂-Äq. im Rahmen einer Validierungsrechnung festgestellt, die Emissionsdaten liegen demnach 635 kt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt ursprünglich berichteten Wert. Die angepassten Jahresemissionsmengen im Verkehrssektor wurden dementsprechend um 79 kt CO₂-Äq. pro Jahr bis 2030 reduziert.

- 99 Anders als für die anderen Sektoren enthält Anlage 2 KSG für den Sektor Energiewirtschaft lediglich Ziele für die zulässigen Emissionsmengen für die Stützjahre 2020, 2022 und 2030, dazwischen sind keine Ziele angegeben. In § 4 Abs. 1 Satz 4 KSG wird allerdings gefordert, dass diese „zwischen den angegebenen Jahresemissionsmengen möglichst stetig“ sinken sollen. Wie dargestellt hat das Umweltbundesamt im vergangenen Jahr für die Emissionsdaten 2021 mit Verweis auf diese fehlenden Einträge in Anlage 2 KSG darauf verzichtet, den Anpassungsmechanismus nach § 4 Absatz 3 KSG auch für den Sektor Energiewirtschaft anzuwenden. Dieses Jahr hat das Umweltbundesamt den Mechanismus für die Energiewirtschaft zwar angewendet, allerdings wurde die Unterschreitung nicht vollständig auf das Stützjahr 2030 angewendet, sondern die Unterschreitung wurde auf die Jahre 2023–2030 gleichmäßig verteilt (siehe Diskussion in Kapitel 7.2). Dies impliziert, dass das Umweltbundesamt annimmt, dass es für die fehlenden Jahresemissionsmengen in Anlage 2 KSG rekonstruierbare Einträge gibt. Allerdings wurde im Jahr 2021 ein anderer Ansatz verfolgt, indem die erfolgte Unterschreitung in 2021 nicht auf die folgenden Jahre 2022–2030 verteilt wurde. Dieses unterschiedliche Vorgehen ist für den Expertenrat nicht nachvollziehbar. Es bestehen daher Unklarheiten bezüglich der Anwendung des Ausgleichsmechanismus im Sektor Energiewirtschaft und dahingehend, wie eine Überprüfung ohne explizite Angabe der Jahresemissionsmengen im nächsten Jahr stattfinden soll (siehe Diskussion in Kapitel 7.2). Es gibt verschiedene Optionen, wie die Ziele der Energiewirtschaft bestimmt werden können (siehe Ausführungen in Kapitel 7). Der Expertenrat gelangt dabei zu anderen Zahlenwerten für 2023 bzw. 2030 als das Umweltbundesamt und bittet daher die Bundesregierung um Klärung (Kapitel 7.2).

5.3 Rückblickende Feststellungen für die Jahre 2020 und 2021

5.3.1 Abgleich der korrigierten Berechnungen der Vorjahresemissionen zu den KSG-Sektorzielen der Berichtsjahre 2020 und 2021

- 100 Der Expertenrat hat in seinen früheren Prüfberichten (ERK 2021; 2022b) keinen Anhaltspunkt gefunden, dass das Umweltbundesamt bei den am 15. März 2021 bzw. am 15. März 2022 veröffentlichten Punktwertschätzungen für die THG-Emissionen der Jahre 2020 bzw. 2021 (Uba 2021; 2022a) zu anderen Ergebnissen hätte kommen müssen. Die berichteten Emissionswerte lagen für den Verkehrs- und den Gebäudesektor oberhalb der jahresscharf im Klimaschutzgesetz vorgegebenen Zielwerte.
- 101 Gemeinsam mit dem Bericht zur Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2022 gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz (UBA 2023b) hat das Umweltbundesamt am 15. März 2023 auch den nationalen Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar für die Jahre 1990–2021 vorgelegt (UBA 2023f). In diesem Bericht aktualisiert das Umweltbundesamt seine Hochrechnungen für die deutschen Treibhausgasemissionen auf Grundlage einer gegenüber den früheren Schätzungen verbesserten Datenbasis.
- 102 Für das Jahr 2020 ergeben sich durch die Aktualisierung Änderungen in allen KSG-Sektoren, während die Gesamtemissionen etwas niedriger ausgewiesen werden (siehe Tabelle 6). Für den Gebäudesektor wird nunmehr ein höherer Wert und für alle anderen Sektoren niedrigere Werte angegeben. Die für den Gebäudesektor festgestellte Zielüberschreitung im Jahr 2020 wird durch die aktualisierten Daten bestätigt, während für alle anderen Sektoren weiterhin von einem Einhalten der KSG-Ziele ausgegangen werden kann (siehe Tabelle 2). Somit hätte der Gebäudesektor im Abgleich mit der ersten stabilen Schätzung das KSG-Sektorziel um 5,2 Mt CO₂-Äq. statt den ursprünglichen 2 Mt CO₂-Äq. verfehlt.

Tabelle 6: Gerundete Jahresemissionen der KSG-Sektoren gemäß Umweltbundesamt sowie zulässige Jahresemissionsmengen gemäß Anlage 2 KSG

	BVE für 2020 (Stand 15.3.2021)	THG-Inventar für 2020 (Stand 15.3.2023)	KSG-Ziel für 2020
	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]	[Mt CO ₂ -Äq.]
Energiewirtschaft	220,5	217,9	280
Industrie	178,1	175,7	186
Gebäude	120,0	123,2	118
Verkehr	145,6	145,4	150
Landwirtschaft	66,4	63,8	70
Abfallwirtschaft und Sonstiges	8,9	4,9	9
Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	739,5	730,9	813

Eigene Darstellung auf Basis der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) für 2020 und des Nationalen Treibhausgasinventars 2023 des Umweltbundesamtes (Stand 15.03.2023). Alle Werte sind in Mt CO₂-Äq angegeben.

103 Für das Jahr 2021 ergeben sich durch die Aktualisierung ebenfalls Änderungen in allen KSG-Sektoren, während die Gesamtemissionen sich nur in geringem Maße ändern (siehe Tabelle 7). Für Industrie, Gebäude und Landwirtschaft werden nunmehr höhere Werte und für die anderen Sektoren niedrigere Werte angegeben. Die für die Sektoren Gebäude und Verkehr im Jahr 2021 festgestellte Zielüberschreitung im Jahr 2021 wird durch die aktualisierten Daten bestätigt. Zudem hat auch der Sektor Industrie im Jahr 2021 das für ihn in Anlage 2 KSG gesetzte Ziel überschritten (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Gerundete Jahresemissionen der KSG-Sektoren gemäß Umweltbundesamt sowie zulässige Jahresemissionsmengen gemäß Anlage 2 KSG

	BVE (Stand 15.3.2022) [Mt CO ₂ -Äq.]	THG-Inventar (Stand 15.3.2023) [Mt CO ₂ -Äq.]	KSG-Ziel für 2021 [Mt CO ₂ -Äq.]
Energiewirtschaft	247,3	245	(268,5)*
Industrie	181,3	183	182
Gebäude	115,5	118	113
Verkehr	148,1	147	145
Landwirtschaft	61,1	63	68
Abfallwirtschaft und Sonstiges	8,4	4	9
Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	761,6	760,4	(785,5)

Eigene Darstellung auf Basis der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) für 2021 und des Nationalen Treibhausgasinventars 2023 des Umweltbundesamtes (Stand 15.03.2023). Alle Werte sind in Mt CO₂-Äq angegeben.

* Zielwert für die Energiewirtschaft gemäß Vorgabe aus § 4 Abs. 1 Satz 4 KSG extrapoliert.

104 Aus dem Wortlaut des Bundes-Klimaschutzgesetzes ergeben sich aus diesen Feststellungen keine Handlungsfolgen, da das Gesetz bezüglich der in § 8 Abs. 1 KSG festgelegten Notwendigkeit, bei Zielüberschreitungen Sofortprogramme zu erlassen, ausdrücklich auf den Emissionsbericht verweist, den das Umweltbundesamt am 15. März des unmittelbar auf das Berichtsjahr folgenden Jahres vorlegt. Dennoch weist der Expertenrat ausdrücklich darauf hin, dass im Sinne des materiellen Regelungsziels des Bundes-Klimaschutzgesetzes mit dem Wissen von heute ein Sofortprogramm für den Sektor Industrie notwendig gewesen wäre. Gerade vor dem Hintergrund, dass die Zielerreichung des Sektors Industrie im Jahr 2022 vermutlich vor allem einer konjunkturellen Sondersituation zuzuschreiben ist (siehe Kapitel 6.1.3), weist dieser Befund auf Handlungsbedarf auch in diesem Sektor hin. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung, auf die in diesem Sektor zu erwartende Emissionsentwicklung in den Jahren 2023–2030 auf der Grundlage der Ergebnisse des im Jahr 2023 neu erscheinenden Projektionsberichts¹⁸ vertiefend zu prüfen und bei erkanntem Bedarf vorausschauende Maßnahmen einzuleiten.

105 Unter Anbetracht der regelmäßigen nachträglichen Korrekturbedarfe (bzw. einer nachträglichen Zielwertüberschreitung) ergeben sich Fragen an den Handlungsbedarf der Regierung bzw. einzelner

¹⁸ Der Projektionsbericht sollte in diesem Jahr bis zum 31. März dem Deutschen Bundestag zugeleitet werden (§ 10 Abs. 2 KSG). Diese Pflicht hat die Bundesregierung allerdings dieses Jahr nicht eingehalten.

Ressorts bei knapper Zieleinhaltung und des Auslösemechanismus für die Erstellung von Sofortprogrammen bei Zielwertüberschreitung (§ 8 Abs. 1 KSG), um Klimaschutz zu gewährleisten.

5.3.2 Feststellung zu den im Vorjahr vorgelegten Sofortprogrammen

- 106 Der Expertenrat hat im Prüfbericht für das Berichtsjahr 2021 (Gebäude und Verkehr) jeweils Zielüberschreitungen festgestellt. Hieraus haben sich laut Bundes-Klimaschutzgesetz Handlungsfolgen ergeben. Die zuständigen Ministerien haben zum jeweils geltenden Stichtag die Verpflichtung aus § 8 Absatz 1 KSG zur Vorlage eines Sofortprogramms erfüllt. Diese Vorschläge hat der Expertenrat im Sinne des § 12 Abs. 2 KSG geprüft (siehe ERK 2022a).
- 107 Für das für den Sektor Verkehr vorgeschlagene Sofortprogramm 2022 hatte der Expertenrat bemerkt, dass „(...) das vom [Bundesministerium für Digitales und Verkehr] (BMDV) vorgeschlagene Sofortprogramm laut eigener Einschätzung des BMDV zwar emissionsmindernde Wirkung entfaltet, aber nicht die Bedingung an ein Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG erfüllt“, weil es schon im Ansatz eine Einhaltung der Jahresemissionsmengen weder in Einzeljahren noch in der Budget-Betrachtung erfüllen kann. Diese Einschätzung des Expertenrats wurde in einem Rechtsgutachten im Auftrag von Germanwatch bestätigt (Wollenteit 2023). Bis heute ist entgegen den Anforderungen des Bundes-Klimaschutzgesetzes ein entsprechendes Sofortprogramm für den Sektor Verkehr trotz der gesetzlichen Pflicht nicht vorgelegt worden. Der Expertenrat weist erneut darauf hin, dass sich ohne weitere Maßnahmen kritische Herausforderungen in Bezug auf die Einhaltung der Ziele [der Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation, ESR)] ergeben (ERK 2022a, , Z19). Zudem sieht es der Expertenrat kritisch, dass ohne Vorlage des Sofortprogramms im Verkehrssektor der gesetzliche Steuerungsmechanismus ausgehöhlt wird.
- 108 Für das Sofortprogramm Gebäude 2022 hat der Expertenrat aufgrund der durchgeführten Prüfung festgestellt, dass das „vorgeschlagene Sofortprogramm laut eigenen Angaben [des Ministeriums] zur Treibhausgasminderungswirkung die Bedingung an ein Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG erfüllen würde, allerdings nur in einer Budget-Betrachtung und damit in einer weiten Auslegung“ (ERK 2022a, , Z7). In diesem Zusammenhang weist der Expertenrat erneut darauf hin, dass der von den Ministerien genannte Emissionspfad in den Jahren 2021–2026 oberhalb des KSG-Zielpfads liegt und diesen erst im Jahr 2027 erreicht (siehe ERK 2022a, Abb.2). Mithin ist das vorgelegte Sofortprogramm nach eigener Einschätzung der Ministerien darauf angewiesen, die geplanten Zielunterschreitungen aus den Jahren 2028–2030, und vor allem aus dem Zieljahr 2030, zum Ausgleich in die Jahre 2021–2026 vorzutragen („borrowing“). Würde man zur Einordnung des Umfangs des geplanten borrowings das Kriterium der intertemporalen Flexibilität in der europäischen Lastenteilungsverordnung nutzen (max. 7,5 % der jährlichen Emissionsmenge des Folgejahrs im Zeitraum 2021–2025, und max. 5 % in den Jahren 2026–2030 können vorweggenommen werden (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2023)), würde sich allerdings eine Obergrenze für die maximal zulässige Vorwegnahme ergeben. Der Expertenrat merkt an, dass unter Anlegung dieses Kriteriums die im Sofortprogramm Gebäude 2022 geplante Vorwegnahme von THG-Emissionen nur zu einem Teil zulässig wäre. Zusätzlich wird nochmals auf die Feststellung des Expertenrats verwiesen, dass „die Erreichung der ausgewiesenen Treibhausgasminderung mit der Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen (...) nur teilweise wahrscheinlich“ sei (ERK 2022a, , RZ14), und das Sofortprogramm damit auch die in § 8 Abs. 1 KSG

genannte Anforderung, die Zielerreichung „sicherzustellen“ vermutlich nicht erfüllt (siehe zur Problematik des Begriffs „Sicherstellung“ auch Kapitel 7.3.1).¹⁹

- 109 Laut § 8 Abs. 2 Satz 1 KSG muss die Bundesregierung über die in Sektoren mit Zielüberschreitungen zu ergreifenden Maßnahmen „schnellstmöglich“ entscheiden. Der Expertenrat hält fest, dass die Bundesregierung im Verkehrssektor weiterhin kein Sofortprogramm vorgelegt hat, das die Anforderung aus § 8 Abs. 1 KSG erfüllt, und dass die Erfüllung dieser Anforderung begründet in Zweifel gezogen werden kann. Zudem sind noch nicht alle Maßnahmen aus dem Sofortprogramm Gebäude rechtswirksam beschlossen. Das erwähnte Rechtsgutachten (Wollenteit 2023) zieht aus seiner Analyse des Befunds die Schlussfolgerung, dass sowohl die betroffenen Ministerien als auch die Bundesregierung als Kollegialorgan ihre sich aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz im Zusammenhang mit dem Beschluss eines Sofortprogramms ergebenden Pflichten verletzen. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung nachdrücklich, diesen Zustand schnellstmöglich zu beheben, zumal beide Sektoren auch im Jahr 2022 eine Zielüberschreitung aufgewiesen haben (siehe Kapitel 5.1) und sich dadurch die zukünftigen Einsparpflichten gemäß § 4 Abs. 3 KSG immer weiter aufsummieren.

5.4 Fazit zur Feststellung

- 110 Die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 des Umweltbundesamtes wurde mit den Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes verglichen und die Zielerreichung über die im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren hinweg aufgeschlüsselt und überprüft. Die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres besteht aus einem geschätzten Punktwert, der die Grundlage für den im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanismus zur Einleitung eines Sofortprogramms (§ 8 KSG) und den in Kapitel 5.2 beschriebenen Ausgleichmechanismus (§ 4 Abs. 3 KSG) bildet. Zudem gibt das Umweltbundesamt Unsicherheitsbandbreiten der Punktwertschätzungen an.

Die wesentlichen Ergebnisse der Feststellung zur Zielerreichung sind:

- Die sektorspezifischen Jahresemissionsmengen wurden basierend auf den derzeit vorhandenen Daten in den Sektoren Energiewirtschaft (*etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich*), Industrie (*praktisch sicher*), Landwirtschaft (*wahrscheinlich*), Abfallwirtschaft und Sonstiges (*wahrscheinlich*) erreicht. In den Sektoren Gebäude (*unwahrscheinlich*) und Verkehr (*besonders unwahrscheinlich*) wurden die Ziele nicht erreicht. Für den Sektor LULUCF sind im Bundes-Klimaschutzgesetz keine jahresscharfen Zielwerte definiert.
- Im Verkehrssektor wurde im Rahmen einer Validierungsrechnung durch das Umweltbundesamt im Nachgang zur Veröffentlichung der Vorjahresschätzung 2022 eine Untererfassung von 0,6 Mt CO₂-Äq. festgestellt. Die Emissionsdaten liegen demnach 0,6 Mt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt in der Vorjahresschätzung 2022 berichteten Wert, also bei 9,7 Mt CO₂-Äq. Der Expertenrat bittet das Umweltbundesamt, die Berechnung der Emissionsdaten um den Fehler auf eine Überschreitung von 9,7 Mt CO₂-Äq. zu korrigieren und die entsprechenden Tabellen anzupassen.
- In den Sektoren Gebäude und Verkehr kommt somit der Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes (§ 8 KSG) zum Tragen. Demgemäß legen die zuständigen Bundesministerien

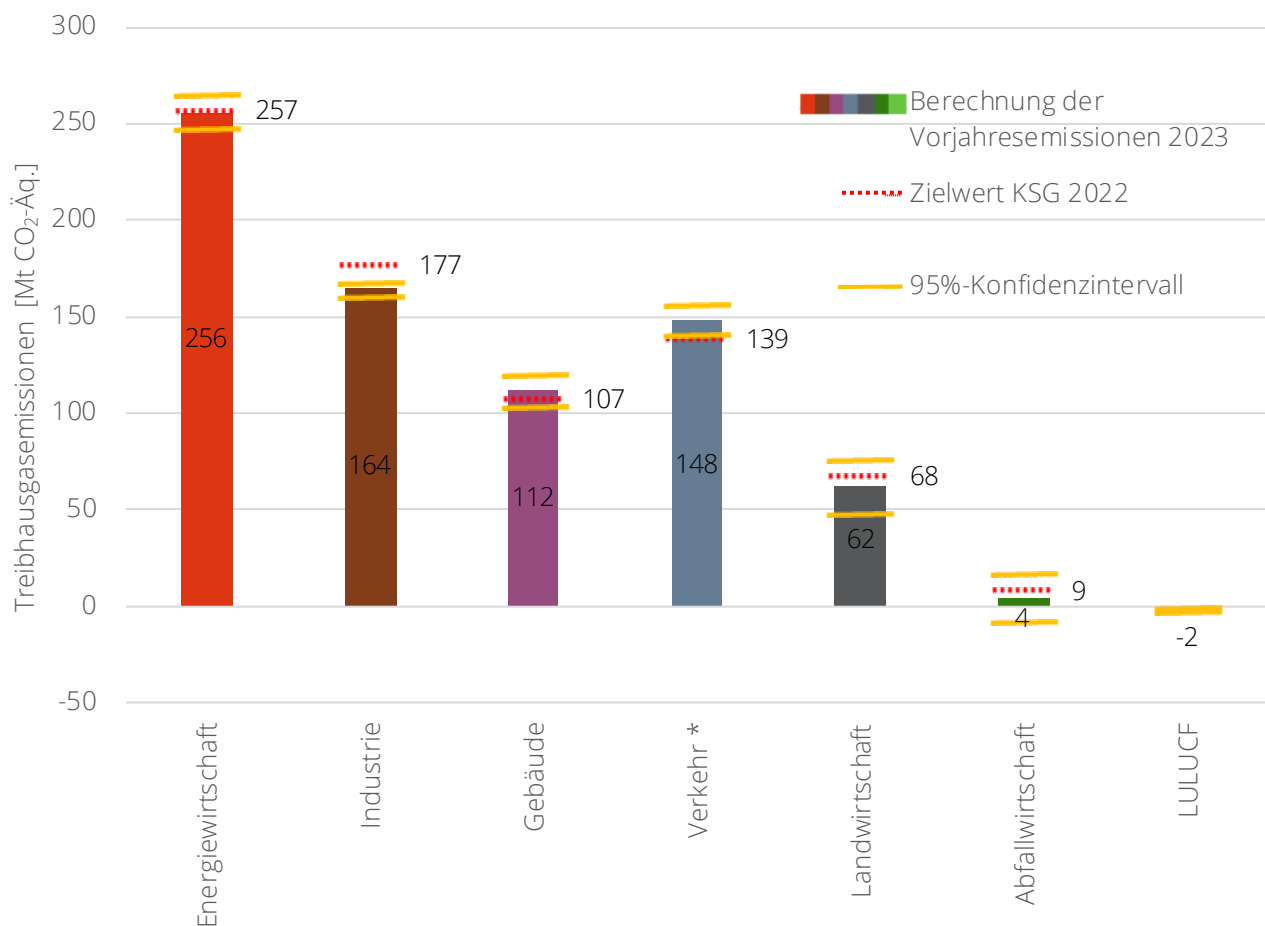
¹⁹ Unabhängig von dieser Betrachtung stellt das erwähnte Rechtsgutachten die Nutzung der Budgetbetrachtung insgesamt in Frage, indem es argumentiert, dass es sich um eine „unzutreffenden Rechtsauffassung [handele], dass § 8 Abs. 1 KSG lediglich eine Einhaltung der Gesamtemissionsmenge bis zum nächsten Zieljahr 2030 verlange“ (Wollenteit 2023).

innerhalb von drei Monaten nach Erscheinen dieser Bewertung der Emissionsdaten – also bis zum 17.07.2023 – ein Sofortprogramm für die jeweiligen Sektoren vor, „das die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors für die folgenden Jahre sicherstellt“ (§ 8 Abs. 1 KSG).

- In allen Sektoren außer der Energiewirtschaft und dem Sektor LULUCF hat das Umweltbundesamt den Mechanismus aus § 4 Abs. 3 KSG zum zweiten Mal angewandt. Bei der Energiewirtschaft wurde er zum ersten Mal angewendet, konnte allerdings nicht vollständig nachvollzogen werden (siehe hierzu Kapitel 5.2). Die mengenmäßigen Über- bzw. Unterschreitungen wurden vom Umweltbundesamt auf Basis des Inventars für das Jahr 2021 erneut berechnet und anschließend die Anpassung für das Jahr 2022 durchgeführt.
- Für den Sektor Industrie liegt der Zielwert oberhalb des 95 %-Unsicherheitsbereichs der Emissionsschätzung, für den Verkehrssektor liegt der Zielwert darunter. In diesen beiden Sektoren kann die Zielerreichung bzw. Zielverfehlung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten somit als sicher eingestuft werden. Für alle anderen Sektoren liegt der jeweilige Zielwert innerhalb des 95 %-Unsicherheitsbereichs der Emissionsschätzung. Damit kann unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in diesen Sektoren eine Zielverfehlung nicht ausgeschlossen werden.
- Der Expertenrat stellt fest, dass die Bundesregierung den gesetzlichen Steuerungsmechanismus über die Vorlage von Sofortprogrammen bisher nur mit (insbesondere im Verkehrssektor erheblichen) Einschränkungen umgesetzt hat. Dadurch könnten aus Sicht des Expertenrats die Glaubwürdigkeit und Leistungsfähigkeit dieses Mechanismus, und damit des KSG insgesamt, ausgehöhlt werden. Bei der geplanten Novellierung des KSG (siehe Kapitel 7.1) sollten entsprechende Mechanismen integriert werden, damit die Bundesregierung zukünftig eine höhere Zuverlässigkeit realisieren kann. Der Expertenrat weist darüber hinaus erneut darauf hin, dass sich in beiden im Jahre 2022 betroffenen Sektoren Gebäude und Verkehr kritische Herausforderungen sowohl mit Blick auf die Vorgaben des KSG als auch in Bezug auf die Einhaltung der ESR-Ziele ergeben können, falls in diesen Sektoren nicht rasch weitere wirksame Maßnahmen beschlossen werden. Die erneute Zielüberschreitung im Jahr 2023 (siehe Kapitel 5.1) sollte als Warnsignal in dieser Hinsicht aufgefasst werden.
- In Abbildung 9: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes sind die Daten für alle Sektoren graphisch dargestellt. Die sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes werden mit den ermittelten Punktwerten der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes für das Berichtsjahr 2022 verglichen. Zusätzlich verdeutlichen die gelben Linien das Maximum und Minimum des 95 %-Konfidenzintervalls der Sektoren, in dem die Jahresemissionen laut Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes liegen.
- Der Expertenrat stellt fest, dass die Bundesregierung den gesetzlichen Steuerungsmechanismus über die Vorlage von Sofortprogrammen bisher nur mit (insbesondere im Verkehrssektor erheblichen) Einschränkungen umgesetzt hat. Dadurch könnten aus Sicht des Expertenrats die Glaubwürdigkeit und Leistungsfähigkeit dieses Mechanismus, und damit des KSG insgesamt, ausgehöhlt werden. Bei der geplanten Novellierung des KSG (siehe Kapitel 7.1) sollten entsprechende Mechanismen integriert werden, damit die Bundesregierung zukünftig eine höhere Zuverlässigkeit realisieren kann. Der Expertenrat weist darüber hinaus erneut darauf hin, dass sich in beiden im Jahre 2022 betroffenen Sektoren Gebäude und Verkehr kritische Herausforderungen sowohl mit Blick auf die Vorgaben des KSG als auch in Bezug auf die Einhaltung der ESR-Ziele ergeben können, falls in diesen Sektoren nicht

rasch weitere wirksame Maßnahmen beschlossenen werden. Die erneute Zielüberschreitung im Jahr 2022 (siehe Kapitel 5.1) sollte als Warnsignal in dieser Hinsicht aufgefasst werden.

Abbildung 9: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes



KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz

Eigene Darstellung basierend auf der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Jahr 2022 des Umweltbundesamtes und den ausgewiesenen Unsicherheiten und den 2022 Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes. * Im Verkehrssektor wurde durch das Umweltbundesamt nach dem 15.03.2023 eine Untererfassung von 0,6 Mt CO₂-Äq. im Rahmen einer Validierungsrechnung festgestellt, die Emissionsdaten liegen demnach 0,6 Mt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt ursprünglich berichteten Wert. Mögliche Abweichungen ergeben sich durch Rundungsdifferenzen.

Teil II: Weiterführende Betrachtungen

6 Einordnung der Emissionsentwicklung

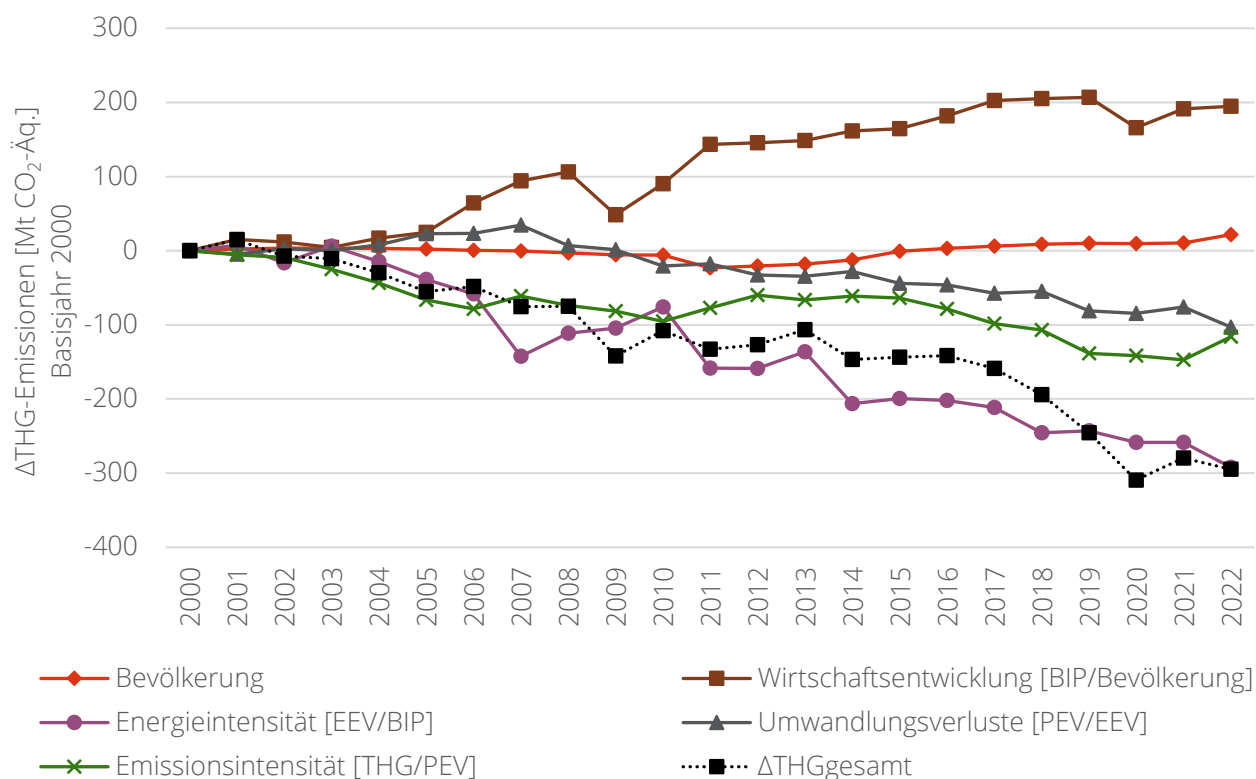
111 Teil II dieses Berichts enthält weiterführende Betrachtungen, die unter anderem der Einordnung der vorgelegten Emissionsdaten dienen. Ziel ist es vor allem, eine qualifizierte Einschätzung der Effekte des Krieges in der Ukraine auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionsdaten des Jahrs 2022 abzugeben. Dabei wird zunächst eine Dekomposition der aggregierten, sektorenübergreifenden Emissionsdaten in wesentliche Treiber vorgenommen (Kapitel 6.1.1). Für eine Einschätzung des Effektes der gestiegenen Energiepreise aufgrund des Krieges in der Ukraine auf die Emissionsentwicklung wird auf sektorenübergreifender Ebene in Kapitel 6.1.2 eine kontrafaktische Entwicklung dargestellt. Diese beruht auf einer Fortschreibung der historischen Emissionsdaten. Anschließend wird in Kapitel 6.1.3 eine sektorale Betrachtung für diejenigen Sektoren durchgeführt, die stark von den Einflüssen des Krieges in der Ukraine im Jahr 2022 betroffen waren und in denen der Energieträger Erdgas eine signifikante Rolle spielt: Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude. Es werden insbesondere die Veränderungen zwischen den Jahren 2021 und 2022 im Hinblick auf die Treibhausgasemissionen dargestellt, um Größenordnungen verschiedener identifizierter Effekte zu ermitteln.

6.1 Ex-post Betrachtungen

6.1.1 Sektorenübergreifende Dekompositionsanalyse der Treibhausgasemissionen

112 Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland kann mittels einer sektorenübergreifenden Dekompositionsanalyse rechnerisch in verschiedene Faktoren zerlegt werden. Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen diese Entwicklung für die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner*innen), Wirtschaftsentwicklung (Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf), Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen pro Primärenergieverbrauch (PEV)), Energieintensität (Endenergieverbrauch (EEV) pro BIP) und Umwandlungsverluste (PEV pro EEV). Es wird die Entwicklung in Bezug auf das Basisjahr 2000 bzw. die jährliche Entwicklung von 2019 auf 2020, von 2020 auf 2021 und von 2021 auf 2022 abgebildet.

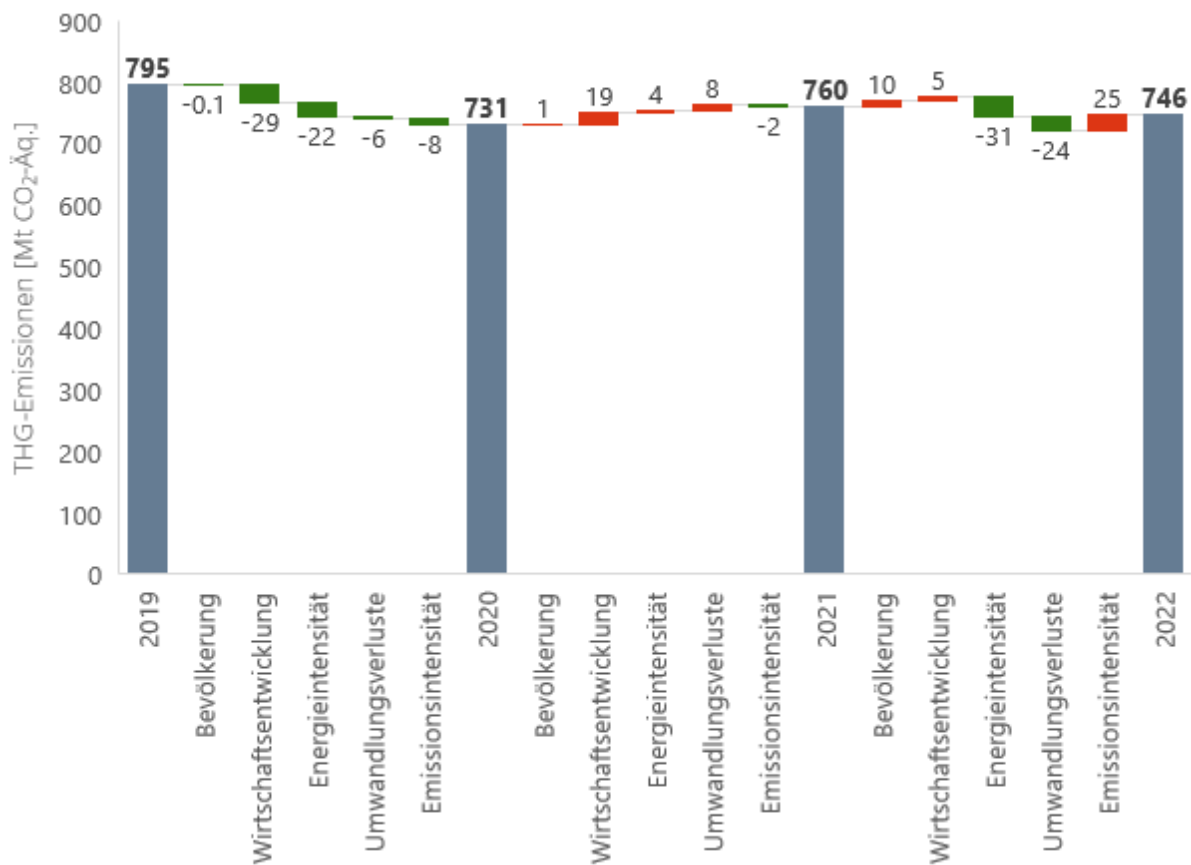
Abbildung 10: Dekomposition der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen – Änderungen im Vergleich zu 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich im Technischen Begleitdokument.

113 Die Dekomposition zeigt drei Komponenten, welche von 2021 auf 2022 gestiegen sind und damit laut der Zerlegung rechnerisch die THG-Emissionen erhöht haben: Bevölkerung, Wirtschaftsentwicklung und, mit besonderer Deutlichkeit, die Emissionsintensität. Die emissionserhöhende Wirkung der Emissionsintensität erklärt sich vor allem durch eine preisbedingte Verschiebung der Energieträgerstruktur von Erdgas zu Kohle in der Energiewirtschaft bzw. Heizöl in der Industrie (siehe Kapitel 6.1.3). Gegenläufig zu den Komponenten Bevölkerung, Wirtschaftsentwicklung und Emissionsintensität sind die Komponenten Energieintensität und Umwandlungsverluste von 2021 auf 2022 deutlich gesunken, was rechnerisch zu geringeren THG-Emissionen beigetragen hat. Insbesondere der Beitrag der Energieintensität war substantiell mit Blick auf die leichte Reduktion der THG-Emissionen gegenüber dem Vorjahr. Der emissionsmindernde Effekt der Energieintensität ist auf eine starke Produktionsminderung der energieintensiven Industrie im Jahr 2022 bei sonst gleichbleibender Produktion des verarbeitenden Gewerbes zurückzuführen (siehe Kapitel 6.1.3). Für eine detaillierte Beschreibung der historischen Entwicklungen der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen und deren Zerlegung in die fünf Komponenten wird auf (ERK 2022d) verwiesen.

Abbildung 11: Dekomposition der sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen – Veränderung von 2019 auf 2020, von 2020 auf 2021 und von 2021 auf 2022



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich im Technischen Begleitdokument.

114 Die Emissionen im Jahr 2022 liegen um 49 Mt CO₂-Äq. (6,1 %) unter den Werten des letzten Vorkrisenjahrs 2019. Würde sich diese Minderungsrate (von etwa 2,1 % pro Jahr) über den Rest des laufenden Jahrzehnts fortsetzen, würde das jahresscharfe KSG-Ziel für das Jahr 2030 um rund 190 Mt CO₂-Äq. und das kumulierte KSG-Ziel um rund 740 Mt CO₂-Äq. verfehlt. Die Treibhausgasemissionen sind in den Krisenjahren 2020 und 2022 im Vergleich zum Vorjahr jeweils gesunken, im Jahr 2021 allerdings zwischenzeitlich wieder gestiegen (siehe Abbildung 10). Bei der Betrachtung der Dekomposition dieser Entwicklung fällt auf, dass in der Erholung nach dem von der Pandemie geprägten Jahr 2020 die Faktoren Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung in nennenswertem Umfang angestiegen sind. Im Erholungsjahr 2021 konnte dieser Anstieg nicht durch Veränderungen in der Struktur des Energiesystems kompensiert werden, eher im Gegenteil. Zudem wird die Kompensation bei Energieintensität und Umwandlungsverlusten im Jahr 2022 teilweise durch die Verschiebung hin zu emissionsintensiveren Energieträgern (Gas zu Öl bzw. Gas und Kernenergie zu Kohle) in ihrer Wirkung gemindert. Auch erscheint sie teilweise krisenbedingt und daher potenziell von begrenzter Dauer. Geht man insgesamt von einer im weiteren Verlauf des Jahrzehnts steigenden Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung aus, müssten zur Erreichung der KSG-Ziele deutlich stärker ausgeprägte kompensierende Verbesserungen bei Energie- und Emissionsintensität realisiert werden als in den vergangenen drei Jahren beobachtet.

6.1.2 Kontrafaktische Szenarien

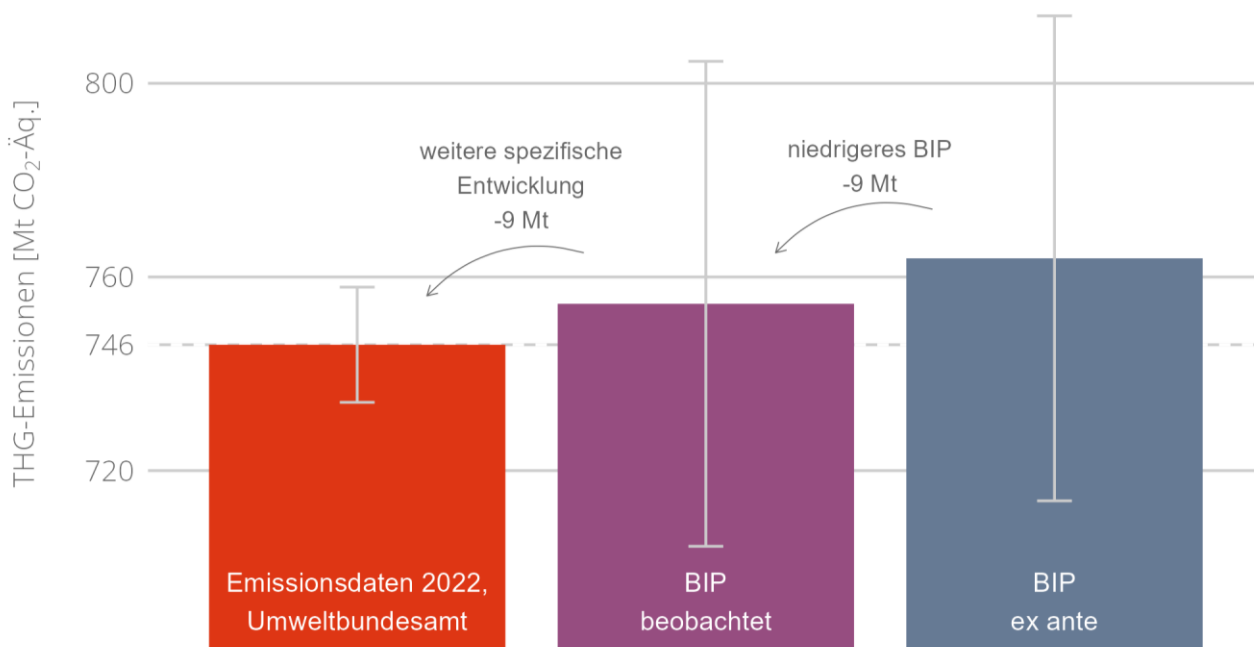
- 115 Das Umweltbundesamt veröffentlichte am 15. März eine Berechnung der deutschen Emissionsdaten des Jahres 2022. Für die sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen wurde ein Wert von 745,6 Mt CO₂-Äq. geschätzt. Diese Emissionsdaten reflektieren einerseits langfristige Trends, andererseits spezifische Ereignisse und Entwicklungen des Jahres 2022 (siehe Kapitel 6.1.3). Das Umweltbundesamt weist bezüglich dieser spezifischen Ereignisse und Entwicklungen des Jahres 2022 insbesondere auf den Krieg in der Ukraine und die damit im Zusammenhang stehenden hohen Preise für Erdgas hin, die sich auf unterschiedliche Weise auf die Entwicklungen in den einzelnen Sektoren ausgewirkt haben (UBA 2023b). Eine quantitative Abschätzung des Einflusses der spezifischen Ereignisse und Entwicklungen nimmt das Umweltbundesamt bei der Berechnung der Emissionsdaten nicht vor. Als erste, grobe Annäherung können allerdings die vom Umweltbundesamt berichteten Emissionsdaten für 2022 mit denjenigen Werten verglichen werden, die sich aus einer einfachen Fortschreibung des historischen Trends ergeben. Die Fortschreibung des historischen Trends stellt damit eine kontrafaktische Emissionsentwicklung dar. Angesichts der Komplexität der Wirkzusammenhänge kann so zwar keine belastbare „Was-wäre-wenn“-Aussage getroffen werden, der vorgenommene Vergleich liefert dennoch einen ersten Anhaltspunkt für die Größenordnung der Schwankung um den langfristigen Trend auf das Emissionsgeschehen (siehe auch ERK 2021). Da der Krieg in der Ukraine und die infolgedessen massiv gestiegenen Energiepreise einen starken Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung im Jahr 2022 hatten (SVR Wirtschaft 2022), wird der Effekt des Bruttoinlandsprodukts (BIPs) auf die Treibhausgasemissionen explizit mit in die Modellierung aufgenommen.²⁰ Weitere spezifische Entwicklungen, wie beispielsweise Witterungseffekte in der Energiewirtschaft und im Gebäudesektor, sind hingegen schwer methodisch voneinander zu isolieren und werden in dieser Analyse nicht weiter aufgeschlüsselt sondern gemeinsam betrachtet.
- 116 Die Berechnung der kontrafaktischen Emissionsentwicklung für das Jahr 2022 erfolgt methodisch auf Grundlage eines autoregressiven (AR) Modells für Zeitreihendaten, das auf den sektorenübergreifenden Treibhausgasemissionen des Zeitraums von 1995 bis 2021 geschätzt wurde (siehe Technisches Begleitdokument (ERK 2023, Kapitel 3.2) für eine Beschreibung der Methodik). Um den Effekt der Wirtschaftsentwicklung auf die Emissionsentwicklung einzubeziehen, wurde das BIP als erklärende Variable in das AR-Modell aufgenommen. Das Modell beschreibt somit die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von der eigenen Historie und der Wirtschaftsentwicklung. Basierend auf dem geschätzten Modell können für verschiedene Szenarien der Wirtschaftsentwicklung Fortschreibungen der Treibhausgasemissionen, und somit unterschiedliche kontrafaktische Szenarien, abgeleitet werden.
- 117 Im Jahr 2022 war das Wirtschaftswachstum unter anderem als Folge des Krieges in der Ukraine deutlich niedriger als erwartet. Die Prognose des BIPs für das Jahr 2022 der Bundesregierung von Januar 2022, also vor Beginn des Krieges lag bei 3,6 % (BMWK 2022d). Zu diesem Zeitpunkt ging die Bundesregierung aufgrund der konjunkturellen Erholung nach einer Aufhebung der Einschränkungen durch die Covid-19-Pandemie und einer Auflösung der Lieferengpässe in der Industrie von einem deutlichen Zuwachs des BIPs aus. Der tatsächliche Zuwachs im Jahr 2022 lag dagegen nur bei 1,9 % und somit deutlich unter dem erwarteten Wert (Destatis 2023f). Um den Effekt der unerwartet niedrigen Wirtschaftsentwicklung

²⁰ Die Schätzung des Zeitreihenmodells ergibt einen signifikanten Koeffizienten des BIPs (5 %-Niveau). Eine solche Analyse wurde analog auch mit einem Verbraucherpreisindex für Strom, Gas und andere Brennstoffe vorgenommen, um die gestiegenen Energiekosten zu adressieren. Es konnten bei dieser Analyse kein signifikanter Effekt des Verbraucherpreisindex festgestellt werden, sodass die Ergebnisse dieser Analyse nicht weiter beschrieben werden.

auf die Treibhausgasemissionen zu quantifizieren, werden die Treibhausgasemissionen zum einen im Szenario „BIP beobachtet“, basierend auf der tatsächlich beobachteten Wirtschaftsentwicklung in 2022, fortgeschrieben. Zum anderen werden die Treibhausgasemissionen im Szenario „BIP ex-ante“ unter Berücksichtigung der Prognose des BIPs für das Jahr 2022 von Januar 2022 fortgeschrieben. Ein Vergleich der kontrafaktischen Treibhausgasemissionen der beiden Szenarien kann als Abschätzung des Effekts aufgrund der veränderten Wirtschaftsleistung infolge des Krieges in der Ukraine interpretiert werden. Um den Effekt der restlichen spezifischen Entwicklungen im Jahr 2022, wie beispielsweise Witterungseffekte in der Energiewirtschaft und im Gebäudesektor, abzuschätzen, werden die kontrafaktischen Treibhausgasemissionen des Szenarios „BIP beobachtet“ mit den berichteten Emissionsdaten des Umweltbundesamtes verglichen. Somit wird die Abweichung der kontrafaktischen Treibhausgasemissionen unter der Annahme, es hätte den Krieg in der Ukraine nicht gegeben (Szenario „BIP ex-ante“), zu den berichteten Treibhausgasemissionen in zwei Effekte zerlegt: den des niedrigeren Wirtschaftswachstums (Szenario „BIP ex-ante“ – Szenario „BIP beobachtet“) und den Effekt der restlichen spezifischen Entwicklungen im Jahr 2022 (Szenario „BIP beobachtet“ – Treibhausgasemissionen des Umweltbundesamtes).

- 118 Für das Szenario „BIP ex-ante“ ergibt sich für die kontrafaktischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2022 ein Wert von ca. 763,8 Mt CO₂-Äq. (95 % Vorhersageintervall: [713,8 Mt CO₂-Äq.; 813,9 Mt CO₂-Äq.]). Für das Szenario „BIP beobachtet“ ergeben sich kontrafaktische Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 754,5 Mt CO₂-Äq. (95 % Vorhersageintervall [704,4 Mt CO₂-Äq.; 804,5 Mt CO₂-Äq.]). Der Effekt des niedrigeren BIPs ergibt sich als Differenz der zwei kontrafaktischen Szenarien und beläuft sich auf verminderte Treibhausgasemissionen von rund 9 Mt CO₂-Äq. (ca. -1,2 %). Der Effekt der weiteren spezifischen Entwicklungen des Jahres 2022, abgeschätzt durch die Differenz zwischen dem kontrafaktischen Szenario „BIP beobachtet“ und den berichteten Emissionsdaten des Umweltbundesamtes, beträgt rund 9 Mt CO₂-Äq. (ca. -1,2 %). Das heißt, das Modell lässt eine mindernde Wirkung dieser Entwicklungen auf die Treibhausgasemissionen erwarten. Die Vorhersageintervalle der Fortschreibungen überdecken jedoch den vom Umweltbundesamt berichteten Wert der Emissionsdaten. Dies impliziert, dass die Schätzung mit einer hohen Unsicherheit verbunden ist; der tatsächliche Einfluss der Effekte auf die Treibhausgasemissionen könnte auch größer oder kleiner oder sogar positiv sein. Somit lässt sich auf Basis der vorhandenen Datenlage die Richtung des Einflusses nicht eindeutig bestimmen.
- 119 Abbildung 12 stellt den Wert der Emissionsdaten für 2022 und die Werte der zwei Fortschreibungen und deren Vorhersageintervalle für 2022 mit tatsächlich beobachteten und prognostizierten BIP-Werten dar. Eine tiefere Analyse der spezifischen Entwicklungen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude und Verkehr wird in den folgenden Kapiteln durchgeführt.

Abbildung 12: Wert der Emissionsdaten 2022 und Werte der zwei Fortschreibungen mit tatsächlich beobachtetem und prognostiziertem BIP



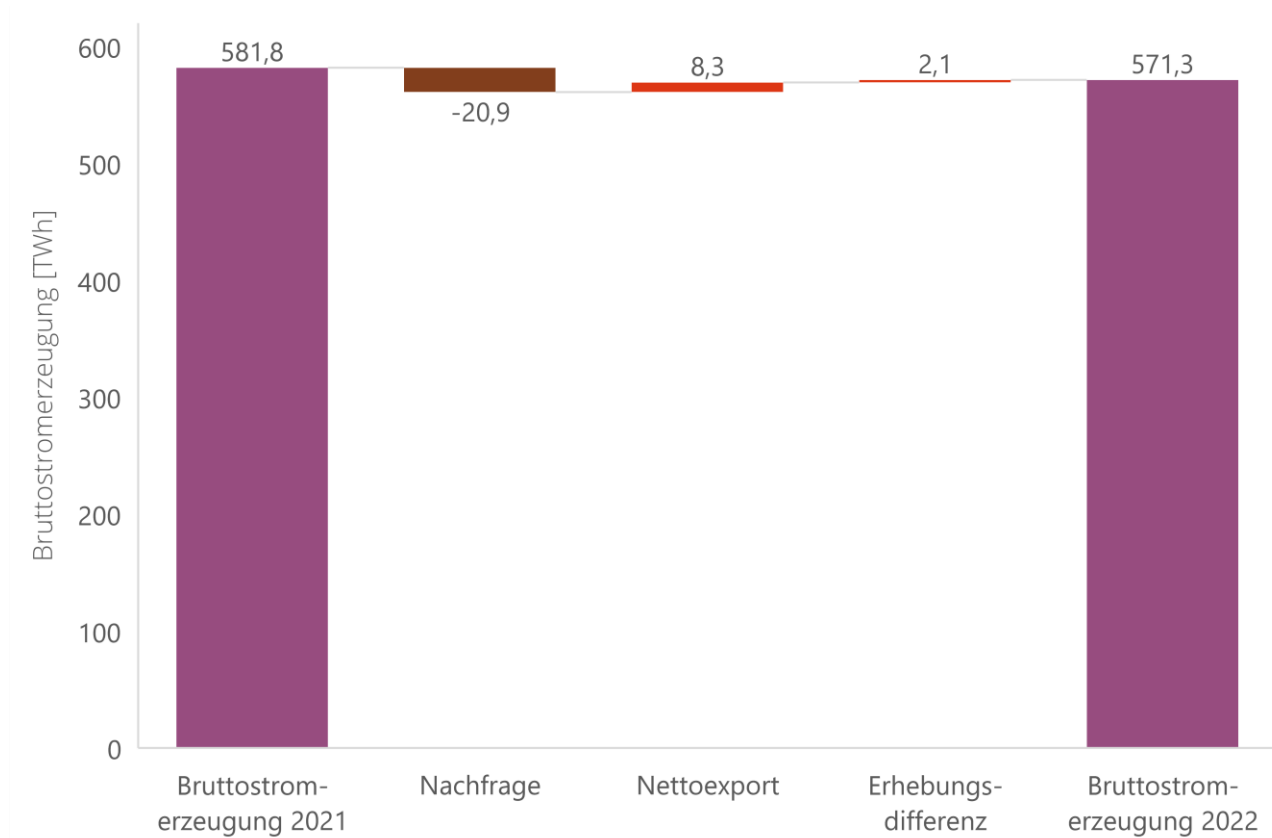
Eigene Darstellung. Emissionsdaten (UBA 2023b). Werte der Fortschreibungen mit Prognoseintervallen des kontrafaktischen Szenarios „BIP beobachtet“ (lila) und des kontrafaktischen Szenarios „BIP ex-ante“ (blaugrau) basieren auf eigenen Berechnungen.

6.1.3 Sektorale Betrachtungen für das Berichtsjahr 2022

Energiewirtschaft

- 120 Der Sektor Energiewirtschaft hat im Jahr 2022 auf Basis der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes mit 255,9 Mt CO₂-Äq. sein Sektorziel um 1,1 Mt CO₂-Äq. unterschritten. Unter Anlegung des korrigierten Sektorziels nach Anwendung von § 4 Absatz 3 KSG in Verbindung mit § 4 Absatz 1 Satz 4 KSG liegt eine Unterschreitung des Sektorziels um 3,8 Mt CO₂-Äq. vor (siehe Kapitel 5.2). Im Vergleich zum Jahr 2021 sind die THG-Emissionen um 10,7 Mt CO₂-Äq. (4,4 %) gestiegen. Dies ist im zweiten Jahr in Folge ein Anstieg, nachdem die THG-Emissionen zwischen den Jahren 2013 und 2021 kontinuierlich gesunken waren.
- 121 Hauptursache für den Anstieg der Treibhausgasemissionen waren Verschiebungen im Strommix, die zu einem insgesamt höheren Emissionsfaktor der Stromerzeugung führten. Gleichzeitig kam es zwar zu einem Rückgang der Stromnachfrage im Inland, dieser wurde aber durch einen stark gestiegenen Stromexport in das europäische Ausland kompensiert, so dass die Bruttostromerzeugung insgesamt nur leicht gesunken ist (-1,8 %) (Abbildung 13) und damit die Auswirkung des gestiegenen Emissionsfaktors nicht vollständig kompensieren konnte.

Abbildung 13: Veränderung der Bruttostromerzeugung, der Stromnachfrage und des Nettostromexportes²¹ zwischen den Jahren 2021 und 2022



Eigene Darstellung. Daten: AGEB (2023c).

122 Die Verschiebung im Strommix wurde vor allem durch die als Folge des Krieges in der Ukraine stark gestiegenen Preise für Gas verursacht. Insgesamt stieg die Bruttostromerzeugung aus Braunkohle um 6,1 TWh (5,5 %) und aus Steinkohle um 9,8 TWh (18 %) gegenüber dem Jahr 2021. Im Gegensatz dazu sank die Bruttostromerzeugung aus Erdgas um 10,5 TWh (11,6 %) gegenüber dem Vorjahr. Abbildung 18 zeigt die Veränderung der Bruttostromerzeugung für ausgewählte Energieträger unterteilt in den Kapazitätseffekt, den Witterungs-/Preiseffekt sowie einen Mischeffekt.²² Bei Braun- und Steinkohle überwiegt der Preiseffekt gegenüber dem Rückbau der installierten Leistung (Kapazitätseffekt). Der starke Anstieg der Gaspreise führte zu einer Erhöhung der Grenzkosten von Gaskraftwerken, so dass

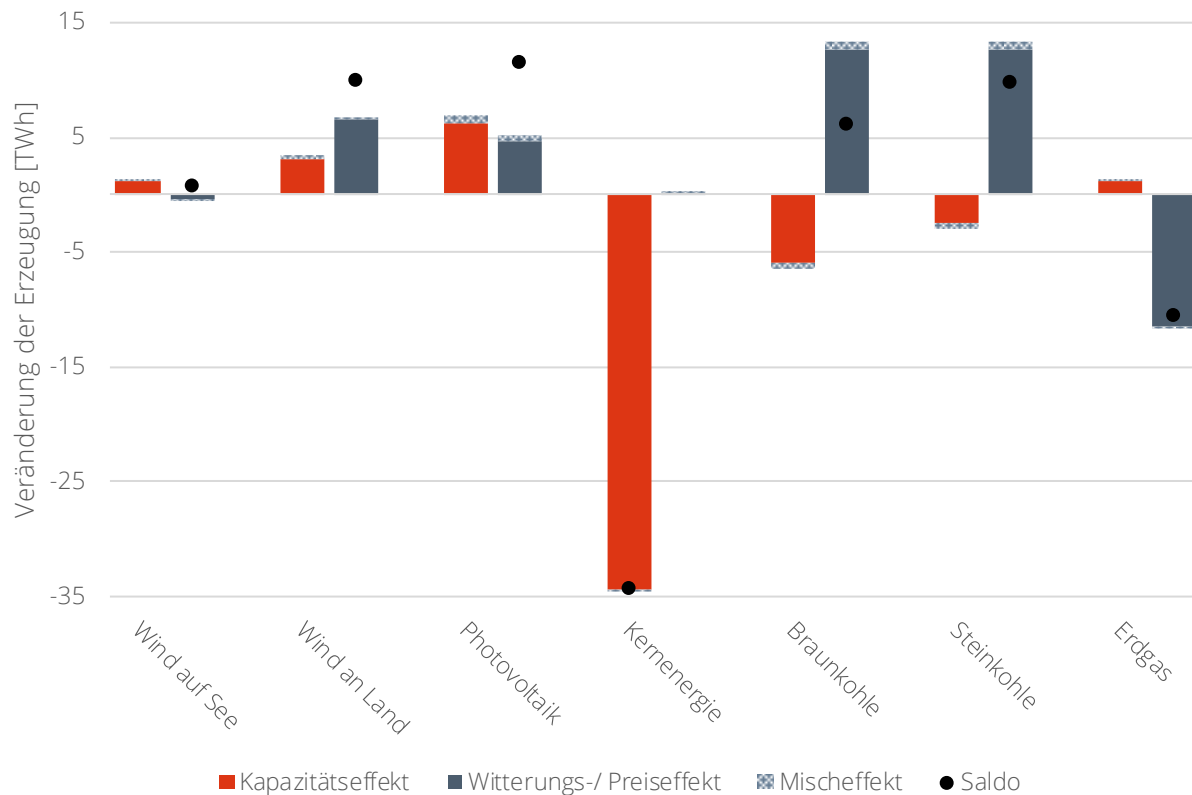
²¹ Die Erhebungsdifferenz ist auf die komplexe Struktur der Datenabfrage bei einer Vielzahl unterschiedlicher Marktteilnehmer und Datenunsicherheiten wie beispielsweise durch die Abschätzung für Solar zurückzuführen. Weitere Ursache für die Differenz ist, dass die Lastdaten im Gegensatz zu den Daten der Nettostromerzeugung Netzverluste beinhalten. Ferner wird ein Teil der Nettostromerzeugungsmengen aufgrund des Eigenverbrauchs im industriellen, gewerblichen und privaten Bereich nicht in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist. Zusätzlich ist anzunehmen, dass die Eigenerzeugung leicht unterschätzt wird, da die Daten erst ab einer Stromerzeugungseinheit von 10 MW übermittelt werden (BNetzA und BKartA 2023).

²² Der Witterungseffekt berechnet sich aus der installierten Leistung im Jahr 2021 multipliziert mit der Veränderung der Auslastung im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr. Der Kapazitätseffekt ergibt sich aus der Multiplikation des Zubaus oder Rückbaus der installierten Leistung und der Auslastung im Jahr 2021. Der Mischeffekt beinhaltet sowohl den Kapazitätseffekt als auch den Witterungs-/Preiseffekt. Dieser ist das Produkt aus dem Zubau bzw. Rückbau der installierten Leistung und der Veränderung der Auslastung im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr.

sich die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke nach der Merit-Order²³ änderte und Gaskraftwerke zunehmend aus dem Markt gedrängt wurden (BDEW 2022). Aufgrund der hohen Gaspreise und der daraus resultierenden Verschiebung in der Merit-Order gab es teilweise einen Brennstoffwechsel von Erdgas zu Stein- und Braunkohle. An dem Preisvorteil der Kohle änderten auch die verhältnismäßig hohen CO₂-Zertifikatspreise im Jahr 2022 von im Mittel 81 Euro pro Tonne CO₂ (Durchschnitt 2021: 53,52 Euro pro Tonne CO₂) nichts (BDEW 2022). Agora Energiewende (2023) führt als Gründe für die hohen CO₂-Preise zum einen die höheren THG-Emissionen durch den Ersatz von Erdgas mit den klimaschädlicheren Energieträgern Kohle und Erdöl und zum anderen Unsicherheiten über die wirtschaftliche Entwicklung, den Energieverbrauch und somit über die Emissionsentwicklungen insbesondere in der Industrie auf. Durch das Ersatzkraftwerkebereithaltungsgesetz wurde außerdem die Rückkehr von Kohlekraftwerken, die bereits in der Reserve waren, an den Strommarkt möglich gemacht, wodurch die Erzeugungsleistung von Kohlekraftwerken erhöht wurde. Dahingegen führte die außergewöhnliche Trockenheit im Jahr 2022 zu Herausforderungen bei der Belieferung von Kohlekraftwerken mit Brennstoffen. Niedrige Pegel auf Transportflüssen, wie beispielsweise dem Rhein, erzwangen eine Reduktion der Transportmengen der Binnenschifffahrt. Dies begrenzte insbesondere in West- und Süddeutschland die Belieferung von Steinkohlekraftwerken (Agora Energiewende 2023).

²³ Als Merit-Order wird in der Energiewirtschaft die Einsatzreihenfolge der stromproduzierenden Kraftwerke bezeichnet, welche sich an den Grenzkosten der bietenden Kraftwerke orientiert. In der Merit-Order werden die Grenzkosten in aufsteigender Reihenfolge sortiert, sodass das teuerste Kraftwerk, welches zur Deckung der Stromnachfrage benötigt wird, den Preis bestimmt. Die Merit-Order ist daher unabhängig von den Fixkosten einer Stromerzeugungstechnologie. Kraftwerke, die fortläufig den preisgünstigen Strom produzieren, bekommen so als Erstes einen Zuschlag zur Einspeisung. Danach werden so lange Kraftwerke mit höheren Grenzkosten hinzugenommen, bis die Stromnachfrage gedeckt ist (FFE 2022).

Abbildung 14: Einfluss von Kapazitäts- und Witterungs-/Preiseffekt auf die Veränderung der realisierten Erzeugung fossiler und erneuerbarer Energieträger 2021 vs. 2022



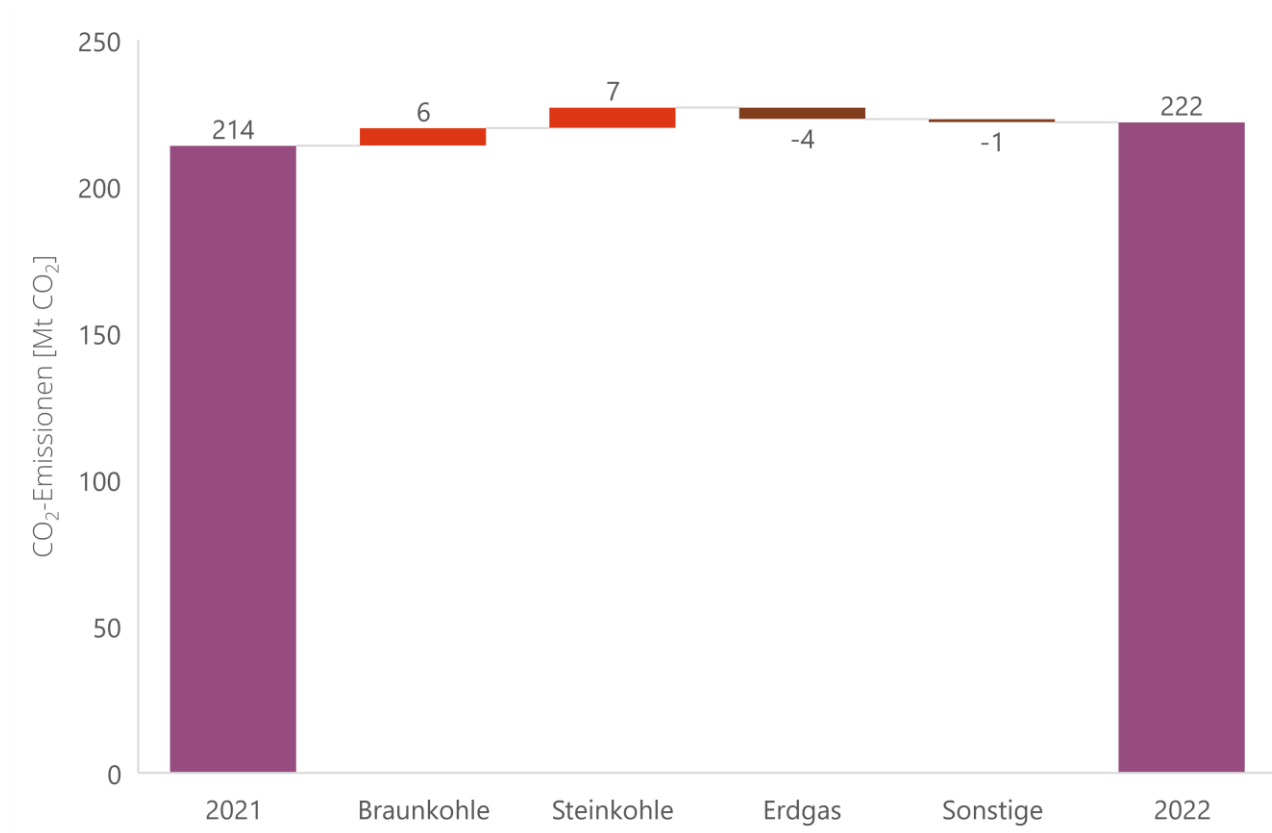
Eigene Darstellung. Daten: Fraunhofer ISE (2022) und AGEb (2023c).

- 123 Eine weiterer Einflussfaktor auf die Verschiebung im Strommix war die Abschaltung von drei der verbleibenden sechs Kernkraftwerke zum 31.12.2021, wodurch sich die Strommenge aus Kernenergie um 31 TWh verringerte (Agora Energiewende 2023).
- 124 Die Erzeugung aus erneuerbaren Energieträgern stieg insgesamt um 8,6 % gegenüber dem Vorjahr (BNetzA 2023). Beim Vergleich der Veränderung der Stromerzeugung der letzten beiden Jahre, kann für den Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern rund die Hälfte den für Wind und Photovoltaik günstigen Witterungsbedingungen zugeschrieben werden (siehe Abbildung 14). Der Rest kann durch den Kapazitätseffekt der gestiegenen installierten Leistung erklärt werden (siehe Abbildung 14, Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26).
- 125 Auf die Stromerzeugung aus Wasserkraft wirkten sich die Witterungsbedingungen im Jahr 2022 dagegen negativ aus. Im Jahr 2022 sank aufgrund des trockenen Sommers die jährliche Bruttostromerzeugung aus Wasserkraft in Deutschland gegenüber dem Vorjahr um rund 11 % auf 17,5 TWh (AGEb 2023c). Die Wasserkrafterzeugung lag damit unter dem Niveau des Jahres 2018, das ebenfalls niederschlagsarm war (BDEW 2022). Die installierte Leistung im Jahr 2022 lag bei 4,9 GW und hat sich gegenüber dem Vorjahr kaum geändert (Burger 2023). Dies liegt daran, dass das Ausbaupotenzial der Wasserkraftwerke in Deutschland schon seit einigen Jahren nahezu ausgeschöpft ist (Agora Energiewende 2023). Somit lässt sich die Veränderung in der Stromerzeugung der Wasserkraftwerke hauptsächlich durch den Witterungseffekt erklären.

- 126 Die beschriebenen Verschiebungen im Strommix führten insgesamt zu einem höheren Emissionsfaktor der Stromerzeugung. Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe. Zum einen sind die CO₂-Emissionsfaktoren für den Brennstoffeinsatz für Braunkohle und Steinkohle²⁴ deutlich höher als für Erdgas. Zum anderen ist der Wirkungsgrad von Gaskraftwerken höher, so dass bei gleicher Stromerzeugung ein geringerer Brennstoffeinsatz nötig ist als bei Stein- und Braunkohlekraftwerken (Icha et al. 2021). Der dadurch insgesamt erhöhte Emissionsfaktor des deutschen Strommixes konnte auch durch den gestiegenen Anteil von Strom aus erneuerbaren Energieträgern nicht kompensiert werden.
- 127 In Abbildung 15 wird die Veränderung der CO₂-Emissionen im Jahr 2022 gegenüber dem Jahr 2021 aufgrund der Verschiebungen im Strommix dargestellt. Dabei wird zwischen den Energieträgern Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und sonstigen fossilen Energieträgern unterschieden. Insgesamt sind die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung im Jahr 2022 um 3,7 % gestiegen, obwohl die erzeugte Menge im gleichen Zeitraum von 495,1 TWh auf 489,3 TWh leicht gesunken ist. Hauptursache ist die gestiegene Stromerzeugung der Energieträger Braunkohle (5,5 %) und Steinkohle (16,7 %).²⁵ Die CO₂-Emissionen aus sonstigen fossilen Energieträgern sind leicht zurück gegangen. Durch den Rückgang der Nettostromerzeugung aus Erdgas (Reduktion um 6,1 TWh) sind die damit verbundenen CO₂-Emissionen um 12,1 % gesunken.

²⁴ Der CO₂-Emissionsfaktor bezogen auf den Brennstoffeinsatz betrug im Jahr 2020 für Steinkohle 337 g/kWh und für Braunkohle 408 g/kWh (Icha et al. 2022).

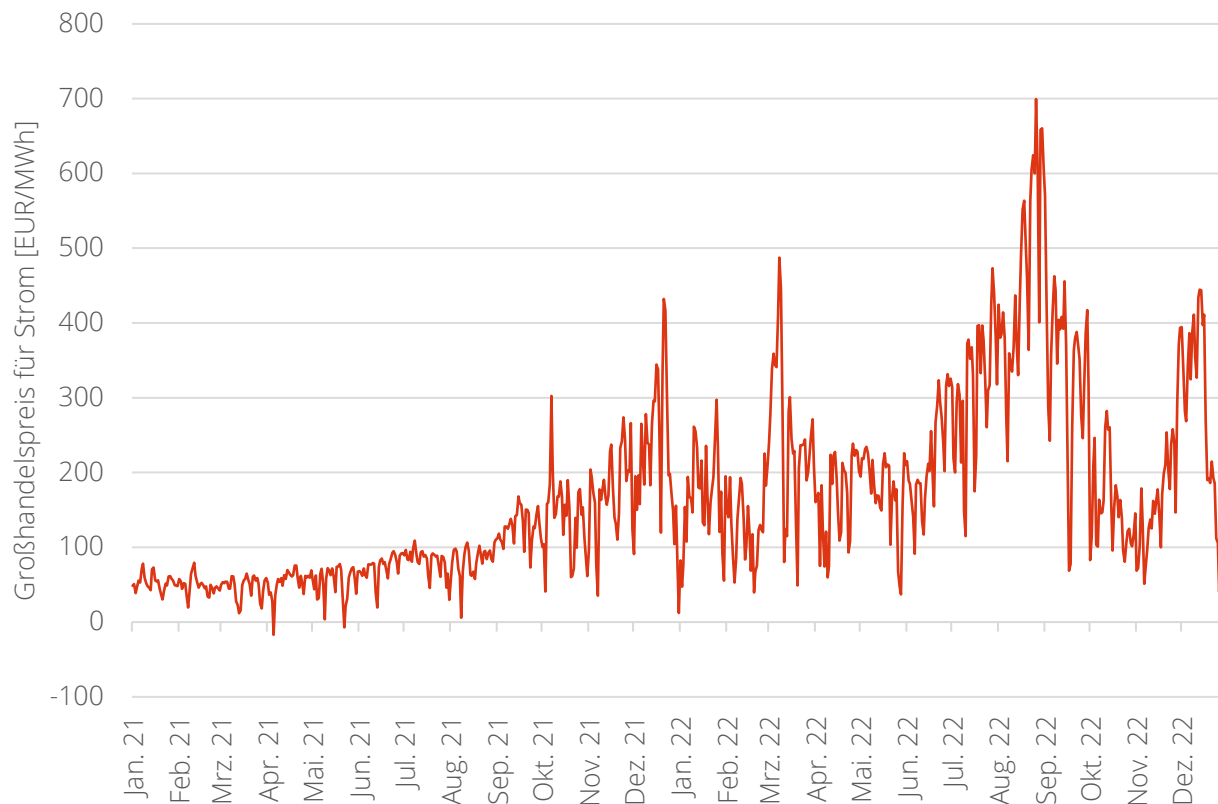
²⁵ Die Prozentzahlen in Klammern geben den prozentualen Anstieg der CO₂-Emissionen des jeweiligen Energieträgers im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr an.

Abbildung 15: Veränderung CO₂-Emissionen der Stromerzeugung nach Energieträgern zwischen den Jahren 2021 und 2022

Eigene Darstellung. Daten: UBA (2023d).

128 Der inländische Stromverbrauch sank im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr um insgesamt mehr als 4 % auf knapp 484 TWh (BNetzA 2023). Als Grund dafür werden vor allem die sehr hohen Strompreise genannt (siehe Abbildung 16) (Agora Energiewende 2023). Der durchschnittliche (volumengewichtete Day-Ahead) Börsenstrompreis lag im Jahr 2022 bei 230,58 EUR pro MWh und betrug somit das 2,5-fache gegenüber dem Jahr 2021 (Burger 2023). Auch die Terminmarktpreise lagen im Jahresmittel drei- bis viermal höher als im Vorjahr (BDEW 2022). Dieser Anstieg der Großhandelspreise wirkte sich verzögert auch auf die Strompreise für Endkund*innen aus und konnte auch durch die Abschaffung der Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Umlage zum 01.07.2022 nicht ausgeglichen werden. Als Folge stiegen die Strompreise für Haushaltskund*innen gegenüber dem Vorjahr um knapp 25 % auf durchschnittlich 40,07 ct/kWh (BDEW 2022). Um die Auswirkungen der hohen Strompreise für Letztverbraucher*innen abzumildern, wurde auf EU-Ebene die Verordnung 2022/1854: „Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise“ erlassen, die in Deutschland mit dem Strompreisbremsegesetz umgesetzt wurde. Das Strompreisbremsegesetz gilt seit März 2023 rückwirkend für Januar und Februar 2023. Die Auswirkungen des Gesetzes sind daher noch nicht in den Daten für das Jahr 2022 enthalten. Möglich ist, dass die Entlastung von Haushalten und Unternehmen von sehr hohen Strompreisen die finanziellen Motive zur Stromverbrauchsreduktion verringert.

Abbildung 16: Entwicklung der Großhandelspreise für Strom im Jahr 2021 und 2022



Eigene Darstellung. Daten: BNetzA (2023).

129 Darüber hinaus sind im Herbst 2022 zwei Energieverordnungen in Kraft getreten. Seit dem 1. September 2022 gilt die Kurzfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung (EnSikuMaV)²⁶ sowie seit dem 1. Oktober die Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen (EnSimiMaV)²⁷. Es kann angenommen werden, dass durch die EnSikuMaV der Rückgang des Stromverbrauchs in den letzten vier Monaten des Jahres 2022 verstärkt wurde. Der Einfluss der EnSimiMaV auf die Nachfrage in 2022 ist als sehr gering anzunehmen, da sie vornehmlich mittelfristige Maßnahmen umfasst.

130 Weitere Einflussfaktoren, die zu einer Reduktion der Stromnachfrage führten, waren die hohe mittlere Lufttemperatur von 10,5°C, die zu einem geringeren Heizbedarf bei Verbrauchenden führte (Burger 2023) sowie ein gesteigertes Bewusstsein für nötige Einsparungen. So reduzierten insbesondere Kleinverbraucher ihre Nachfrage auch aufgrund nichtfinanzieller Motive (Ruhnau et al. 2022). Zu den kurzfristigen Einsparungen kamen auch Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen mit mittel- bis

²⁶ Die EnSikuMaV richtet sich an öffentliche Nichtwohngebäude, Unternehmen und Privathaushalte und gilt bis zum 15. April 2023. Enthaltene Maßnahmen, die insbesondere den Stromverbrauch beeinflussen sind beispielsweise die Untersagung der Beleuchtung von öffentlichen Nichtwohngebäuden (§ 8 EnSikuMaV) oder die Nutzungseinschränkung für beleuchtete Werbeanlagen (§ 11 EnSikuMaV) (BMWK 2022h).

²⁷ Im Gegensatz zur EnSikuMaV gilt die EnSimiMaV für zwei Jahre und betrifft Unternehmen und Eigentümer*innen von Gebäuden. Neben Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizungsanlagen, sind Unternehmen zur Umsetzung wirtschaftlicher Energieeffizienzmaßnahmen (§ 4 EnSimiMaV) verpflichtet (BMWK 2022i).

langfristiger Wirkung (AGEB 2022). Diese Maßnahmen könnten einen nachhaltigen Effekt auf den Stromverbrauch erwarten lassen. Künftig ist allerdings vor allem als Folge der zunehmenden Elektrifizierung des Verkehrs-, Gebäude- und Industriesektors mit einer Zunahme des Stromverbrauchs zu rechnen. Für das Jahr 2030 geht die Bundesregierung von einem Bruttostrombedarf von 750 TWh aus (BMWK 2022e).

- 131 Der Anstieg der CO₂-Emissionen, der auf den Stromverbrauch zurückgeführt werden kann, kann auf 5,8 Mt CO₂-Äq. quantifiziert werden.²⁸ Darin zeigt sich, dass der nachfrageinduzierte Emissionsrückgang durch die Verschiebungen im Energieträgermix hin zu vermehrter Kohleverstromung überkompensiert wurde.
- 132 Gegenläufig zur inländischen Nachfrage, ist der Stromexport von Deutschland in das europäische Ausland im Jahr 2022 insbesondere in Folge eines Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernkraftwerken in Frankreich und einer sinkenden Stromerzeugung aus Wasserkraft in Europa stark gestiegen. Der Grund für die geringe Erzeugung aus Kernkraft in Frankreich waren vor allem Wartungs- und Sanierungsarbeiten an mehreren Kernkraftwerken. Zudem kam es aufgrund der Trockenheit zu niedrigen Wasserständen in den Flüssen, was zu Schwierigkeiten bei der Kühlung der Kernkraftwerke führte. Dem Rückgang der Stromerzeugung aus Wasserkraft in Europa lag, wie auch in Deutschland, vor allem die starke Trockenheit zugrunde. Von Januar bis Oktober 2022 wurde trotz gestiegener Kapazitäten mit 130 TWh in Europa²⁹ ca. 20 % weniger Strom aus Wasserkraftwerken erzeugt als im Vorjahr (Gruber et al. 2022). Um die reduzierte Stromerzeugung im europäischen Ausland auszugleichen, exportierte Deutschland im Jahr 2022 51,1 % mehr Strom als im Jahr 2021 und war mit insgesamt 27,6 TWh Netto-Stromexporteur (Fraunhofer ISE 2022). Die gestiegenen Exporte führten zu höheren Erzeugungsmengen in Deutschland und somit zum Einsatz von Kraftwerken mit höheren Grenzkosten (FfE 2022). In Folge haben die gestiegenen Exporte den Effekt der gestiegenen Brennstoffkosten auf dem deutschen Strommarkt weiter verstärkt. Der Anstieg der CO₂-Emissionen gegenüber dem Vorjahr, der auf den gestiegenen Nettoexport zurückgeführt werden kann, beläuft sich auf rund 2,9 Mt CO₂-Äq.³⁰
- 133 Trotz eines leichten Nachfragerückgangs im Zuge der wirtschaftlichen Eintrübung und einer Zunahme der Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen sind die Emissionen im Sektor Energiewirtschaft um 10,7 Mt CO₂-Äq. (4,4 %) angestiegen. Verantwortlich für den Anstieg waren vor allem die Erhöhung des Emissionsfaktors der Stromerzeugung aufgrund einer Verschiebung von Kernenergie und Gas zu Kohle sowie eine gestiegene Nachfrage aus dem Ausland. Mit der Abschaltung der verbleibenden Kernkraftwerke zum 15. April 2023 und der wirtschaftlichen Erholung könnte sich der Trend zu steigenden Emissionen auch im Jahr 2023 fortsetzen, was angesichts der nur knappen Unterschreitung des Sektorenziels im Jahr 2022 die Zielerreichung im Jahr 2030 in Frage stellen könnte.

²⁸ Zur Berechnung der CO₂-Emissionen wird das Produkt aus dem jeweiligen Anteil des Energieträgers an dem entsprechenden Tag und der Höhe des gesamten Stromverbrauchs an diesem Tag sowie der entsprechende Emissionsfaktor der Stromerzeugung des jeweiligen Energieträgers herangezogen. Die Emissionsfaktoren der Stromerzeugung werden aufgrund mangelnder Daten je Energieträger über das Jahr als konstant angenommen. Für sonstige fossile Energieträger wurde der durchschnittliche Emissionsfaktor verwendet.

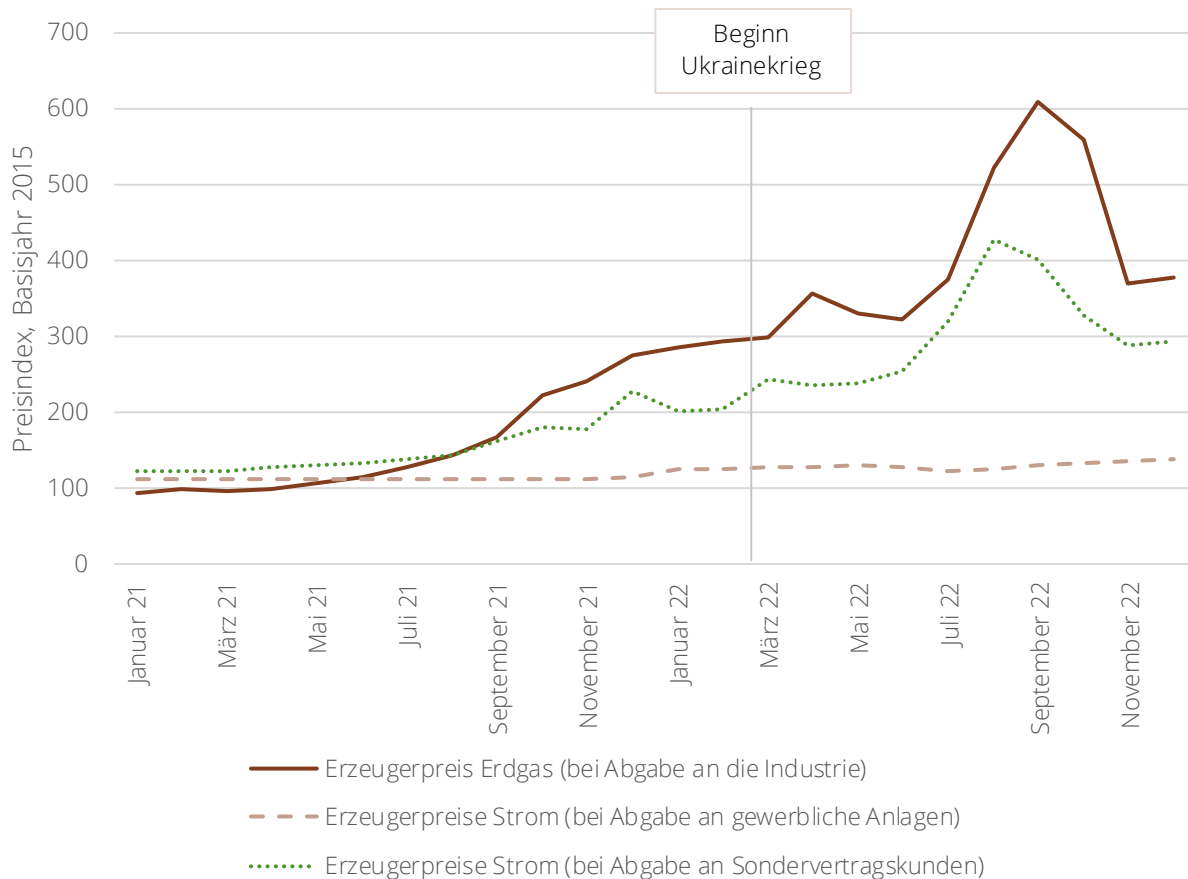
²⁹ EU 27 ohne Dänemark und Griechenland für Laufwasserkraftwerke und Wasserreservoirs.

³⁰ Die Berechnung der CO₂-Emissionen erfolgt analog zu der Berechnung der CO₂-Emissionen für den Stromverbrauch.

Industrie

- 134 Der Industriesektor hat im Jahr 2022 laut der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes mit 164 Mt CO₂-Äq. die jährlich zulässigen Emissionsmengen um 13 Mt CO₂-Äq. unterschritten. Gegenüber dem Jahr 2021 sind die Treibhausgasemissionen des Industriesektors um 10,4 % (19 Mt CO₂-Äq.) gesunken. Während die Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie in den Jahren 2020 und 2021 von der Covid-19-Pandemie geprägt war (siehe ERK (2021) und ERK (2022b)), hatte im Jahr 2022 insbesondere die Energiepreiskrise infolge des Krieges in der Ukraine einen starken Einfluss. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Industriesektor im Jahr 2021 laut aktuellem Nationalem Inventarbericht (BJ+2) das KSG-Sektorziel von 182 Mt CO₂-Äq. um 1,8 Mt CO₂-Äq. verfehlt hätte (UBA 2023f). Die früher liegende Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres (BJ+1) hingegen war zu dem Ergebnis gekommen, dass der Sektor das Ziel mit 181 Mt CO₂-Äq. knapp eingehalten habe (UBA 2022a).
- 135 In seinem Zweijahresgutachten (ERK 2022d) hat der Expertenrat für Klimafragen untersucht, inwieweit die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Industrie durch die Faktoren Wirtschaftsentwicklung, struktureller Wandel sowie Energie- und Emissionsintensität beeinflusst wurde. In der Periode vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 haben insbesondere der deutliche Rückgang der Energieintensität und ein leichter Rückgang der Emissionsintensität zu der beobachteten Reduzierung der Treibhausgasemissionen beigetragen. Dem wirtschaftlichen Wachstum konnte währenddessen mit Ausnahme des durch die Covid-19-Pandemie geprägten Jahres 2020 ein steigernder Effekt zugeordnet werden. Wie im Folgenden dargestellt, wurden diese zentralen Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Industrie im Jahr 2022 maßgeblich durch den starken Anstieg der Energiepreise geprägt (siehe Abbildung 17). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die gestiegenen Preise aufgrund längerfristiger Verträge und wegen der staatlichen Rettung der Gasimporteure SEFE und Uniper bislang nur teilweise an die Endverbrauchenden der Industrie weitergegeben wurden (SVR Wirtschaft 2022; BMWK 2022f; SEFE 2022). Auch Rohstoff- und Lieferengpässe waren im Jahr 2022 weiterhin von Bedeutung für die Produktionsentwicklung in der deutschen Industrie (siehe beispielsweise Agora Energiewende (2023) und SVR Wirtschaft (2022)).

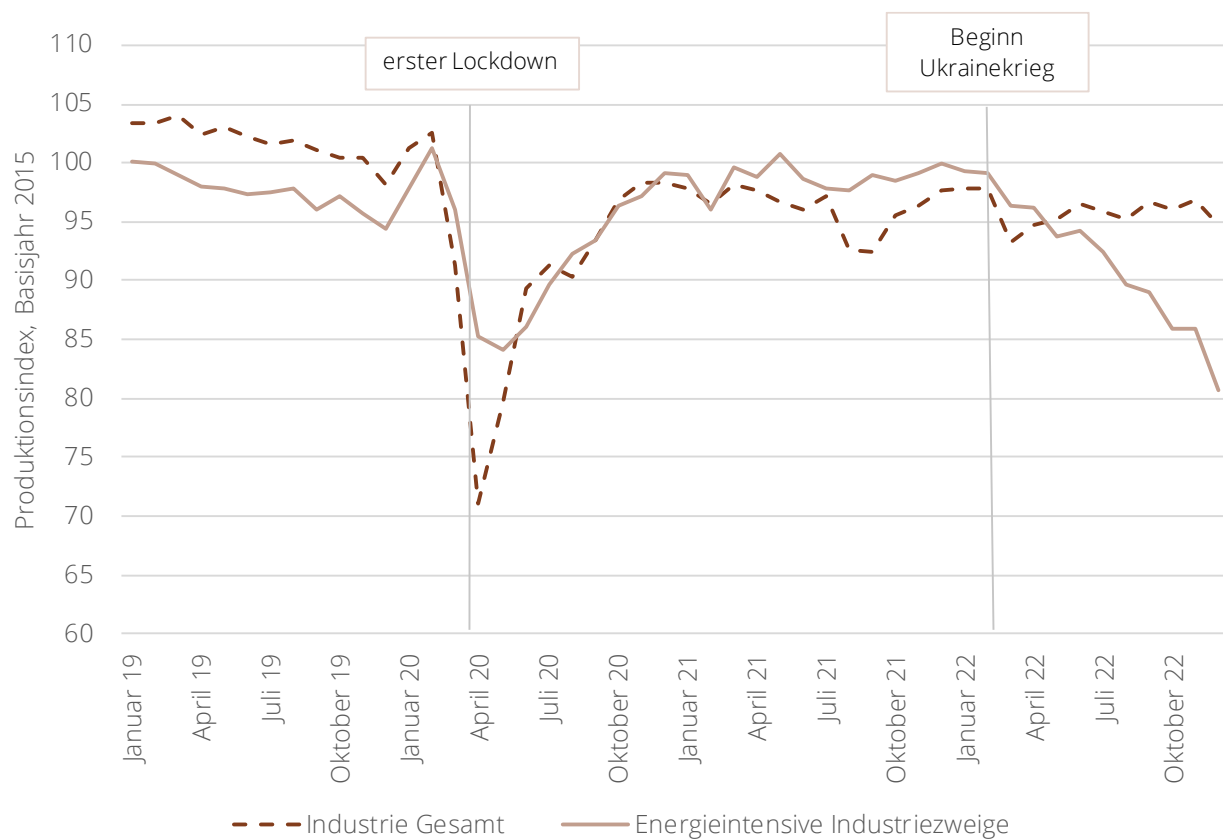
Abbildung 17: Entwicklung der Indizes des Erzeugerpreises Erdgas (bei Abgabe an die Industrie), Erzeugerpreises Strom (bei Abgabe an gewerbliche Anlagen) und Erzeugerpreises Strom (bei Abgabe an Sondervertragskunden)



Eigene Darstellung. Daten: Destatis (2023a).

136 Für die gesamte Industrie fiel der Produktionsrückgang im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr mit rund 0,5 % gering aus (siehe Tabelle 8). Auch blieb der Produktionsindex der Industrie über das gesamte Jahr relativ stabil (siehe Abbildung 18). Zwar war die Produktion in den energieintensiven Industriezweigen stark rückläufig, vor allem bei der Gewinnung von Steinen und Erden (-11,1 %), der Grundstoffchemie (-14,2 %) und der Metallerzeugung (-8,9 %). Die energieintensiven Industriezweige haben jedoch kaum einen Einfluss auf die Bruttowertschöpfung, aus der sich die Wirtschaftsentwicklung bemisst. Damit ging von der Wirtschaftsentwicklung insgesamt im Jahr 2022 nur ein geringfügig mindernder Einfluss auf die THG-Emissionen in der Industrie aus. Der in der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes bilanzierte deutliche Rückgang der THG-Emissionen des Industriesektors muss daher auf andere Einflüsse zurückzuführen sein.

Abbildung 18: Produktionsentwicklung in den Jahren 2019–2022 in der gesamten Industrie und in den energieintensiven Industriezweigen



Eigene Darstellung. Daten: (Destatis 2023c), X13 JDemetra+ kalender- und saisonbereinigt.

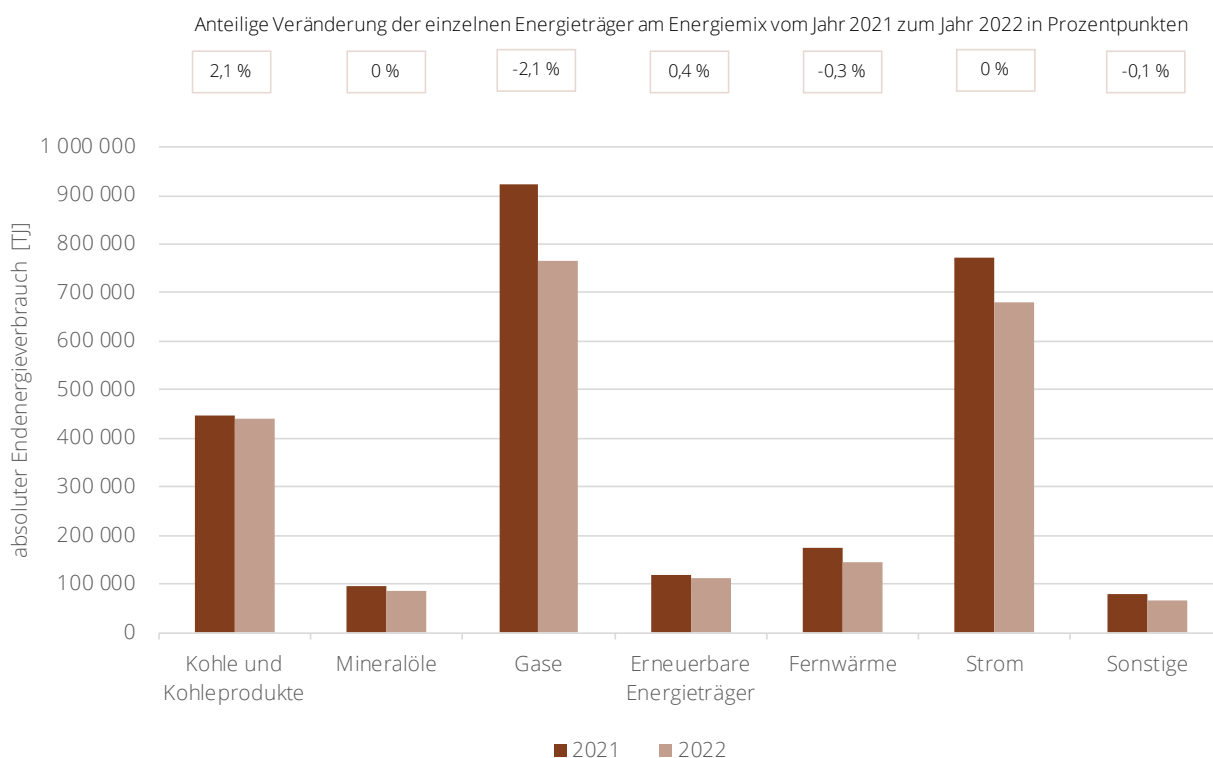
Tabelle 8: Veränderung von Endenergieverbrauch (EEV), Brennstoffeinsatz, Erdgaseinsatz und Produktion im Industriesektor im Jahr 2022 im Vergleich zum Vorjahr

Veränderung von EBZ	Energie- intensität	Produktions- index	EEV	Brennstoffe	Erdgas
Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau	-3,1 %	-11,1 %	-13,1 %	-13,8 %	-14,1 %
Ernährung und Tabak	-4,9 %	0,0 %	-4,4 %	-4,9 %	-6,4 %
Papiergewerbe	-9,2 %	-5,5 %	-12,8 %	-14,2 %	-15,6 %
Grundstoffchemie	-6,2 %	-14,2 %	-19,7 %	-19,5 %	-19,9 %
Sonstige chemische Industrie	-14,4 %	-0,6 %	-14,0 %	-14,9 %	-15,6 %
Gummi- u. Kunststoffwaren	-6,5 %	-3,9 %	-13,2 %	-10,2 %	-10,5 %
Glas u. Keramik	-6,6 %	3,6 %	-2,3 %	-3,2 %	-3,0 %
Verarbeitung v. Steine u. Erden	-6,9 %	-4,4 %	-10,0 %	-11,0 %	-28,5 %
Metallerzeugung	-0,6 %	-8,9 %	-9,0 %	-9,5 %	-79,0 %
NE-Metalle, -gießereien	-15,6 %	-2,3 %	-17,0 %	-17,5 %	-17,6 %
Metallbearbeitung	-13,9 %	-1,9 %	-12,5 %	-15,5 %	-15,8 %
Maschinenbau	-9,2 %	0,6 %	-12,4 %	-8,6 %	-8,8 %
Fahrzeugbau	-13,3 %	3,7 %	-12,0 %	-10,1 %	-13,1 %
Sonstige Wirtschaftszweige			-7,7 %	-7,1 %	-9,2 %
Gesamt (Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe)	-11,6 %	-0,5 %	-12,0 %	-12,0 %	-19,2 %

Eigene Darstellung basierend auf AGEb (2023a), AGEb (2023b), AGEb (2015) und Destatis (2023d), X13 JDemetra+ kalender- und saisonbereinigt. Die Tabelle baut auf den Energiebilanzzeilen (EBZ) 46 bis 60 auf. Die Energieintensität ist definiert als Brennstoffverbrauch bezogen auf den Produktionsindex.

- 137 Auffällig ist im Jahr 2022 insbesondere der deutliche Rückgang der Energieintensität der gesamten Industrie um 11,6 % gegenüber dem Vorjahr, hier gemessen als Brennstoffverbrauch (-12 %) bezogen auf den Produktionsindex (-0,5 %) (siehe Tabelle 8)²⁶. Auch in der Vergangenheit hatte diese Komponente bereits einen emissionsmindernden Effekt, der sich ab dem Jahr 2010 nochmals verstärkte (ERK (2022d)). In der Energieintensitätskomponente spiegeln sich sowohl der strukturelle Wandel innerhalb der Industrie und einzelner Industriezweige wider, als auch technisch und organisatorisch bedingte Veränderungen der Energienutzung. In der Vergangenheit lag der verbrauchsmindernde Effekt des inter- und intra-industriellen Strukturwandel dabei etwa in der gleichen Größenordnung wie der Einfluss technisch und organisatorisch bedingter Energieeffizienzverbesserungen (ERK 2022d). Jedoch ist davon auszugehen, dass der Struktureinfluss im Jahr 2022 noch deutlich größer ausgefallen ist. Denn während der Produktionsindex der gesamten Industrie und der weniger energieintensiven Branchen nur leicht zurückging oder sogar anstieg, war in der energieintensiven Industrie insgesamt und insbesondere in einigen sehr brennstoffintensiven Branchen wie der Grundstoffchemie, der Steine-Erden-Industrie sowie der Metallerzeugung ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen (siehe Abbildung 18 und Tabelle 8). Damit unterscheidet sich die Entwicklung im Jahr 2022 auch deutlich von dem vor allem durch die Covid-19-Pandemie bedingten Rückgang der Wirtschaftsleistung Anfang des Jahres 2020, der in der Gesamtindustrie noch ausgeprägter war als in der energieintensiven Industrie (Abbildung 18). Besonders markant war der Produktionsrückgang bei der Herstellung chemischer Erzeugnisse. Der VCI (2022a) verweist hier basierend auf einer Umfrage nicht nur auf Produktionsdrosselungen im Inland (25 % umgesetzt, 14 % geplant), sondern auch auf Produktionsverschiebungen ins Ausland (8 % umgesetzt, 15 % geplant). So ist insbesondere die Ammoniakproduktion, die wiederum für die Düngemittelherstellung relevant ist, wegen der stark gestiegenen Gas- und Strompreise im Jahr 2022 im Vergleich zum Vorjahr stark zurückgegangen (VCI 2022b). Auch die Rohstahlproduktion ist im Vergleich zum Vorjahr um 8 % gesunken und mit rund 36,8 Millionen Tonnen auf einen ähnlich niedrigen Wert wie 2020 gefallen. Die im Jahr 2022 beobachteten Produktionsrückgänge infolge der Energiepreiskrise insbesondere in den brennstoffintensiven Branchen dürften damit einen maßgeblichen Anteil an der Reduktion der Treibhausgasemissionen des Industriesektors haben. Auch auf der Ebene einzelner Prozesse innerhalb dieser Branchen dürften insbesondere Produktionsdrosselungen oder Stilllegungen von Anlagen für den beobachteten Rückgang der Energieintensität verantwortlich sein.
- 138 Der durch die beschriebenen Effekte bewirkte Minderungseffekt auf die THG-Emissionen ist allerdings nicht als dauerhaft einzuschätzen, da mit sinkenden Energiepreisen auch ein Wiederanstieg der Produktion zu erwarten ist. Dauerhafte THG-Minderungen aufgrund des Energieintensitätseffektes sind nur dann zu erzielen, wenn die Reduktion der Energieintensität auf technische oder organisatorische Energieeffizienzverbesserungen zurückzuführen ist. Dies könnte im Jahr 2022 insbesondere bei den – überwiegend weniger brennstoffintensiven – Branchen der Fall gewesen sein, bei denen eine Stagnation oder ein leichter Anstieg des Produktionsindex mit einem deutlichen Rückgang der Energieintensität einherging (wie beispielsweise im Fahrzeug- und Maschinenbau; siehe Tabelle 8). Denn laut Befragungsergebnissen vom November 2022 haben im Jahr 2022 gut 90 % der Unternehmen Maßnahmen zur Gaseinsparung ergriffen (ifo Institut 2022). 75 % der Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes, die Erdgas im Produktionsprozess einsetzen, konnten dies ohne Produktionseinschränkungen erreichen. Weitere Einsparpotenziale ohne Produktionsminderungen sehen 39 % der befragten Unternehmen. In welchem Umfang diese Einsparungen auch dauerhaft erhalten bleiben, kann derzeit nicht verlässlich abgeschätzt werden.

Abbildung 19: Vergleich der absoluten Veränderung des Endenergieverbrauchs im Industriesektor in den Jahren 2021 und 2022 und die anteilige Veränderung im Energiemix in Prozentpunkten



Eigene Darstellung basierend auf AGEB (2023b) und AGEB (2023a).

139 Der dritte prägende Einflussfaktor auf die Emissionsentwicklung ist die Emissionsintensität, definiert als die auf den Energieverbrauch bezogenen THG-Emissionen. Von dieser ging in der Vergangenheit ebenfalls ein leicht mindernder Einfluss auf die brennstoffbedingten THG-Emissionen der Industrie aus, der durch den Wechsel zu emissionsärmeren Energieträgern (insbesondere Erdgas) bedingt war (siehe hierzu ERK (2022d), Kapitel 2.3.2). Im Jahr 2022 war jedoch ein gegenläufiger Effekt zu beobachten. Insgesamt ist der Endenergieverbrauch im Vergleich zum Vorjahr mit -12 % überproportional gesunken, insbesondere gilt dies für Strom (-12,5 %) und Erdgas (-19,2 %) (siehe Tabelle 8 und Abbildung 19). Vor allem Erdgas dürfte teilweise durch die Energieträger Heizöl und Kohle substituiert worden sein, deren Verbrauch gegenüber 2021 kaum zurückging (siehe Abbildung 19), sowie teilweise auch durch Strom. So ist im Jahr 2022 der Verbrauch von Kohle und Kohleprodukten im Industriesektor gegenüber dem Vorjahr um 2,1 % gestiegen (AGEB 2023b; 2023a)²⁷, Verglichen mit der Energiewirtschaft ist damit die Bedeutung eines emissionssteigernd wirkenden Energieträgerwechsels in der Industrie insgesamt allerdings eher gering (siehe hierzu auch Abbildung 15 im Abschnitt zu Energiewirtschaft). In der Metallerzeugung, also bei kohlebasierten Anwendungen wie der Stahlproduktion, stieg der Einsatz von Steinkohle (+ 9,9 %) sowie von Kokereigas (+20,26 %) (AGEB 2023b; 2023a). Der Erdgasverbrauch ging dort gegenüber dem Vorjahr sogar um knapp 79 % zurück. Darüber hinaus ist kein signifikanter Wechsel hin zu Energieträgern mit höheren spezifischen Emissionen zu erkennen. Dieser Eindruck spiegelt sich ansatzweise auch in einer nicht repräsentativen Umfrage des Bundesverbandes der deutschen Industrie e.V. (BDI) im August und September des Jahres 2022 wider. 593 Unternehmen aus unterschiedlichen Industriebranchen haben hier Angaben zum Brennstoffträgerwechsel gemacht (BDI

2022). 10 % der befragten Unternehmen gaben in dieser Umfrage an, von Erdgas auf Heizöl umgestiegen zu sein, 5 % der Unternehmen von Erdgas auf Strom. Zudem gaben 28 % an, mittelfristig einen Brennstoffträgerwechsel zu planen. 37 % haben dies nicht vor und bleiben auf Erdgas angewiesen. Damit dürfte der Einfluss des Energieträgerwechsels auf die THG-Emissionen im Jahr 2022 in der Industrie eher gering ausgefallen sein und aufgrund der vorwiegend durchgeführten Substitution von Erdgas durch Heizöl und Kohle tendenziell emissionssteigernd gewirkt haben.

- 140 Abschließend lässt sich also vermuten, dass der für den Sektor Industrie berechnete starke Rückgang der THG-Emissionen im Jahr 2022 um 19,1 Mt CO₂-Äq. (-10,4 %) im Wesentlichen auf energiepreisbedingte Produktionsrückgänge in der energieintensiven Industrie zurückgeführt werden kann. Denn während die gesamte Produktion nur leicht gesunken ist, hat insbesondere die energieintensive Industrie ihren Ausstoß stark verringert. Hieraus ergibt sich rechnerisch ein deutlicher Rückgang der Energieintensität der deutschen Industrie, vermutlich verstärkt durch einen ähnlichen Effekt auf Ebene der Prozesse. Beide Effekte mindern die Emissionen des Industriesektors. Im Gegenzug hat sich der Energiemix der Industrie von Gas und Strom zu Kohle und Öl verlagert, was die Emissionsintensität erhöht haben dürfte, aber bei weitem nicht in einem Umfang, der die emissionsenkend wirkenden Effekte hätte kompensieren können. Sollte sich die energieintensive Industrie in Deutschland rasch wieder erholen, könnten die im Jahr 2022 erzielten strukturell bedingten Emissionsrückgänge wieder verloren gehen und sich damit als nur von temporärer Natur erweisen. Auch industriepolitische Zielsetzungen wie beispielsweise im Green Industrial Plan, die auf eine verstärkte inländische Produktion energieintensiver Produkte abzielen, sollten aus Sicht der KSG-Ziele durch Maßnahmen zu einer Forcierung der technisch-organisatorisch bedingten Energieeinsparung und Treibhausgasminderung in der Industrie verknüpft werden.

Gebäude

- 141 Gegenüber 2021 sind die Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors um 5,3 % (6,3 Mt CO₂-Äq.) gesunken. Dennoch hat der Sektor im Jahr 2022 laut der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres des Umweltbundesamtes mit 111,7 Mt CO₂-Äq. die jährlich zulässigen Emissionsmengen von 107,4 Mt CO₂-Äq. um 4,6 Mt CO₂-Äq. überschritten. Damit hat der Sektor das dritte Mal in Folge die jährlich zugelassene Emissionsmenge verfehlt. Wie in den vorherigen Berichten des Expertenrates (ERK 2021; 2022b) können auch für das Jahr 2022 Faktoren identifiziert werden, die die Entwicklung der THG-Emissionen in diesem Sektor maßgeblich geprägt haben.
- 142 Die Verfehlung des Klimaziels im Gebäudesektor um 4,3 Mt CO₂-Äq. wäre ohne verschiedene für die Emissionsentwicklung günstige Effekte noch deutlich größer ausgefallen. Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Veränderung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr waren Lagereffekte, Witterungseffekte und ein Rückgang der Gasnachfrage³¹ infolge des Krieges in der Ukraine, die höher ausfiel, als sich allein aus Witterungseffekten ableiten lässt. Abbildung 20 stellt die einzelnen Einflussfaktoren dar. Im Folgenden werden diese Faktoren detaillierter aufgeschlüsselt und analysiert. Als Vergleichsgröße ist dargestellt, wie hoch die THG-Emissionen bei

³¹ In Abbildung 20 werden nur die Einsparungen von Treibhausgasemissionen aufgrund von Heizverhalten von Haushalten und GHD dargestellt, die Erdgas nutzen. Für die Entwicklung der Gasnachfrage in 2022 liegen Studien vor, die die Einsparungen durch Verhaltensänderungen quantifizieren. Prinzipiell ist jedoch vorstellbar, dass Nutzer*innen von Heizöl ihre Nachfrage ebenfalls reduziert haben.

einer Witterung gelegen hätten, die dem Schnitt der letzten 20 Jahre entspricht („Normjahr“). Unter dieser Betrachtung würden die THG-Emissionen in etwa 8–9 Mt CO₂-Äq höher liegen³².

Abbildung 20: Ursachen für die Veränderung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2022 gegenüber 2021 (Werte in Mt CO₂-Äq.)



Eigene Darstellung auf Basis eigener Berechnungen. Die Abschätzung der Gaseinsparungen durch Heizverhalten basiert auf Ruhnau et al. (2022), Roth und Schill (2022) und Roth und Schmidt (2022). Die Abbildung zeigt die Veränderung der THG-Emissionen im Jahr 2022 im Vergleich zu 2021 anhand verschiedener Effekte im Jahr 2022. Für die Effekte wird eine Effektspannbreite angegeben. Die Höhe der grauen Balken stellt jeweils die verbleibende (hypothetische) Emissionsmenge nach Abzug oder Addition der jeweiligen Effekte dar. Bei den Effektspannbreiten werden Mittelwerte zur Verrechnung verwendet.

143 Aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Abschätzung des Effekts der Veränderung der Lagerbestände auf die THG-Emissionen werden diese in Abbildung 20 im Term „Rest“ integriert. Das positive Vorzeichen und der Umfang von 10,5 Mt CO₂-Äq. dieser Restgröße deuten darauf hin, dass die Lagerbestände von Heizöl tatsächlich zugenommen haben. Veränderungen bei den **Lagerbeständen von leichtem Heizöl** wirken sich stark auf die THG-Emissionen im Gebäudesektor aus.³³ Das Ausmaß der Veränderung kann jedoch mangels Datenverfügbarkeit noch nicht quantifiziert werden. Dies trifft insbesondere im Jahr 2022 zu, im Gegensatz zu anderen Jahren, in denen zumindest das Vorzeichen

³² Hierfür wurde der Schnitt der Gradtagszahlen des BDEW (2022) der Jahre 2002–2021 von 3470 verwendet, der ca. 10 % höher liegt als der Wert im Jahr 2022. Von der Klimakorrektur ausgenommen sind mobile Verbraucher, das Militär sowie der Warmwasserverbrauch der mit 10–20 % angenommen wurde.

³³ Aufgrund des Absatzprinzips in der Emissionsbilanzierung werden die Emissionen aus der Verbrennung lagerfähiger Güter wie Heizöl dem Jahr zugeordnet, in dem der Brennstoff verkauft wurde (ERK 2023). Die genaue Höhe der Lagerbestände von Heizöl ist nicht bekannt, es existieren jedoch Schätzwerte der AGE.

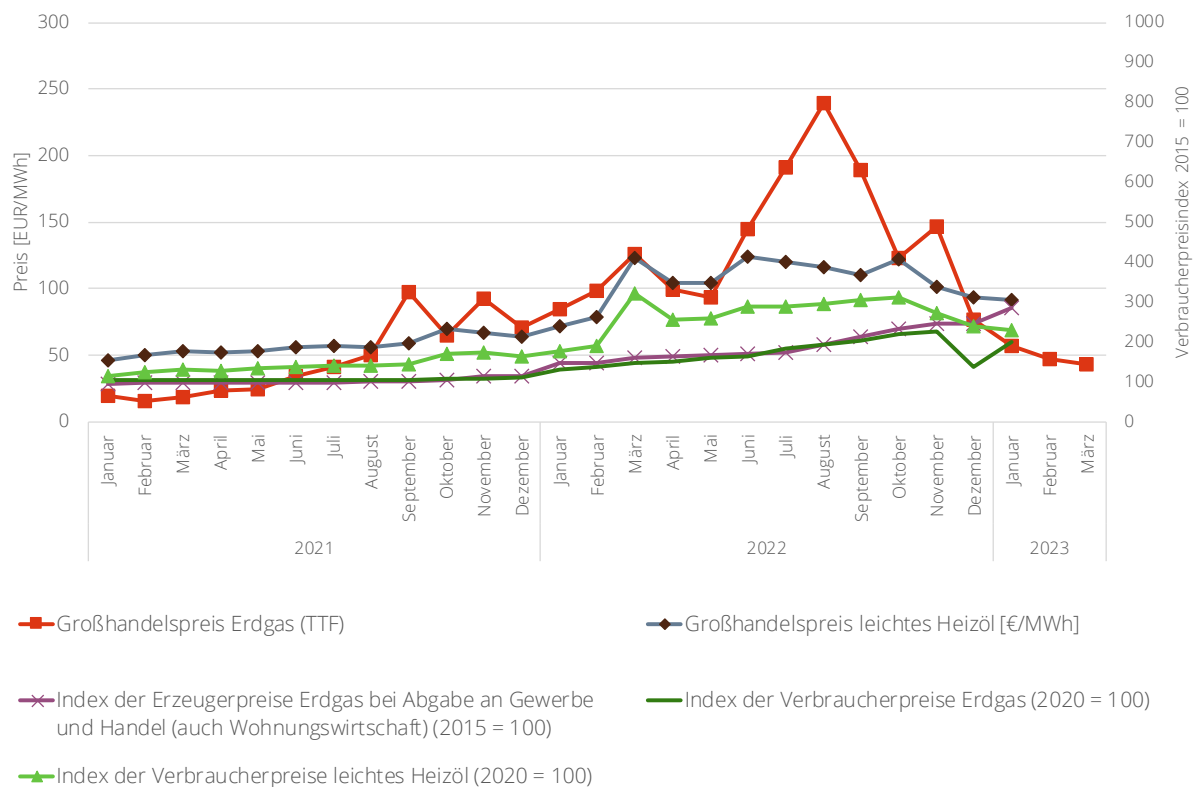
des Effektes unstrittig ist. Prinzipiell könnte aufgrund der stark gestiegenen Heizölpreise im Jahr 2022 von einem emissionsmindernden Effekt auszugehen sein: In Zeiten hoher Preise wird typischerweise ein Teil der Lagerbestände geleert. Die AGEB schätzt basierend auf einer Regressionsgleichung, die auf Monatsdaten für die Jahre 2004–2015 beruht, aufgrund der beobachteten Preisentwicklung beim leichten Heizöl und der Witterung einen Rückgang des Tankfüllstandes von rund 80 % (Dezember 2021) auf 72 % (Dezember 2022). Dabei resultierte laut AGEB ein durch das Modell geschätzter Rückgang des Tankfüllstandes von rund 80 % (Dezember 2021) auf 72 % (Dezember 2022). Dies entspricht einer Menge von 117 PJ bzw. Treibhausgasemissionen von rund 8,7 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022. Wenn in der Realität nun, wie beschrieben, gar kein Abbau, sondern ein Aufbau des Lagerbestands erfolgte, deutet dies auf eine Unterschätzung der Treibhausgasemissionen um mindestens 8,7 Mt CO₂-Äq. (plus den unbekannten Wert des Lagerbestandsaufbaus) nach Absatzprinzip hin.³⁴ Gleichzeitig würde dies einem Rückgang um 7,5 % der THG-Emissionen des Jahres 2021 entsprechen. Diese Annahme wurde laut Aussage der AGEB in der Berechnung der Frühschätzung der Energiebilanz berücksichtigt. Ob dieses Modellergebnis im Jahr 2022 einen guten Schätzwert abbildet, ist aber mit größerer Unsicherheit behaftet, da ebenso gut denkbar ist, dass aus Angst vor Lieferengpässen oder in Erwartung weiter steigender Preise die Tanks im Gegenteil stärker befüllt wurden und damit ein emissionssteigernder Effekt durch die Lagerhaltung eintrat. Daher geht die AGEB im Rahmen einer Expertenschätzung davon aus, dass die Lagerbestände der privaten Haushalte an leichtem Heizöl gegenüber 2021 um ca. 67 PJ zugenommen haben könnten und im GHD-Sektor um etwa 13 PJ. Dies entspräche einer Zunahme von 4,4 Mt CO₂-Äq.

- 144 Das Jahr 2022 zeichnete sich durch eine gegenüber dem Vorjahr **mildere Witterung** und damit einen Rückgang an THG-Emissionen aus. Die mildere Witterung führte – unter Berücksichtigung eines geschätzten Anteils von 80–90 % von Heizwärme aus stationären Feuerungsanlagen – zu einem Rückgang der THG-Emissionen im Gebäudesektor um 10,5–11,8 Mt CO₂-Äq.³⁵ und damit 10 % geringeren THG-Emissionen als im Jahr 2021. Die Witterung ist somit der größte Einzeleffekt bei der Veränderung der THG-Emissionen im Gebäudesektor gegenüber dem Vorjahr.
- 145 Verschiedene Faktoren wirkten sich im Jahr 2022 dämpfend auf die Gasnachfrage aus. Zum einen sind die **Gaspreise** deutlich gestiegen: Im Vergleich zum Jahr 2021 haben sich die Verbraucherpreise für Erdgas im Monatsmittel zwischenzeitlich mehr als verdoppelt, die Großhandelspreise im gleichen Zeitraum sogar etwa mehr als verzehnfacht (Abbildung 21). Auch die Erdölpreise haben sich kräftig erhöht, um mehr als den Faktor drei. Zuletzt sind die Preise wieder etwas gesunken, lagen aber immer noch deutlich über den Vorjahreswerten. Außerdem wurde zur Vermeidung einer Gasmangellage politisch das Ziel gesetzt, 20 % Gas einzusparen (BMWK 2022b), unterstützt durch eine Energiesparkampagne (BMWK 2022c).

³⁴ Annahme Emissionsfaktor leichtes Heizöl von 74 t CO₂/PJ UBA (2022c).

³⁵ Die Temperaturbereinigung wird anhand von Klimafaktoren durchgeführt, die auf gewichteten mittleren Gradtagszahlen des BDEW (2022) basieren (siehe Anhang A.1 in ERK (2022d)).

Abbildung 21: Entwicklung der Großhandels- und Verbraucherpreise von Erdgas und leichtem Heizöl



Eigene Darstellung. Energiepreisindizes und Preise für leichtes Heizöl aus Destatis (2023a) und eigene Berechnungen.

146 Verschiedene ökonometrische Studien zeigen, dass die Gasnachfrage im Jahr 2022 stärker zurückgegangen ist, als aufgrund der mildereren Witterung zu erwarten. Die Studien bestätigen damit die Ergebnisse von Befragungen (Bitkom 2022; YouGov 2022; tado 2022), bei denen jede*r zweite bis dritte Befragte angab, als Reaktion auf die Krise mehr Energie zu sparen und die neben der Befürchtung von Preissteigerungen den Wunsch nach Unabhängigkeit von russischem Gas und damit ethische Beweggründe verdeutlichen. Die temperaturbereinigten **Einsparungen im Gasverbrauch durch Heizverhalten** privater Haushalte und GHD im Laufe des Jahres 2022 aufgrund der Folgen des Krieges in der Ukraine werden auf Werte zwischen 7 bis 11 % geschätzt. Deutliche Schwankungen ergeben sich im Zeitverlauf: Roth und Schill (2022) und Roth und Schmidt (2022) entwickeln eine Methode des maschinellen Lernens zur Vorhersage des Gasverbrauchs auf Basis von Temperaturdaten. Zur Ermittlung der Einsparungen wird der prognostizierte Verbrauch mit dem tatsächlichen Verbrauch verglichen, wobei die monatlichen Einsparungen bei bis zu 7,5 TWh im November 2022 liegen. Insgesamt errechnen die Autoren Einsparungen von rund 28 TWh im Jahr 2022. In Ruhnau et al. (2022) wird auf Basis monatlicher Standardlastprofilaten aus vier Jahren ein multiples Regressionsmodell aufgebaut und die Abweichung des tatsächlichen Verbrauchs berechnet. Temperaturbereinigt liegt die monatliche Gaseinsparung in einem Bereich von bis zu 9,2 TWh im November 2022 (insgesamt 40,3 TWh in 2022). Das theoretische kurzfristige Erdgaseinsparpotenzial wurde von verschiedenen Studien auf 17 bis 28 % pro Jahr beziffert, wie die Metaübersicht von Luderer et al. (2022) zeigt. Im Gebäudesektor wurde ein Einsparpotenzial von 12 % im Mittel vermutet. Bezogen auf die vorläufige Energiebilanz des Jahres 2021 wären dies rund 48 TWh. Der obere Bereich der für das Jahr 2022

errechneten realisierten und temperaturbereinigten Erdgaseinsparungen von Haushalten und GHD von rund 28–40 TWh liegt somit noch unterhalb der Potenzialabschätzung von rund 48 TWh. Die realisierten temperaturbereinigten Einsparungen entsprechen einer Ersparnis von 5,6–8,1 Mt CO₂-Äq.³⁶ In der Frühschätzung der Energiebilanz 2022 im Vergleich zur endgültigen Energiebilanz 2021 ist der Erdgasverbrauch von Haushalten um 6,5 PJ in GHD um 2,4 PJ reduziert (dies entspricht einem Rückgang um 8,9 Mt CO₂-Äq.). Hierbei ist zu beachten, dass dieser Rückgang den Rückgang durch eine milde Witterung bereits beinhaltet. Tendenziell könnte daher der Einspareffekt durch Heizverhalten in der Berechnung der Emissionsdaten unterschätzt sein³⁷.

- 147 Nach Schätzungen des statistischen Bundesamts nahm die **Bevölkerung** im Jahr 2022 um rund 1 Million von 83,2 Millionen im Jahr 2021 auf 84,3 Millionen im Jahr 2022 deutlich zu (Destatis 2023b). Die Quantifizierung der damit verbundenen zusätzlichen Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor ist nur grob möglich. Überschlägige Abschätzungen zeigen jedoch, dass der Effekt kurzfristig eher vernachlässigbar ist und etwa in einer Größenordnung von 0,1 bis 0,5 Mt CO₂-Äq.³⁸ liegen könnte.
- 148 Die **Änderungen im Energieträgermix** waren im Jahr 2022 gering. Im Jahr 2022 ist der Anteil von Ölheizungen gegenüber 2021 lediglich um 0,1 Prozentpunkte und der Anteil von Gasheizungen um 0,2 Prozentpunkte zugunsten von Wärmepumpen (+0,2 Prozentpunkte) und Fernwärme (+0,1 Prozentpunkte) zurückgegangen. Dies entspräche einem Rückgang der THG-Emissionen im Gebäudesektor von weniger als 1 Mt CO₂-Äq. Die Veränderungen im Energieträgermix sind in Abbildung 20 im Term „Rest“ integriert.
- 149 Die Verfehlung des Klimaziels im Gebäudesektor um 4,3 Mt CO₂-Äq. wäre ohne verschiedene Effekte noch deutlich größer ausgefallen. Die errechneten Einsparungen gegenüber dem Jahr 2021 aufgrund der insgesamt milden Witterung (Reduktion um rund 11 Mt CO₂-Äq.) im Jahr 2022 und Einsparungen im Heizverhalten aufgrund der Folgen des Krieges in der Ukraine (rund 7 Mt CO₂-Äq.) summieren sich auf ca. 16–20 Mt CO₂-Äq. Große Unsicherheit besteht bezüglich des Effektes von leichtem Heizöl im Jahr 2022. Unter Berücksichtigung der beiden emissionsmindernden Effekte liegt die Vermutung nahe, dass die Lagerbestände aufgebaut wurden. Dies steht im Widerspruch zu der Annahme der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres, bei der von einem Abbau der Lagerbestände ausgegangen wird. In der Struktur des Heizsystembestands hat sich an der Dominanz fossiler Heizungen von mehr als 75 % wenig geändert. Trotz des stark anwachsenden Marktanteils von Wärmepumpen waren Gasheizungen auch bei den neu eingebauten Heizungen die mit Abstand meistverkaufte Heiztechnologie.

³⁶ Annahme Emissionsfaktor Erdgas 55,8 t CO₂/TJ UBA (2022c).

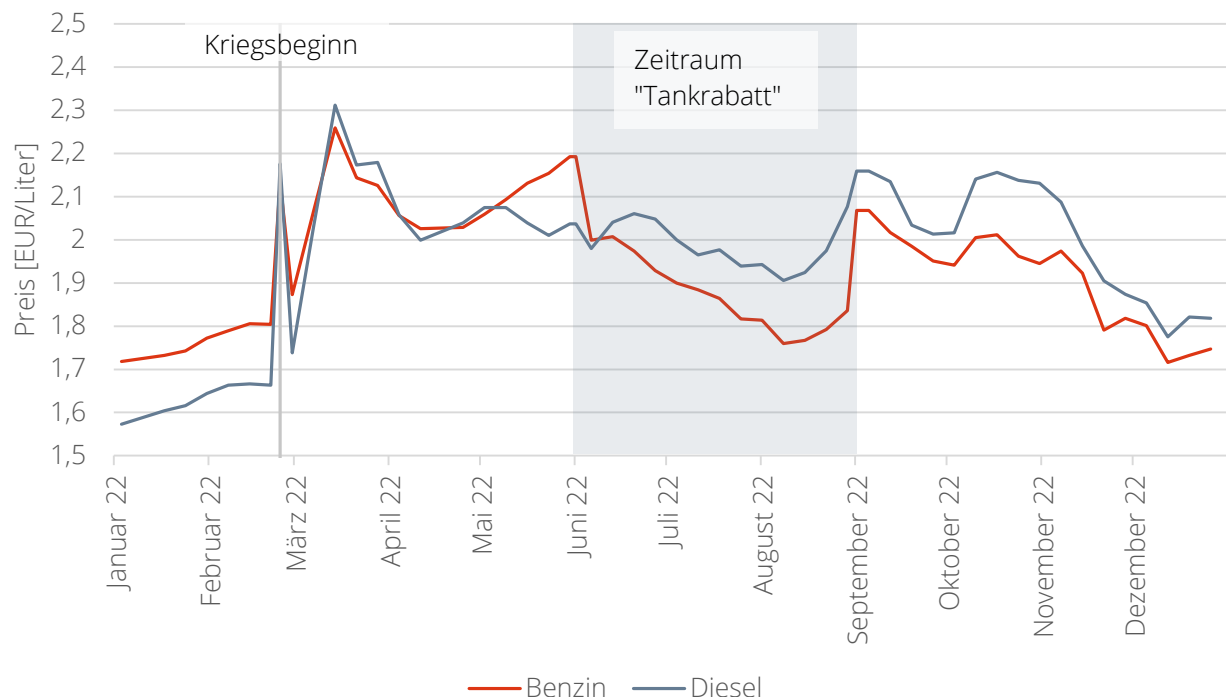
³⁷ Auf Nachfrage bei der AGEB konnte bestätigt werden, dass eine direkte Berücksichtigung der Einsparpelle (Absenkung der Raumtemperatur um ein Grad) im Erklärungsansatz nicht enthalten ist. Es wird jedoch auch darauf hingewiesen, dass die Preiseffekte vermutlich auch dazu geführt haben dürften, dass Teilflächen in gasbeheizten Wohnungen gar nicht oder nur sehr eingeschränkt beheizt wurden.

³⁸ Zugrunde liegt eine überschlägige Abschätzung, die von 10–30 m² Wohnfläche pro Kopf und einem spezifischen Energiebedarf von 65 kWh/m² sowie den Emissionen durch die Energieträger Gas und leichtem Heizöl ausgeht.

Verkehr

- 150 Auch auf die THG-Emissionen im Verkehrssektor wirkten im Jahr 2022 unterschiedliche Sondereffekte, wie die gestiegenen Treibstoffpreise und die temporär wirkenden politischen Ausgleichsmaßnahmen, wie der sogenannte „Tankrabatt“ und das 9€-Ticket. Eine Analyse einzelner Effekte auf die Emissionsentwicklung wird durch diese sich überlagernden bzw. in ihrer Wirkrichtung konträren Effekte erschwert. Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Entwicklungen im Detail beschrieben. Da die THG-Emissionen im Verkehrssektor zu 98 % vom Straßenverkehr verursacht werden, wird dabei ein Fokus auf die Entwicklungen im Straßenverkehr im Jahr 2022 gelegt.
- 151 Aufgrund der geopolitischen Entwicklungen war im Verkehrssektor, wie in den anderen Sektoren, eine Erhöhung der Energiepreise zu beobachten. In Abbildung 22 sind die Preise je Liter Benzin und Diesel in Deutschland für das Jahr 2022 abgebildet. Zunächst stiegen die Preise nach Kriegsbeginn in der Ukraine sprunghaft an, reduzierten sich Anfang März temporär wieder und pendelten sich anschließend über Vorkriegsniveau ein. Diese Preissteigerung wurde im Zeitraum von Juni bis einschließlich August durch den sogenannten „Tankrabatt“ mit einer Senkung um rund 30 ct/l für Benzin und 14 ct/l für Diesel (Bundesregierung 2023b) zeitlich begrenzt reduziert (farblich hinterlegter Zeitabschnitt in Abbildung 22). Im Anschluss stiegen die Preise erneut an. Der Preis für Benzin kehrte am Ende des Jahres auf Vorkriegsniveau zurück, wohingegen der Dieselpreis auf einem höheren Niveau verblieb. Insgesamt wäre ein emissionsmindernder Einfluss durch die erhöhten Preise erwartbar.

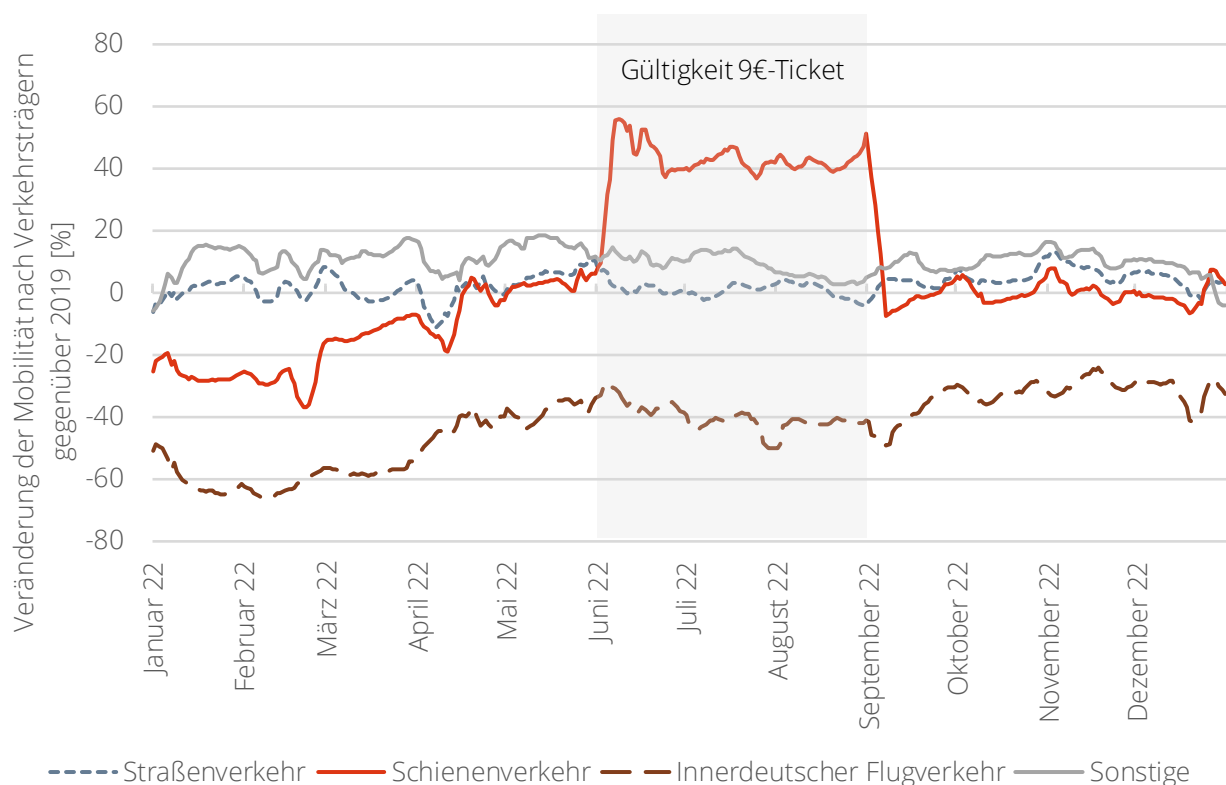
Abbildung 22: Entwicklung der Preise für Benzin und Diesel im Jahr 2022



Eigene Darstellung. Daten: (Europäische Kommission 2023).

152 Im Jahr 2022 erfolgte im Gegensatz zu den Jahren 2020 und 2021 keine Reduzierung der Fahrleistung im Personenverkehr mehr aufgrund der pandemiebedingten Eindämmungsmaßnahmen. Die Mobilität im Personenverkehr lag wieder auf dem Vor-Pandemie-Niveau von 2019 (siehe Abbildung 23). Weiterhin unter dem Niveau von 2019 lag der innerdeutsche Flugverkehr, allerdings ist der dadurch verursachte Anteil der THG-Emissionen im Verkehrssektor gering. Das zeitgleich zur Reduzierung der Spritpreise (Tankrabbat) eingeführte deutschlandweite 9€-Ticket hatte einen temporären, nicht anhaltenden Effekt für die Dauer des Tickets in der Veränderung der Mobilität im Schienenverkehr. Dieser Effekt ist in Abbildung 23 mit einem Anstieg der Mobilität von über 40 % im Vergleich zum Jahr 2019 deutlich erkennbar. Eine Verschiebung weg von den anderen Verkehrsträgern in dem Zeitraum des 9€-Tickets und damit eine Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs von der Straße auf die Schiene ist aus den dargestellten Daten in Abbildung 23 nicht erkennbar

Abbildung 23: Veränderung der personenbezogenen Mobilität nach Verkehrsträgern in 2022 gegenüber 2019 in Prozent



Eigene Darstellung. Ab 30 Kilometern Distanz, 7 Tage-Durchschnitt. Daten: Berechnungen des Statistischen Bundesamts basierend auf Mobilfunkdaten Teralytics (Destatis 2022c).

153 In der Entwicklung des Bestands an fossilen Fahrzeugen kam es zu keiner Trendänderung im Jahr 2022 (siehe Abbildung 39). Der Bestand an fossilen Fahrzeugen von 48 Millionen ging nur marginal um rund 173 000 Fahrzeuge (0,36 %) im Vergleich zum Jahr 2021 zurück. Der Bestand an Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb nahm im Jahr 2022 um etwa 400 000 Fahrzeuge zu, befindet sich allerdings weiterhin auf einem niedrigen Niveau im Vergleich zu den politischen Zielen und Szenarien (siehe

Abbildung 38) und im Vergleich zum Gesamtbestand (2 %). Der Bestand aller Fahrzeuge ist demnach im Jahr 2022 leicht um rund 222 000 (0,5 %) Fahrzeuge angestiegen.

- 154 Insgesamt kam es im Jahr 2022 im Verkehrssektor zu verschiedenen Sondereffekten, wie den gestiegenen Kraftstoffpreisen und den temporär wirkenden politischen Ausgleichsmaßnahmen des sogenannten „Tankrabatts“ und des 9€-Tickets, die teilweise in unterschiedliche Richtung wirkten. Die Mobilität im Personenverkehr lag im Jahr 2022 nach den von der Covid-19-Pandemie beeinflussten Jahren wieder auf Vor-Pandemie-Niveau des Jahres 2019. Der Bestand an fossilen Fahrzeugen hat sich nur marginal reduziert, die Elektromobilität folgte dem Trend der Jahre zuvor und nahm leicht zu, bewegt sich aber anteilig weiterhin auf einem sehr niedrigen Niveau im Vergleich zum fossilen Bestand. Der Bestand aller Fahrzeuge nahm leicht zu. Es ist daher keine Trendänderung der THG-Emissionen im Verkehr im Jahr 2022 erkennbar. Die THG-Emissionen stiegen im zweiten Jahr in Folge um 1,7 Mt CO₂-Äq. im Vergleich zum Vorjahr auf 149 Mt CO₂-Äq.³⁹ an (siehe Kapitel 5.1).

6.2 Betrachtung der Entwicklung wesentlicher Indikatoren

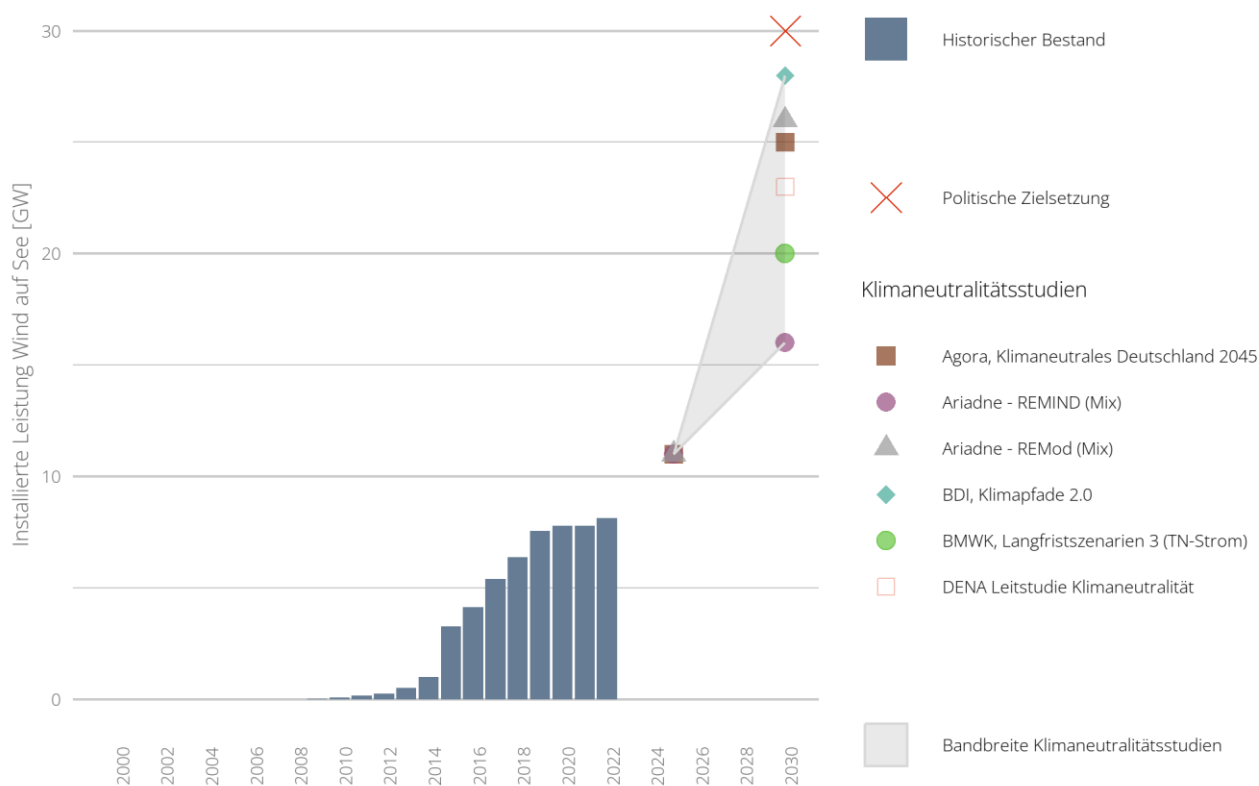
- 155 In seinem Zweijahresgutachten hat der Expertenrat die Entwicklung wesentlicher Indikatoren mit Blick auf die Zielerreichung 2030 betrachtet (ERK 2022d). Im Folgenden wird die Entwicklung dieser Indikatoren im Jahr 2022 dargestellt und mit Blick auf die Zielsetzungen für das Jahr 2030 eingeordnet. Dabei konzentrieren sich die Ausführungen auf die großen emittierenden Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr, da hier die größten Einflüsse auf die Zielerreichung in 2030 zu erwarten sind. Eine Weiterentwicklung der Trendanalyse über die Aktualisierung der jeweils neuesten Emissionsdaten aus der jüngsten Berechnung der Emissionsdaten hinweg, wird in diesem Bericht nicht vorgenommen, sondern erfolgt immer in den Zweijahresgutachten des Expertenrats.

6.2.1 Energiewirtschaft

- 156 Abbildung 24 bis Abbildung 26 zeigen die installierte Leistung von Wind auf See, Wind auf Land und Photovoltaik im zeitlichen Verlauf. Die Abbildungen stellen die historische Entwicklung des Bestandes sowie die politischen Ziele des Osterpakets dar (BMWK 2022g) und die Werte der Klimaneutralitätsstudien für die Jahre 2025 und 2030. Die installierte Leistung von Wind auf See hat im Jahr 2022 zwar leicht zugenommen (4,4 %), nachdem sie davor nahezu stagnierte. Um das politische Ziel aus dem Osterpaket (BMWK 2022g) von 30 GW im Jahr 2030 zu erreichen, müsste die Zubaurate in den nächsten Jahren aber deutlich steigen.

³⁹ Im Verkehrssektor wurde nach dem 15.03.2023 eine Untererfassung von 0,6 Mt CO₂-Äq. im Rahmen einer Validierungsrechnung festgestellt, die Emissionsdaten für den Sektor Verkehr liegen demnach 0,6 Mt CO₂-Äq. über dem vom Umweltbundesamt berichteten Wert.

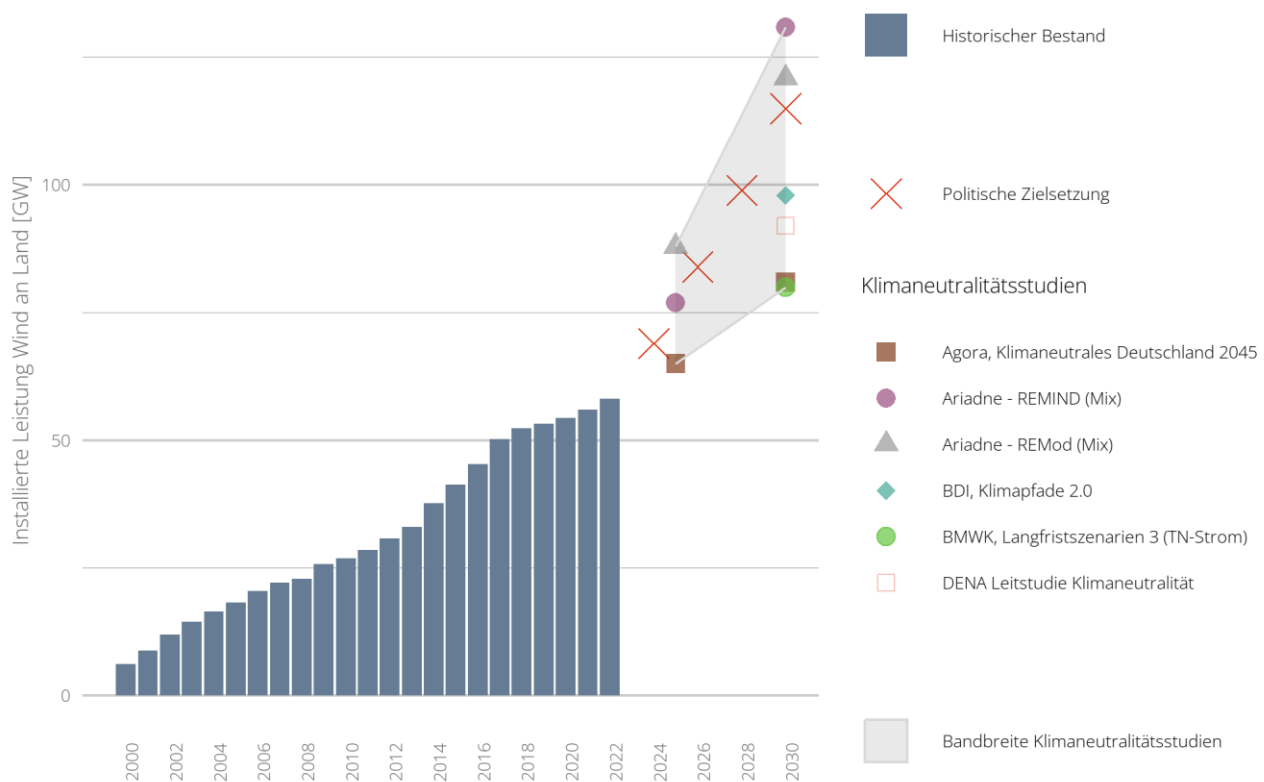
Abbildung 24: Entwicklung der installierten Leistung von Wind auf See im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von BMWK und AGEE-Stat (2023) und der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Werte für 2022 sind vorläufige Werte von AGEE-Stat (2023). Das politische Ziel wurde dem Osterpaket (BMWK 2022g) entnommen.

157 Die installierte Leistung von Wind an Land stieg im Jahr 2022 um netto 2,1 GW (3,8 %) auf 58,2 GW. Damit liegt sie leicht über dem Ausbauziel von 57 GW für das Jahr 2022 aus dem EEG 2021. Um das Ziel von 69 GW für das Jahr 2024 aus dem EEG 2023 zu erreichen, müsste in den nächsten beiden Jahren im Mittel jeweils 5,4 GW zugebaut werden, was mehr als dem Doppelten der Zubau-Rate des letzten Jahres entspricht.

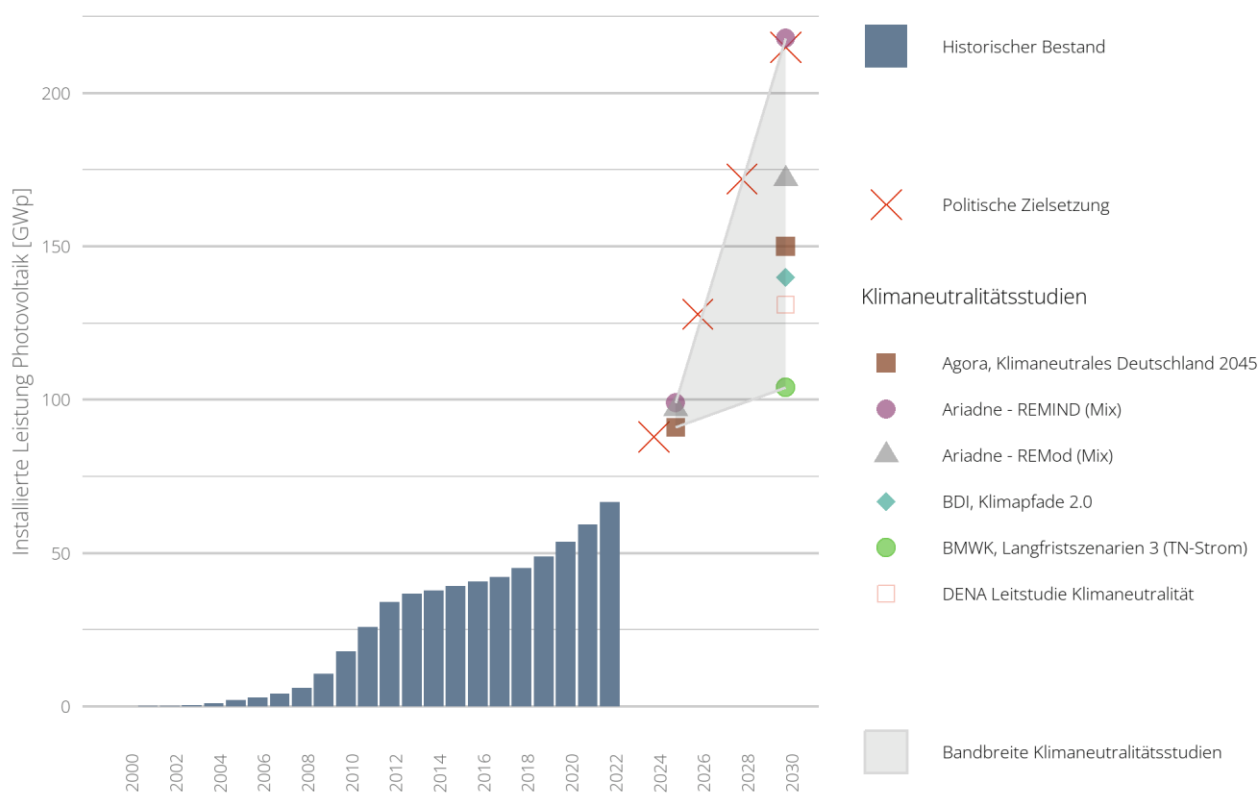
Abbildung 25: Entwicklung der installierten Leistung von Wind an Land im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von BMWK und AGEE-Stat (2023) und der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Werte für 2022 sind vorläufige Werte von (AGEE-Stat 2023). Die politischen Ziele wurden dem Osterpaket (BMWK 2022g) und dem EEG 2023 (BfJ 2023) entnommen.

158 Der Zubau an installierter Leistung von Photovoltaik betrug im Jahr 2022 netto 7,2 GW (12,1 %). Damit stieg die installierte Leistung auf 66,6 GW, was über dem Ausbauziel aus dem EEG 2021 für das Jahr 2022 von 63 GW liegt. Um das Ziel aus dem EEG 2023 für das Jahr 2024 von 88 GW zu erreichen, müsste die Zubaurate auf jährlich im Mittel knapp 11 GW steigen. Im Monitoringbericht der Bundesregierung zum Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich (BMWK 2022e) wird die aktuelle Zubaudynamik an installierter Leistung als nicht ausreichend bewertet, um auf den Zielpfad des EEG 2023 einzuschwenken.

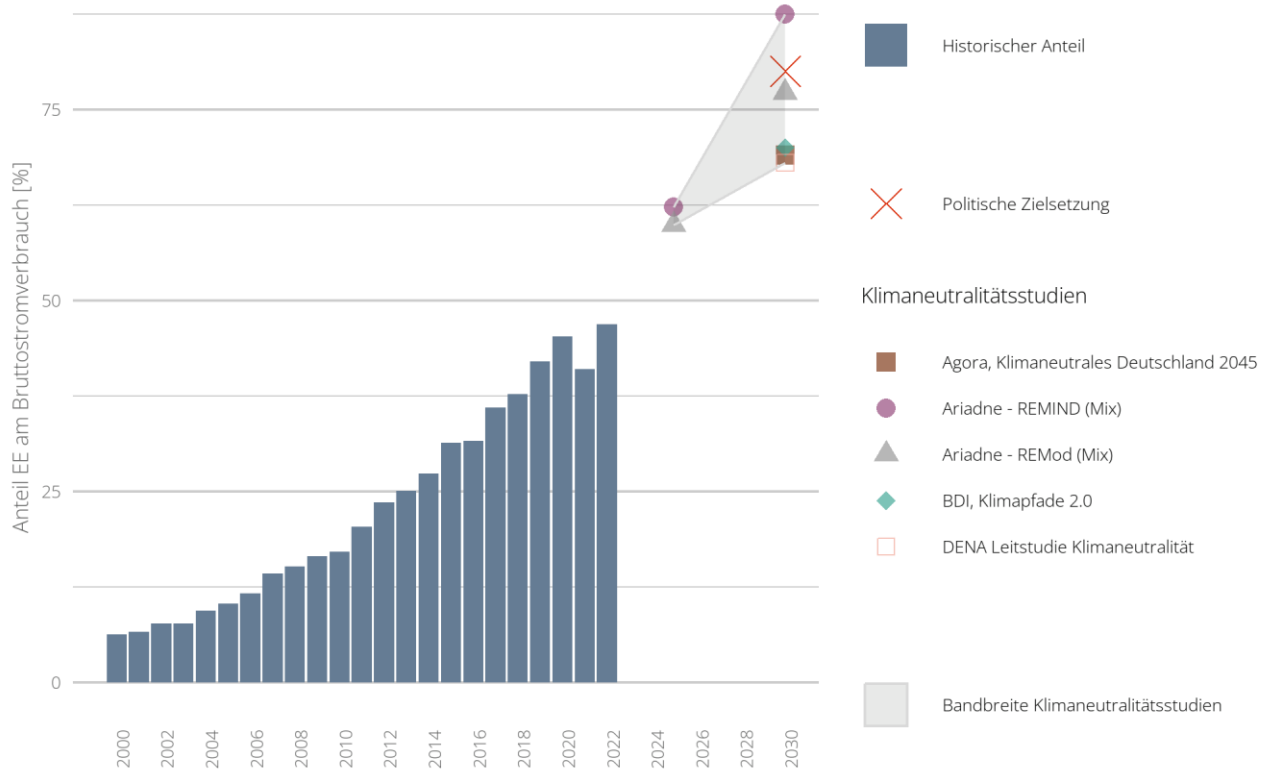
Abbildung 26: Entwicklung der installierten Leistung von Photovoltaik im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von BMWK und AGEE-Stat (2023) und der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Werte für 2022 sind vorläufige Werte von (AGEE-Stat 2023). Die politischen Ziele wurden dem Osterpaket (BMWK 2022g) und dem EEG 2023 (BfJ 2023) entnommen.

159 Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Bruttostromverbrauch stieg im Jahr 2022 wieder leicht an (auf 46,9 %), nachdem im Vorjahr vor allem witterungsbedingt ein Rückgang zu verzeichnen war (Abbildung 27). Ziel der Bundesregierung ist laut Koalitionsvertrag eine Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energieträger am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf 80 % (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021).

Abbildung 27: Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energieträger am Bruttostromverbrauch im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien

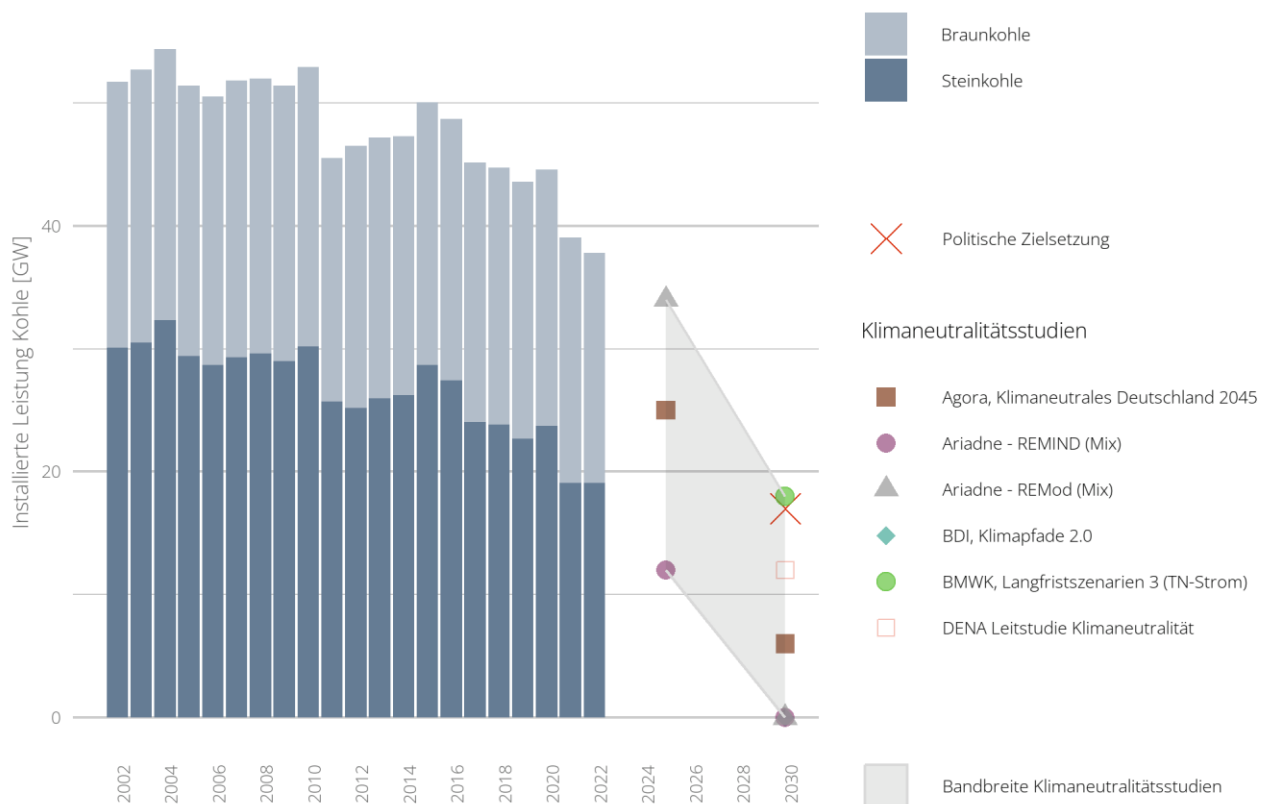


Eigene Darstellung auf Basis von BMWK und AGEE-Stat (2023) und (BDEW 2022) der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel wurde dem Koalitionsvertrag (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021) entnommen.

160 Die installierte Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken ist im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr um 1,08 GW (3 %) gesunken (Abbildung 28). Dabei beträgt der Rückgang an installierter Leistung bei Braunkohlekraftwerken 1,03 GW und der Rückgang an installierter Leistung bei Steinkohlekraftwerken 0,05 GW. Der nur leichte Rückgang lässt sich auf das Ersatzkraftwerkebereithaltungsgesetz zurückführen, wodurch Braun- und Steinkohlekraftwerke mit einer Leistung von insgesamt 6,4 GW wieder an den Markt zurückkehren konnten. Die politische Zielsetzung aus dem Kohleverstromungsbeendigungsgesetz für das Jahr 2030 befindet sich mit einem Ziel von insgesamt 17 GW⁴⁰ installierter Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken am oberen Ende der Bandbreite der Klimaneutralitätsstudien.

⁴⁰ Im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz ist für das Jahr 2030 eine verbleibende Nettonennleistung für Steinkohleanlagen von 8 GW und für Braunkohleanlagen von 9 GW festgeschrieben.

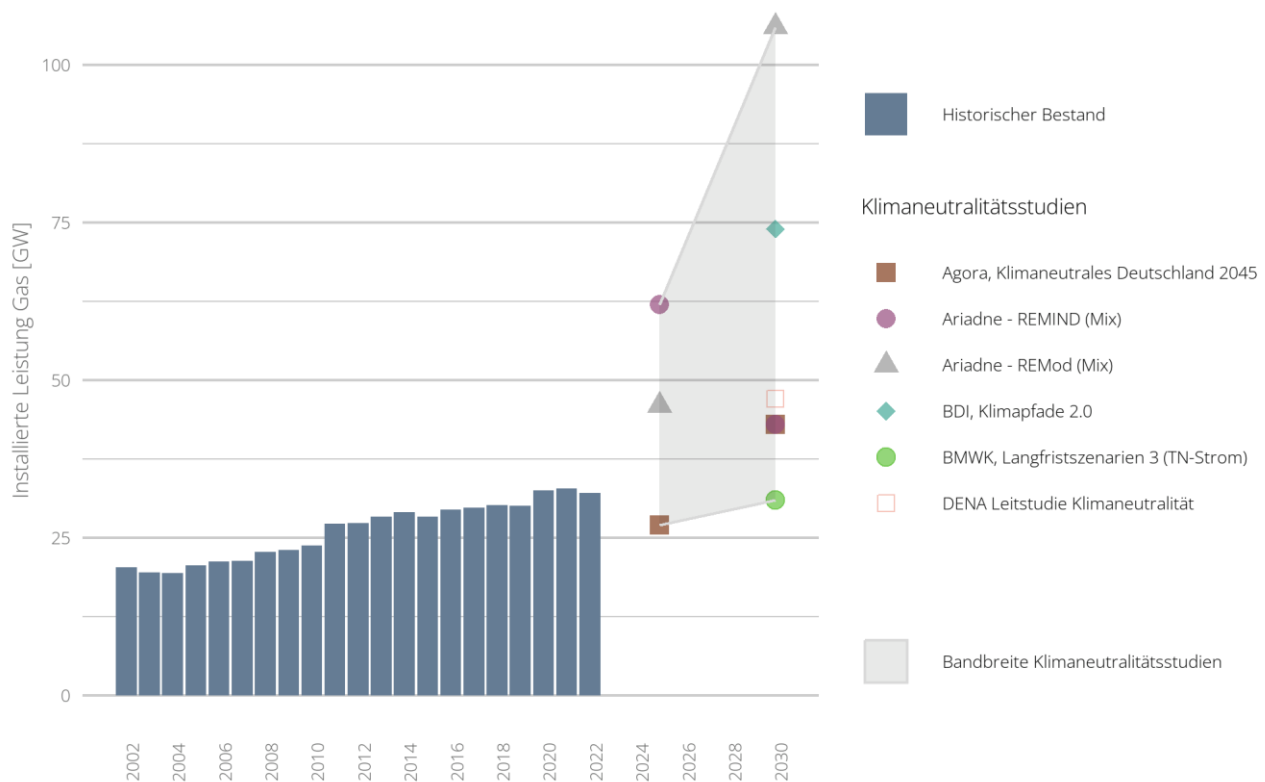
Abbildung 28: Entwicklung der installierten Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von ISE (und der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel wurde dem Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (Bfj 2021) entnommen.

161 Die installierte Leistung von Erdgas ist im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr um 0,7 GW gesunken. Die Klimaneutralitätsstudien weisen für das Jahr 2030 eine Bandbreite von 31 bis 152 GW als Zielvorstellung auf. Dabei bezieht sich die Bandbreite der Klimaneutralitätsstudien nicht nur auf die installierte Leistung von Erdgas, sondern beinhaltet auch den Hochlauf von Wasserstoff.

Abbildung 29: Entwicklung der installierten Leistung von Erdgas im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien für Gase und Wasserstoff

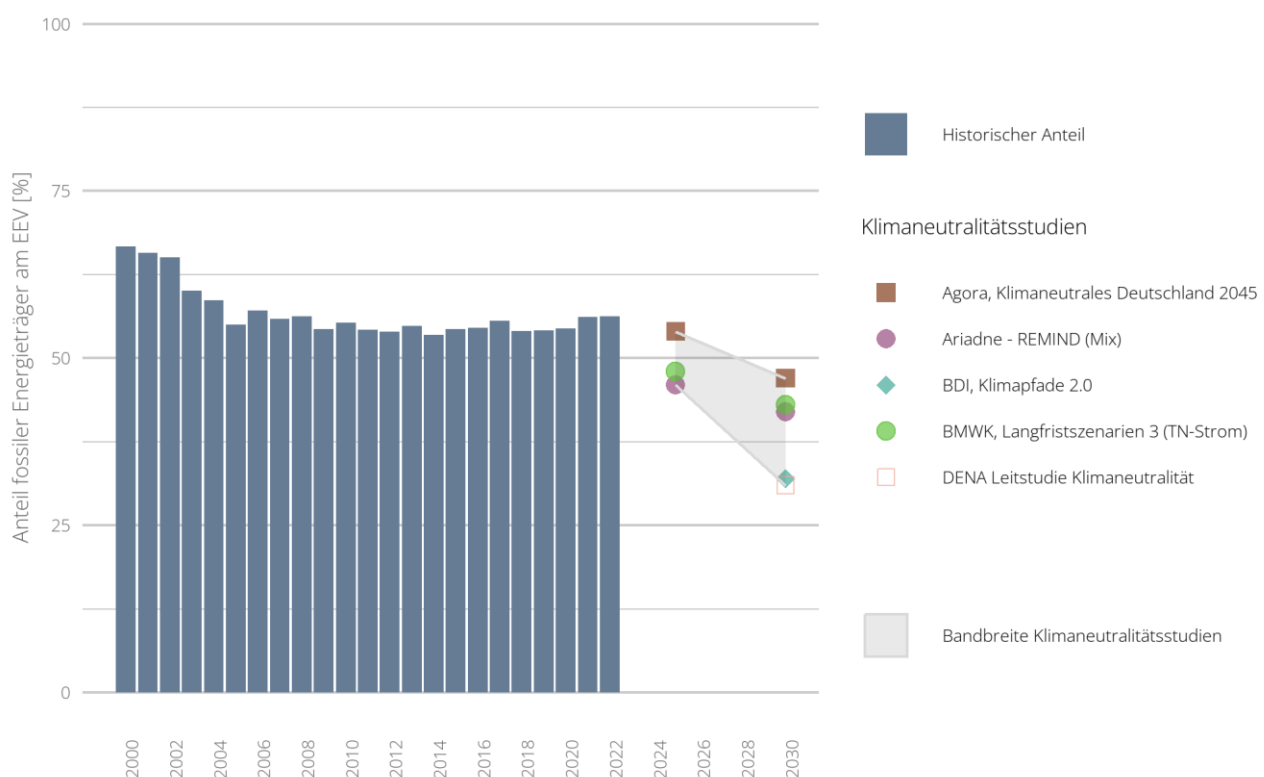


Eigene Darstellung auf Basis von ISE (und der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien.

6.2.2 Industrie

162 Im Folgenden werden für den Industriesektor der Anteil der fossilen Energieträger am Endenergieverbrauch, die absoluten Werte der fossilen Energieträger des Endenergieverbrauchs, der Anteil von Strom am Endenergieverbrauch und der Anteil von Erdgas am Endenergieverbrauch dargestellt (siehe Abbildung 30 bis Abbildung 33). Die Abbildungen zeigen die historische Entwicklung der Anteile der jeweiligen Energieträger am Endenergieverbrauch der Industrie und die entsprechenden Werte verschiedener Klimaneutralitätsstudien für die Jahre 2025 und 2030.

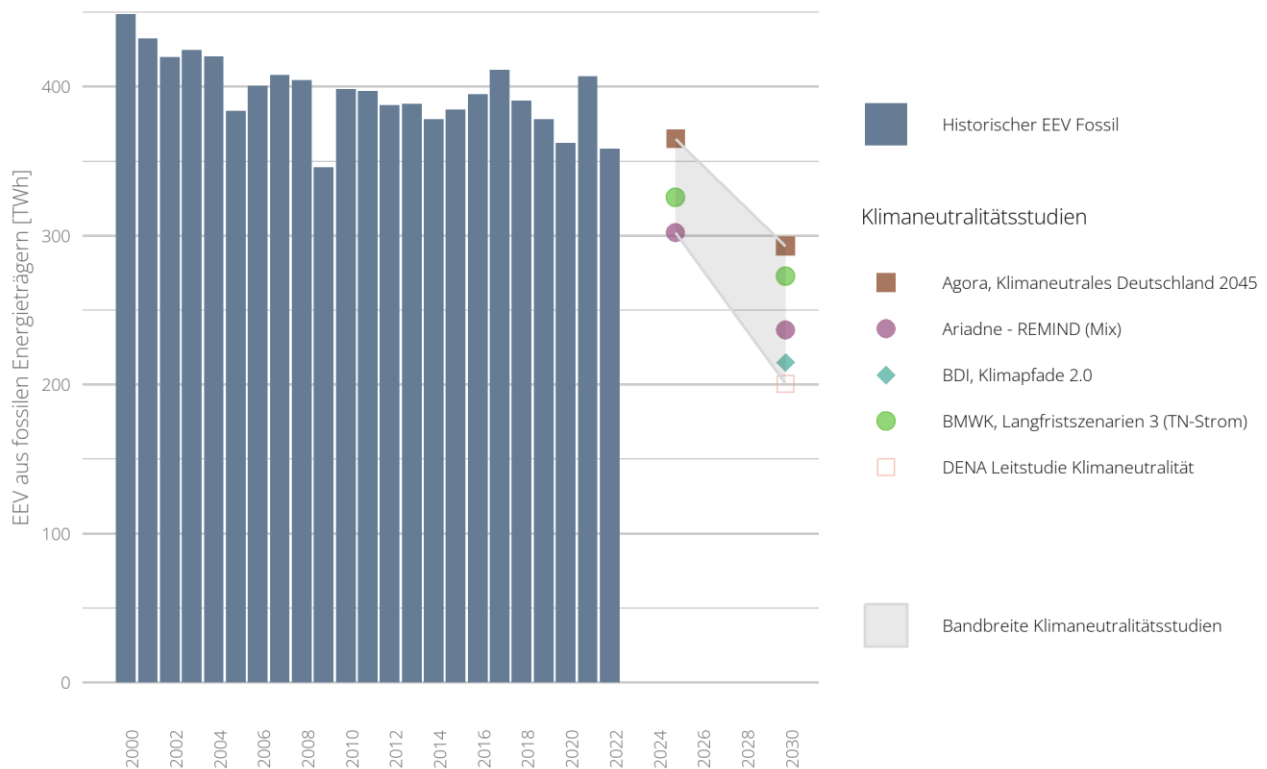
Abbildung 30: Entwicklung des Anteils der fossilen Energieträger am Endenergieverbrauch der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2021) und AGEB (2023a) sowie der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die Werte für 2022 sind vorläufige Werte.

163 Der Anteil fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch der Industrie lag im Jahr 2022 wie auch im Vorjahr bei 56 %, während er von den Jahren 2018 bis 2020 bei 54 % lag (siehe Abbildung 30). In den „Big 5“-Studien werden für das Jahr 2025 Werte von rund 46–54 % und für das Jahr 2030 Werte von 31–47 % errechnet. Für die Erreichung der THG-Emissionsminderungsziele nach Bundes-Klimaschutzgesetz sind diese Reduktionen des Anteils fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch in der Industrie notwendig, während gleichzeitig die Aktivitäten in der Industrie aufrechterhalten werden sollen.

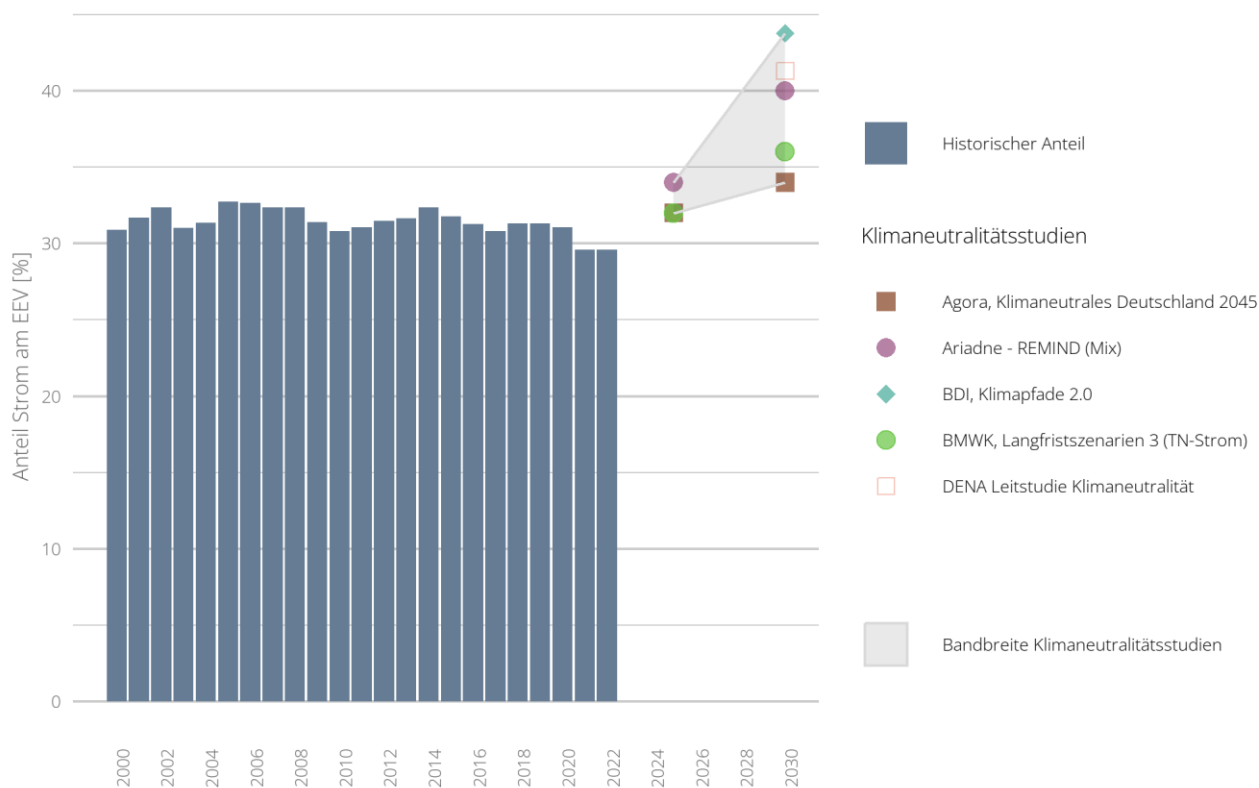
Abbildung 31: Entwicklung der absoluten Werte der fossilen Energieträger des Endenergieverbrauchs der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2021) (AGEB 2023a) und AGEB (2023a) sowie der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die Werte für 2022 sind vorläufige Werte.

164 Der Endenergieverbrauch aus fossilen Energieträgern ist im Jahr 2022 im Vergleich zum Vorjahr um 12 % (48,37 TWh) zurückgegangen. Für das Jahr 2030 muss der fossile Endenergiebedarf laut der „Big 5“-Studien auf 200 bis 293 Terrawattstunden sinken, das entspricht etwa 49–72 % des absoluten fossilen Endenergiebedarfs des Jahres 2021 und 56–82 % des absoluten fossilen Endenergiebedarfs des Jahres 2022 (siehe Abbildung 31).

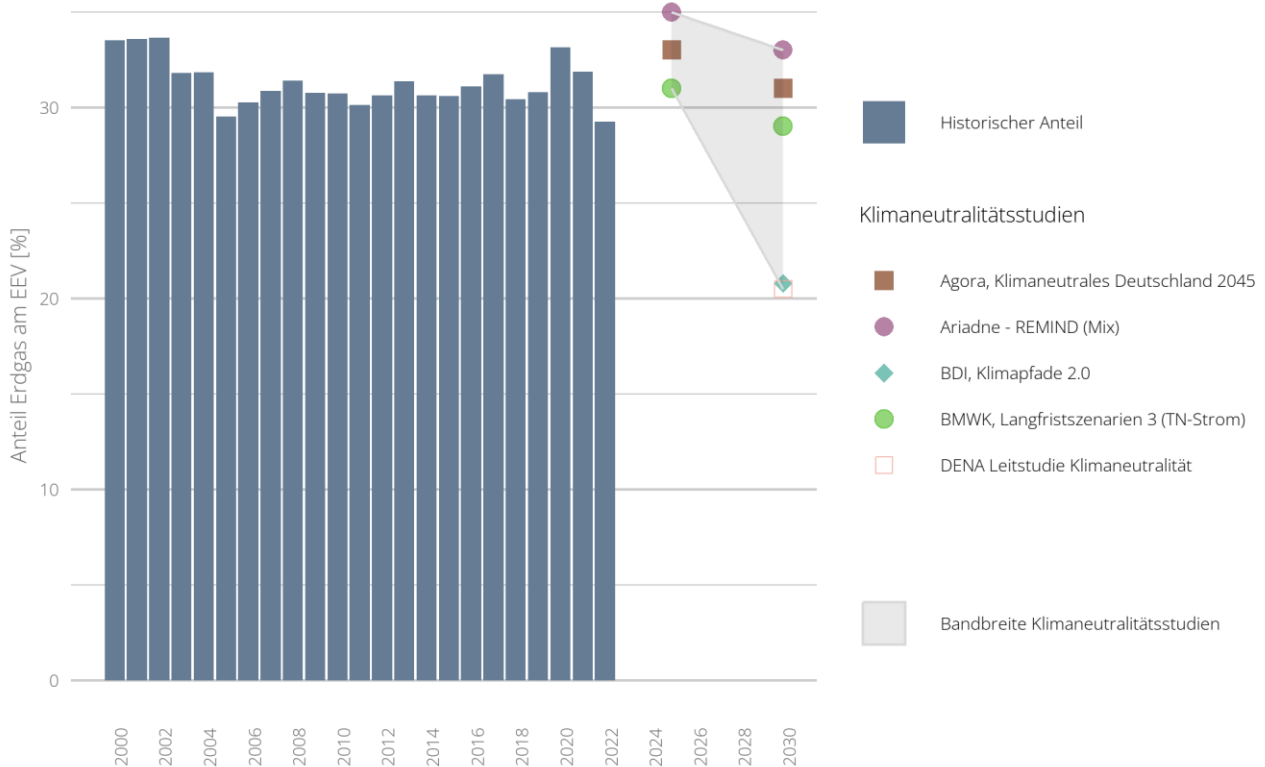
Abbildung 32: Entwicklung des Anteils von Strom am Endenergieverbrauch der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2021) (AGEB 2023a) und AGEB (2023a) sowie der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die Werte für 2022 sind vorläufige Werte.

165 Der Anteil von Strom am Endenergieverbrauch im Industriesektor ist in den Jahren 2021 und 2022 im Vergleich zu den Vorjahren gesunken (siehe Abbildung 32). Zwischen den beiden Jahren bleibt der Anteil jedoch konstant und ist mit knapp unter 30 % der niedrigste Wert der Zeitreihe. Gleichzeitig wurde in den Szenarien der „Big 5“-Studien die Notwendigkeit einer starken Steigerung des Anteils von Strom errechnet, um so auch den Anteil der fossilen Energieträger am Endenergieverbrauch der Industrie zu senken. Die Werte liegen hier bei 32–36 % im Jahr 2025 und bei rund 34–44 % im Jahr 2030. In einem Energiesystem, das kompatibel ist mit den „Big 5“-Szenarien, müsste der Stromanteil am Endenergieverbrauch der Industrie also um 4–14 Prozentpunkte steigen.

Abbildung 33: Entwicklung des Anteils von Erdgas am Endenergieverbrauch der Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEb (2021) (AGEb 2023a) und AGEb (2023a) sowie der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die Werte für 2022 sind vorläufige Werte.

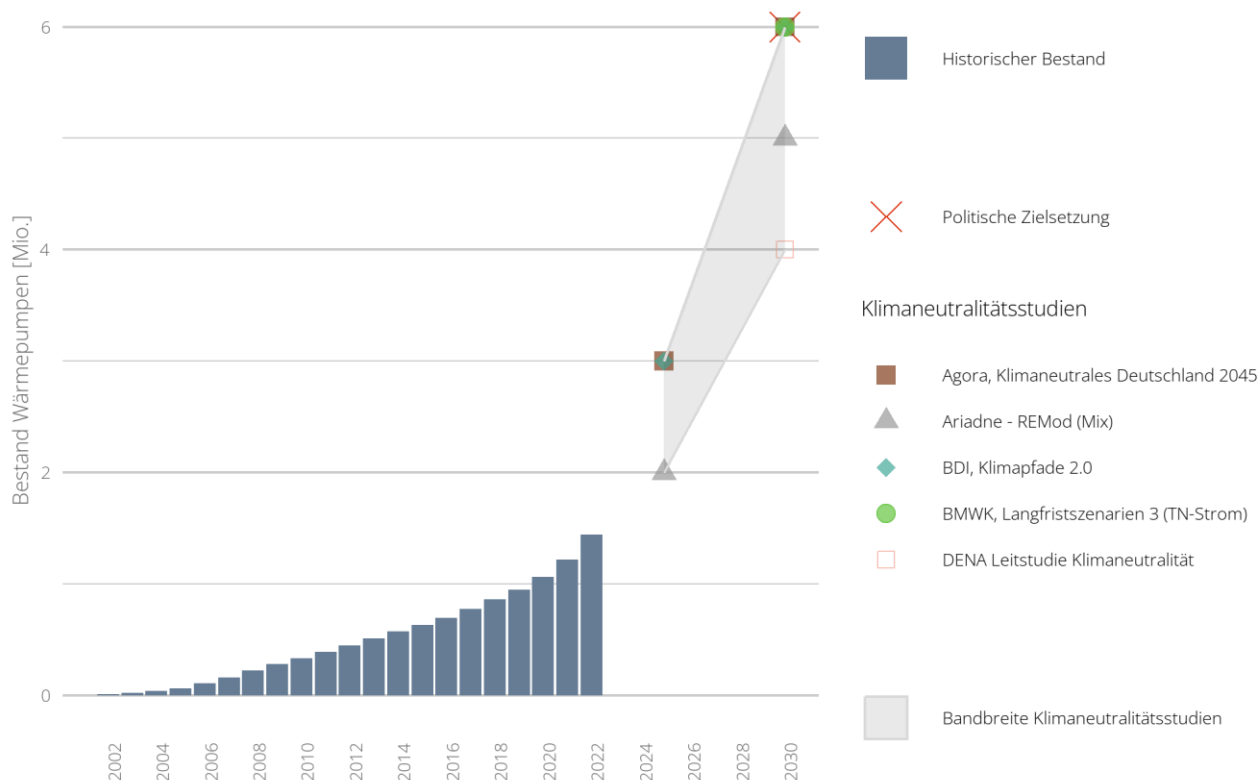
166 Der Anteil von Erdgas am Endenergieverbrauch im Industriesektor ist im Jahr 2022 stark gesunken und liegt mit 29 % im historischen Vergleich bei dem niedrigsten Wert (siehe Abbildung 33). Damit liegt der Wert im Jahr 2022 bereits unter den in den „Big 5“-Studien angegebenen Werten von rund 31–38 % für das Jahr 2025. Für das Jahr 2030 wurden in den Szenarien jedoch weitere Reduktionen auf Anteile von 21–33 % errechnet.

6.2.3 Gebäude

167 Zur Erreichung der Klimaneutralität im Gebäudesektor spielt laut den Klimaneutralitätsstudien der Einsatz von Wärmepumpen eine wesentliche Rolle (Abbildung 34). Im Jahr 2030 wird politisch das Ziel von 6 Millionen verbauten Wärmepumpen angestrebt, ab 2024 sollen dafür jedes Jahr mindestens 500.000 Wärmepumpen verkauft werden (BMWK 2022a). Für das Erreichen dieses Zielwertes und den von den Klimaneutralitätsstudien errechneten Ausbaukorridoren sind weiterhin hohe Wachstumsraten beim Absatz von Heizungswärmepumpen über das politische Ziel von 500.000 Wärmepumpen pro Jahr hinaus notwendig. Im Jahr 2022 lag der Anteil von Wärmepumpen an Heizungssystemen in Neubauten (nach Baugenehmigungen) erstmalig über 50 % (BDEW 2022). Insgesamt wurden nach Verbandsangabe 236 000 Heizungs-Wärmepumpen abgesetzt; dies entspricht einem Anstieg von 53 % gegenüber 2021. Somit wurde das Ziel von 500.000 installierten Wärmepumpen pro Jahr noch sehr deutlich verfehlt. Auch im internationalen Vergleich sind die Verkaufszahlen im Verhältnis zur Bevölkerung niedrig: Im Vergleich

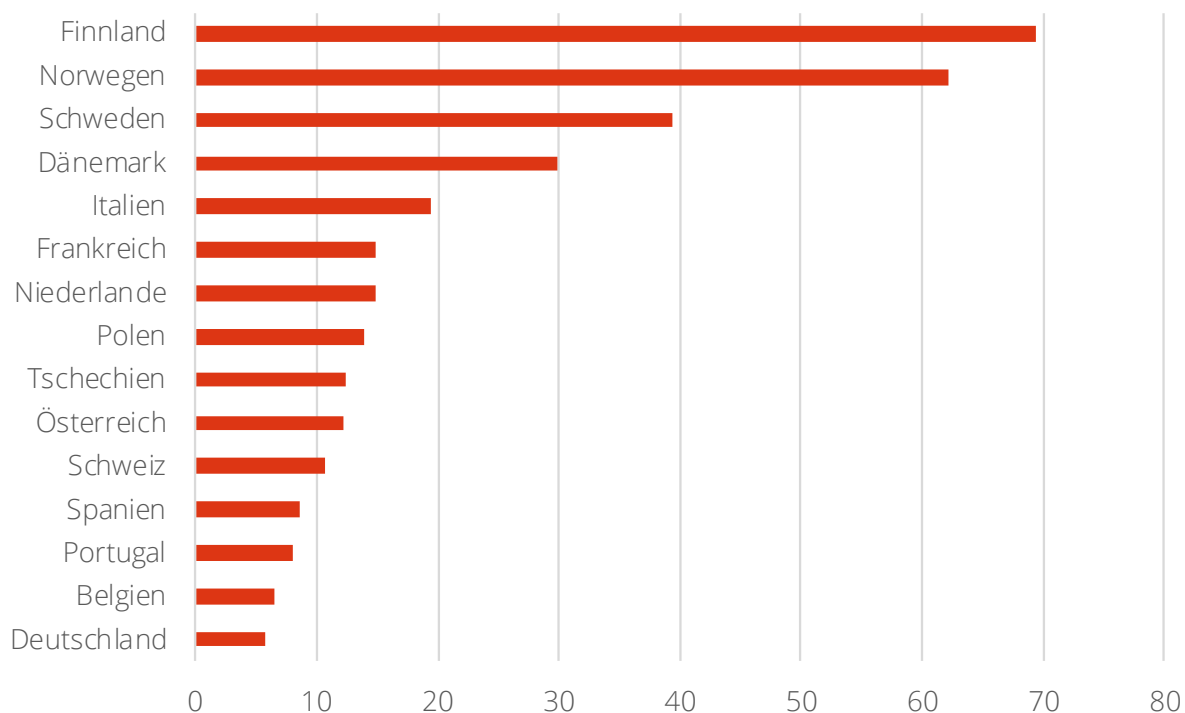
zu 14 anderen EU-Mitgliedsstaaten, für die bereits Daten vorlagen, belegte Deutschland bei der Anzahl der pro Haushalt verkauften Wärmepumpen den letzten Platz (Abbildung 35). Der Bestand von mehr als 1,4 Mio. Wärmepumpen macht im Jahr 2022 zudem nur einen Anteil von 3 % in Bestandsgebäuden aus (BDEW 2022).

Abbildung 34: Entwicklung des Bestands der Heizungs-Wärmepumpen im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von BWP (2022) und BWP (2023; 2022). Die Bestandsdaten entsprechen den aggregierten Absätzen der Jahre 2002 bis 2022, bei einer angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren. Der Bestand beinhaltet lediglich Heizungs-Wärmepumpen und damit keine Warmwasser-Wärmepumpen. Der Absatz von Heizungs-Wärmepumpen für die Jahre 2002–2015 wird anhand des durchschnittlichen Anteils von Heizungs-Wärmepumpen am Absatz von Wärmepumpen insgesamt in den Jahren 2016–2022 abgeschätzt. Die Klimaneutralitätsstudien werden in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschrieben. Das politische Ziel wurde dem 2. Wärmepumpengipfel der Bundesregierung entnommen (BMWK 2022a).

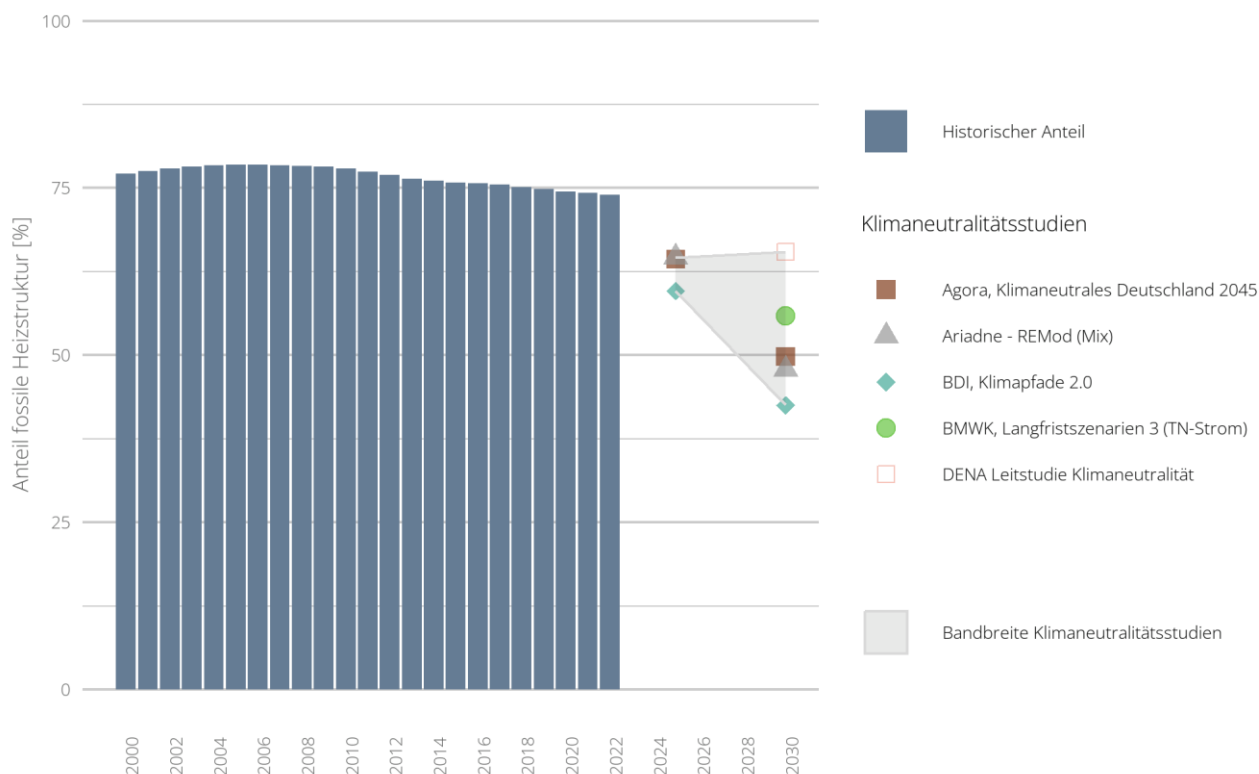
Abbildung 35: Verkaufte Heizungs-Wärmepumpen pro 1000 Haushalte im Jahr 2022



Eigene Darstellung auf Basis von EHPA (2023). Die Haushalts-Zahlen basieren auf Daten von 2021.

168 Abbildung 36 zeigt die historische Entwicklung des Anteils fossiler Heizsysteme sowie den Korridor, der sich durch verschiedene Modelle und Szenarien im Rahmen von Klimaneutralitätsstudien ergibt. Der Anteil fossiler Heizsysteme hat sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten kaum verändert und verharret bei rund 75 %. Rund die Hälfte aller Heizungen werden mit Gas betrieben (49,3 %), ein weiteres Viertel (24,7 %) mit Öl (siehe Abbildung 36). Die Diskrepanz zwischen den Zielwerten der Klimaneutralitätsstudien und dem aktuellen Bestand verdeutlicht die Notwendigkeit des beschleunigten Austauschs fossiler mit regenerativer Heizungssysteme, um den Gebäudesektor zu dekarbonisieren. Die Geschwindigkeit des Rückgangs des Anteils fossiler Heizungen ist aktuell nicht auf dem Pfad, die in den Klimaneutralitätsstudien genannten Werte zu erreichen. Fossile Heizungssysteme (und insbesondere Gasheizungen) dominieren neben dem Gebäudebestand auch die Verkaufszahlen von neuen Heizungen. Von den im Jahr 2022 verbauten 980 000 Heizsystemen wurden trotz hoher Gaspreise insgesamt rund 598 000 und damit fast 60 % Gasheizungen verbaut (BDH 2023b). Ein Grund für den nach wie vor hohen Absatz von Gasheizungen könnten Vorzieheffekte sein. Nach den Plänen der Koalition sollen neue Heizungen ab 2024 zu mindestens 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden (BMWK und BMWSB 2022). Besitzer*innen von Gasheizungen könnten daher bereits vor Ende der Lebensdauer bzw. der geplanten Neuanschaffung eine Investition in eine neue Anlage vorgezogen haben, um einem möglichen Verbot rein fossiler Heizungen auszuweichen. Eine Zunahme von 17 % gegenüber 2021 zeigte sich bei Heizsystemen auf Basis von Biomasse (insbesondere Pelletheizungen). Insgesamt machten fossile Heizsysteme im Jahr 2022 rund 67 % des Gesamtabsatzes aus, Wärmepumpen 24 % und Heizungen auf Basis von Biomasse 9 % (BDH 2023a).

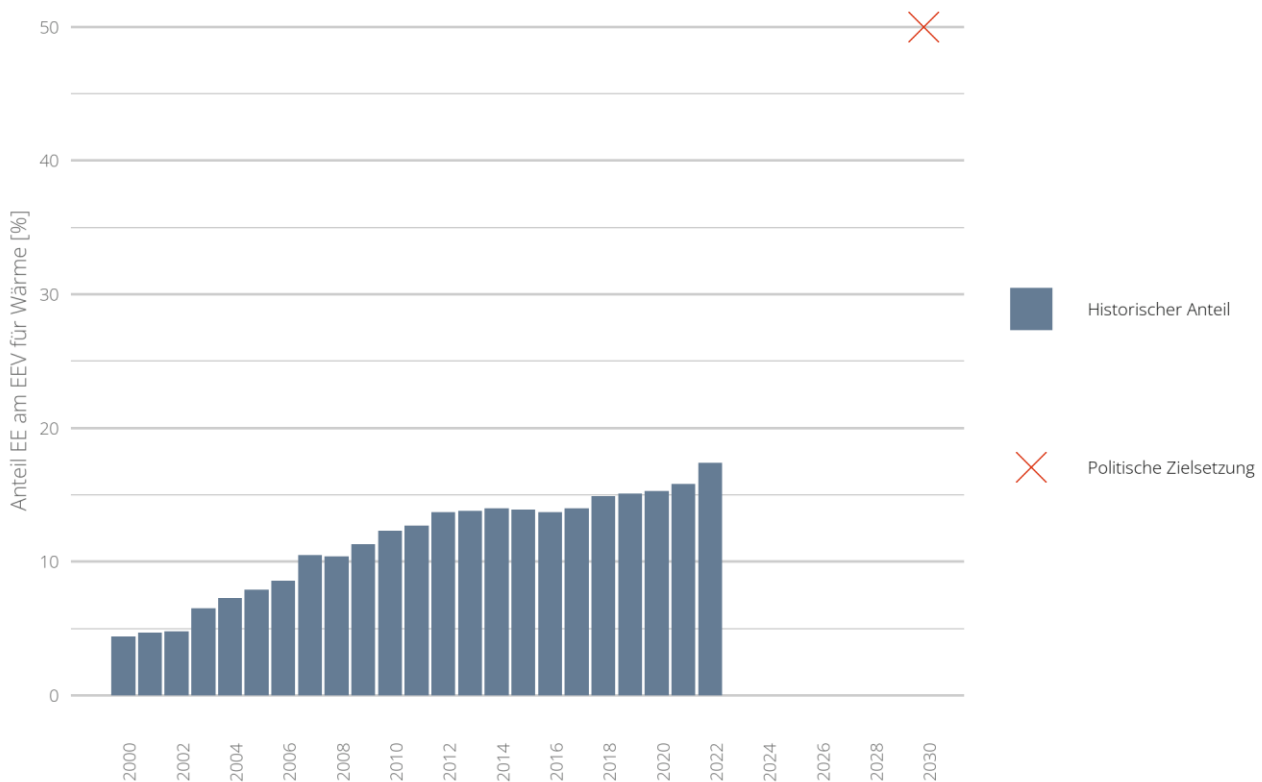
Abbildung 36: Entwicklung des Anteils der fossilen Heizstruktur im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien



Eigene Darstellung auf Basis von BDEW (2022) und der in Kapitel 3.1 des Zweijahresgutachtens (ERK 2022d) beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Zu fossilen Heizungen werden Öl- und Gasheizungen gezählt.

169 Der Anteil erneuerbarer Energieträger am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte (inklusive Fernwärme) ist im vergangenen Jahr deutlich gestiegen, von 15,8 % auf 17,4 % (Abbildung 37). Zwar stieg der absolute Endenergieverbrauch für Wärme aus erneuerbaren Energien im Jahr 2022 mit insgesamt 200,5 TWh gegenüber dem Vorjahr mit 199,2 TWh nur geringfügig an (weniger als ein Prozent). Allerdings gab es zeitgleich einen starken Rückgang bei der Nutzung fossiler Energieträger im Wärmebereich, insbesondere beim Verbrauch von Erdgas. Dies führte zu einem deutlichen relativen Anstieg im Vergleich zu den Vorjahren. Das politische Ziel von 50 % erneuerbarer Wärme und Kälte bis 2030 bleibt jedoch in weiter Ferne.

Abbildung 37: Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energieträger am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte im Vergleich zur politischen Zielsetzung

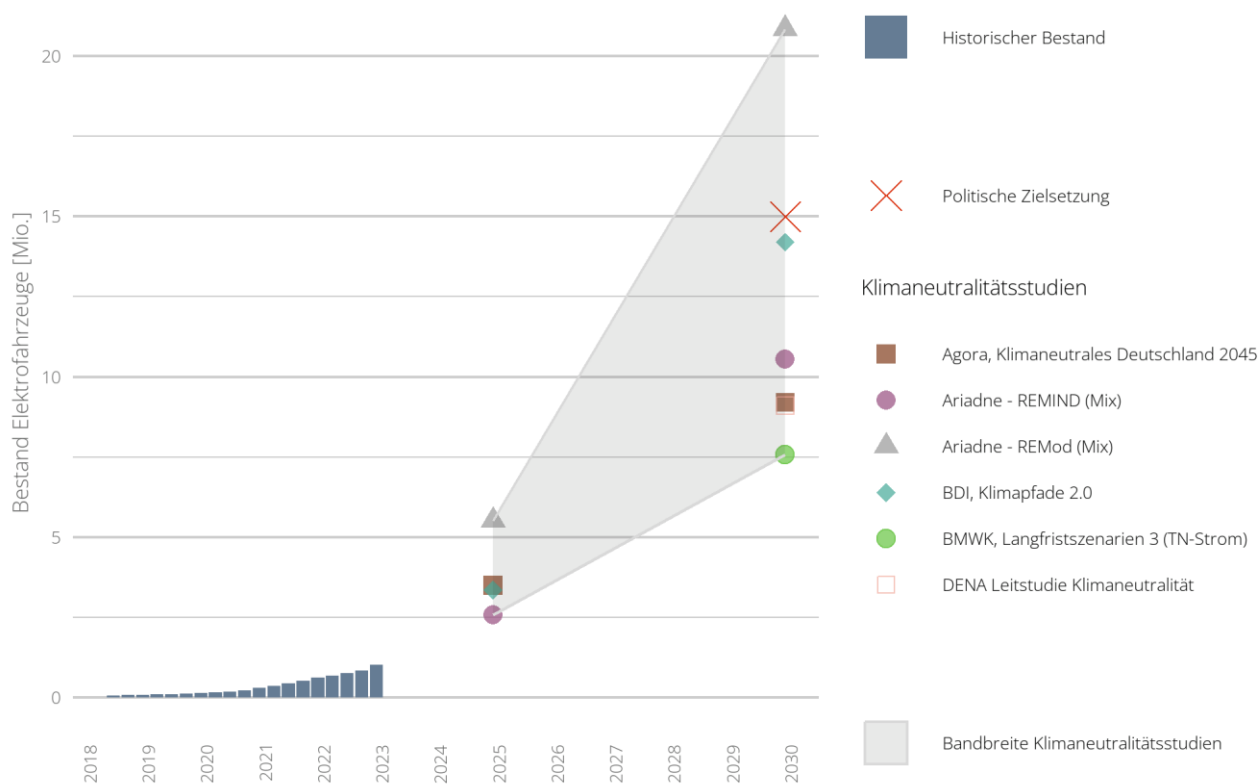


Eigene Darstellung auf Basis von BMWK und AGEE-Stat (2023). Das politische Ziel wurde dem Koalitionsvertrag entnommen (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021). Dargestellt ist der Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte inklusive Fernwärme für Haushalte, GHD und Industrie. Abweichend vom Vorgehen bei den anderen Indikatoren wird ein Vergleich mit den „Big 5“-Studien an dieser Stelle nicht durchgeführt, da dieser aufgrund von Abweichungen in den Bilanzierungen nicht möglich ist.

6.2.4 Verkehr

170 Die THG-Emissionen im Verkehrssektor sind maßgeblich durch die Kraftstoffverbräuche in CRF-Kategorie 1.A.3.b dem Straßenverkehr geprägt. Die hier entstehenden THG-Emissionen sind auf den fossilen Kapitalstock zurückzuführen. Die Bundesregierung verfolgt daher das Ziel, die Anzahl zugelassener vollelektrischer Personenkraftwagen (Pkw) bis 2030 auf 15 Mio. zu erhöhen. (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021). Diese Zielgröße befindet sich in der oberen Hälfte der durch die Klimaneutralitätsstudien ausgewiesenen Bandbreite von rund 7,5 bis 21 Millionen Elektrofahrzeuge im Jahr 2030. In den letzten zwei Jahren ist mit jährlichen Verdopplungsraten ein schneller Anstieg des Bestandes an Elektrofahrzeugen zu verzeichnen, wie in Abbildung 38 dargestellt.

Abbildung 38: Entwicklung des Bestands an Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien

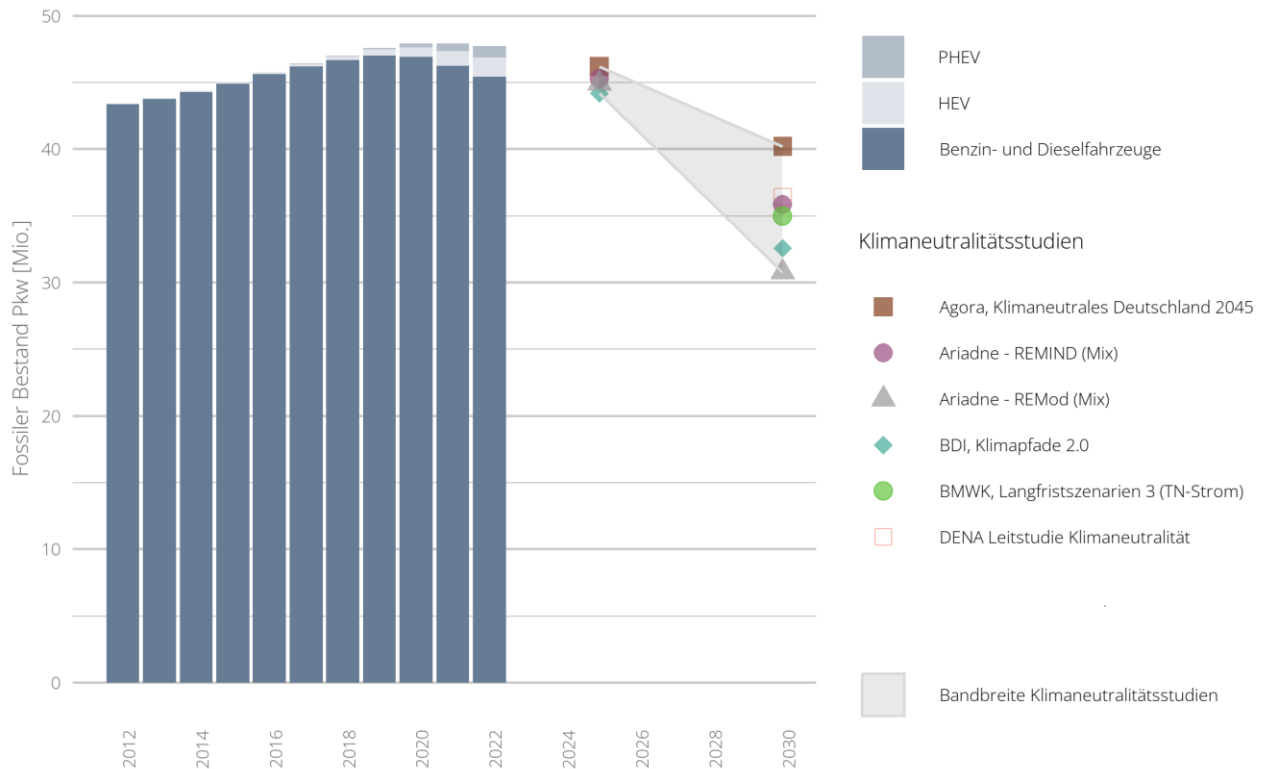


Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2023). Das politische Ziel wurde dem Koalitionsvertrag (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021) entnommen.

171 Die Dynamik der Zulassungszahlen für Elektrofahrzeuge der letzten zwei Jahre lassen einen beschleunigten Ausbau nicht völlig unwahrscheinlich erscheinen. Allerdings erscheint der Zielwert der Regierung sehr ambitioniert und nur unter sehr optimistischen Entwicklungen (technisch, ökonomisch und in Bezug auf individuelle Präferenzänderungen) oder bei zielgerichteter Regulatorik als annähernd erreichbar.

172 Der Bestand an Pkw mit fossilem Antrieb (Diesel, Benzin, Hybrid und Plug-in-Hybrid) ist in den Jahren von 2012 bis 2020 von ca. 43 Millionen auf ca. 48 Millionen Fahrzeuge gestiegen (siehe Abbildung 39). Lediglich im Jahr 2021 ist eine Abnahme um ca. 200.000 Fahrzeuge zu beobachten. Die Werte der Klimaneutralitätsstudien umfassen für das Jahr 2025 eine Spanne von rund 44 bis 46 Millionen und für das Jahr 2030 eine Spanne von rund 31 bis 40 Millionen Pkw mit fossilem Antrieb. Dabei beschreiben die Klimaneutralitätsszenarien einen zunehmenden Anteil von Plug-in-Hybrid Fahrzeugen bis 2030, jedoch eine konsequente Reduktion der rein fossilen Antriebe.

Abbildung 39: Entwicklung des Bestands an Fahrzeugen mit fossilem Antrieb im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Studien

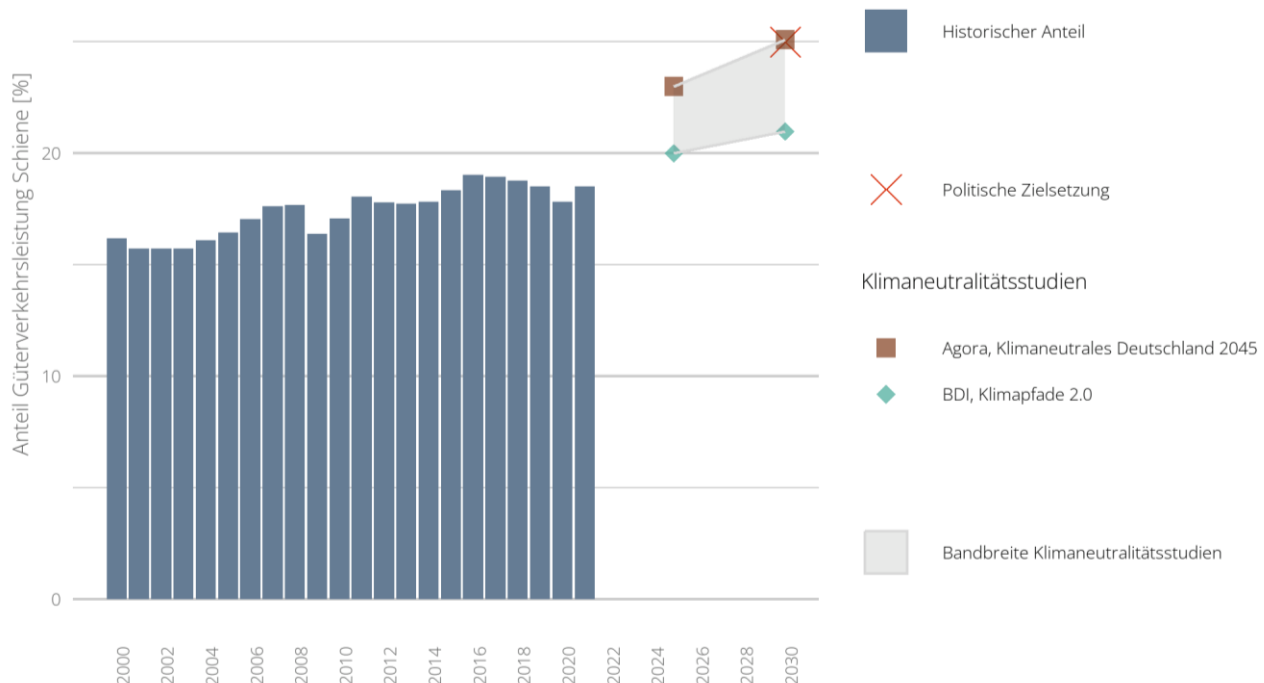


Eigene Darstellung auf Basis von (KBA 2023). Die grauen Balken (PHEV) stellen Plug-in-Hybride dar, der hellgraue Balken (HEV) Hybride und die dunkelblauen Balken sind mit Diesel oder Benzin betriebene Pkw.

173 Während die Klimaneutralitätsszenarien sehr deutlich aufzeigen, dass es für die Zielerreichung auch einen Abbau des Bestands fossiler Pkw geben müsste, ist dieser Trend, der sich (laut Szenarien) spätestens ab dem Jahr 2025 abzeichnen müsste, noch nicht zu erkennen. Es erscheint unwahrscheinlich, dass ein Abbau des fossilen Fahrzeugbestands ohne entsprechende politische Rahmenbedingungen erfolgt, vielmehr ist zu befürchten, dass zwar neue Elektroautos angeschafft werden, die alten Verbrenner-Autos aber als Zweitwagen weiter genutzt werden (ERK 2022d).

174 Der Anteil der Verkehrsleistung der Schiene am Güterverkehr schwankte während der Jahre 2000 und 2021 zwischen ca. 16 und 19 % (siehe Abbildung 40). Die Klimaneutralitätsstudien quantifizieren eine Bandbreite für das Jahr 2025 zwischen 20 und 23 % und für das Jahr 2030 zwischen 21 und 25 %. Das Ziel der Bundesregierung im Koalitionsvertrag für das Jahr 2030 ist es, 25 % der Güterverkehrsleistung über die Schiene abzudecken.

Abbildung 40: Entwicklung des Anteils des Schienengüterverkehrs an der Güterverkehrsleistung im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“ Studien



Eigene Darstellung auf Basis von (KBA et al. 2022). Das politische Ziel wurde dem Koalitionsvertrag (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021) entnommen.

- 175 Der Anteil des Schienengüterverkehrs ist seit dem Jahr 2016 abnehmend. Auch wenn der Anteil des Schienengüterverkehrs in 2021 leicht gestiegen ist⁴¹, liegt dieser noch unter dem Anteil von 2016. Die Güterverkehrsleistung in Tonnenkilometern ist jedoch seit 2016 annähernd konstant, mit Ausnahme des Jahres 2020. Die Diskrepanz zwischen abnehmendem Anteil und gleichbleibender Verkehrsleistung des Schienengüterverkehrs ist darauf zurückzuführen, dass der Straßengüterverkehr mit Ausnahme des Jahres 2020, zwischen den Jahren 2012 und 2021 stetig zugenommen hat. Das Erreichen der politischen Zielsetzung bei weiterwachsendem Güteraufkommen erscheint daher sehr ambitioniert und erfordert hohe Investitionen und politische Anstrengungen.
- 176 Die ex-ante Perspektive unter Berücksichtigung der aktualisierten Werte ausgewählter Indikatoren für das Jahr 2022 zeigt im Verkehrssektor insgesamt, dass für den Abbau an fossilen Fahrzeugen, den Hochlauf der Elektromobilität und der Steigerung der Güterverkehrsleistung zum aktuellen Stand noch großer Handlungsbedarf zum Erreichen der politischen Ziele und den Zielkorridoren der Klimaneutralitätsstudien besteht. Die Dynamik der Zulassungszahlen für Elektrofahrzeuge der letzten zwei Jahre lassen die Erreichung des politischen Ziels als sehr ambitioniert, aber nicht unerreichbar erscheinen. Allerdings stagnierte der fossile Bestand an Pkws auch im Jahr 2022 und ging nur marginal im Vergleich zum Vorjahr zurück. Um auf die Zielkorridore der Klimaneutralitätsstudien zu kommen, bräuchte es eine stärkere Trendänderung.

⁴¹ Für das Jahr 2022 sind zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts noch keine Daten verfügbar.

7 Weiterentwicklung des Klimaschutzgesetzes

177 Die derzeitigen Regierungsparteien haben bereits in ihrem Koalitionsvertrag vereinbart, das Klimaschutzgesetz „konsequent weiter(zu)entwickeln“ (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021, S. 43). Im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses vom 28. März 2023 wird dieses Vorhaben genauer beschrieben (Bundesregierung 2023a, S. 1 ff.). Zu Fragen der Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes hatte sich der Expertenrat bereits in seinen vorherigen Berichten ausführlich geäußert (siehe ERK (2021, Kap. 8); ERK (2022b, Kap. 7); ERK (2022d, Kap. 4)). Ergänzend zu den bisherigen Hinweisen werden die vom Koalitionsausschuss vereinbarten Eckpunkte eingeordnet (Kapitel 7.1) und anschließend weitere Empfehlungen gegeben, welche sowohl für die jetzige Fassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes wie auch für die angestrebte zukünftige Fassung relevant sind (Kapitel 7.2 und Kapitel 7.3). Auf die Ausführungen des Beschlusspapiers bezüglich konkreter Maßnahmen zur Planungsbeschleunigung sowie in den Sektoren Verkehr und Gebäude wird im Folgenden nicht eingegangen.

7.1 Einordnung der Vereinbarungen des Koalitionsausschusses

178 Im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses vom 28. März 2023 werden insbesondere vier Eckpunkte für eine Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes genannt (Bundesregierung 2023a, S. 2 f.): 1) Verpflichtender, regelmäßiger Beschluss eines Klimaschutzprogramms im ersten Jahr einer Legislaturperiode; 2) verpflichtende Ergänzung der jährlichen Emissionsberichterstattung mit einer sektoralen Prognose der Entwicklung der Treibhausgasemissionen; 3) Veränderung des Steuerungsmechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes; und 4) Festlegung von Zielen für Negativ-Emissionen. Generell lassen die Eckpunkte an vielen Stellen Interpretationsspielraum zu. Vor diesem Hintergrund werden die Eckpunkte nachfolgend diskutiert. Eine Übersicht über die im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses implizit adressierten Elemente des Bundes-Klimaschutzgesetzes und eine kurze Zusammenfassung der Überlegungen des Expertenrates zur Einordnung gibt Tabelle 9; auf diese Elemente wird in den nachfolgenden Unterkapiteln jeweils vertieft eingegangen.

Tabelle 9: Übersicht zur Einordnung der Beschlüsse des Koalitionsausschusses zur Novelle des Klimaschutzgesetzes

Elemente des KSG	Eckpunkte aus dem Beschlussdokument des Koalitionsausschusses	Einordnung
Jährliche Minderungsziele (§ 4 KSG)	Betrachtung von „aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030“ in Bezug auf „Gesamtminderungsziel“	• Der Budget-Gedanke des KSG sollte erhalten bleiben, da er essenziell im Sinne des Klimaschutzes ist. • Bei Abschaffung oder Aufweichung des Budgetprinzips bestehen verfassungsrechtliche Bedenken.
Ergänzung der Berichterstattung (§ 5 KSG und § 10 KSG)	„Mit den Emissionsdaten des Vorjahres werden in Zukunft die prognostizierte Emissionsentwicklung für die Jahre bis 2030 und mit Blick auf 2035, 2040 und 2045 dargestellt.“	• Die Erweiterung der jährlichen Ex-ante Berichterstattung (über eine Ergänzung in § 5 Abs. 2) und eine Änderung von „alle zwei Jahre“ auf „jährlich“ in § 10 Abs. 2 KSG wird begrüßt. Eine solche zeitliche Kopplung von Bericht und Projektion kann bei sachgerechter Umsetzung die Transparenz über das Emissionsgeschehen deutlich erhöhen. • Es bestehen hohe Anforderungen an die Modellierung von bestehenden und möglichen künftigen Politikmaßnahmen (zeitlicher Vorlauf, Abschätzung von Unsicherheiten, „compliance by modelling“, Einhaltung von Berichtspflichten). • Eine unabhängige Prüfung der Projektionsdaten wäre wichtig.
Veränderung des Steuerungskriteriums (§ 8 Abs. 1 KSG)	Statt sektoraler Nachsteuerung soll eine Nachsteuerung nur erfolgen, wenn „mit den aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030 das Gesamt-minderungsziel nicht erreicht wird“.	• Die konkrete Ausgestaltung des Auslösemechanismus bleibt offen. Die Spannweite reicht von Gestaltungsoptionen, die sich ausschließlich aus modellbasierten Projektionen ergeben bis hin zu solchen, die ausschließlich auf Ist-Daten basieren. Dazwischen sind unterschiedliche Mischformen denkbar (Details siehe Infokasten 1 und Tabelle 10). • Eine aggregierte Betrachtung erfordert die Festlegung von eindeutigen Zielen für die Energiewirtschaft (siehe Kapitel 7.2).
	Umstellung des Auslösemechanismus der Nachsteuerung von jährlich auf „in zwei aufeinanderfolgenden Jahren“	• Der Vorteil der Umstellung auf die Betrachtung von zwei aufeinanderfolgenden Jahren erschließt sich in einer Ex-ante Betrachtung nicht, während der Nachteil der Verzögerung bleibt.

Elemente des KSG	Eckpunkte aus dem Beschlussdokument des Koalitionsausschusses	Einordnung
Veränderung der Verantwortlichkeit (§ 8 Abs. 1 KSG)	Es wird weiterhin von einer Ressortzuständigkeit für die Sektoren des Klimaschutzgesetzes ausgegangen („...wird die Bundesregierung auf Basis der Vorschläge der maßgeblich für die Minderungsmengen der Sektoren verantwortlichen Bundesministerien Maßnahmen beschließen...“), allerdings soll Handlungsbedarf für die Bundesregierung nur noch bei Überschreitungen des Gesamtziels über alle Sektoren entstehen.	- Die Sektor-bezogene Zuständigkeit von Ministerien ist wichtig zur Herstellung einer klaren Governance, da diese die Effizienz und Geschwindigkeit des Gesetzgebungsverfahrens sowie die Koordination innerhalb der Bundesregierung unterstützt. - Eine Aufweichung der Ressortverantwortung erhöht die Gefahr des Verharrens in angestammten technologischen Pfaden (beispielsweise bei Verkehr und Gebäude) und weist so auch erhebliche industriepolitische Gefahren auf. - Deutschlands Verpflichtungen aus der ESR bedürfen zudem einer separaten Betrachtung und Nachsteuerung. - Eine Aufweichung des strengen Ressortprinzips in § 8 Abs. 1 KSG hat mögliche negative Folgen.
Klimaschutzprogramme und Berichterstattung (§ 9 KSG)	„Künftig wird die Bundesregierung im ersten Jahr einer Legislaturperiode ein umfassendes sektorübergreifendes Klimaschutzprogramm beschließen“.	Mit diesem Punkt ist offensichtlich eine Erweiterung der Berichterstattung geplant, in Ergänzung zu den bislang im Gesetz in § 9 genannten Anlässen zukünftig auch verpflichtend in jedem ersten Jahr einer Legislaturperiode von der Bundesregierung ein Klimaschutzprogramm zu beschließen. Dies ist zu begrüßen und würde die Stellung der Klimaschutzpolitik in der Regierungsarbeit stärken.

Eigene Darstellung.

7.1.1 Zu den jährlichen Minderungszielen (§ 4 KSG)

179 Die grundsätzliche Zielsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes ist es, „zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten (§ 1 KSG)⁴².“ Für die Zieljahre 2030, 2040 und 2045 werden in diesem Sinne konkrete Zielwerte definiert (§ § 3 und 3a KSG). Über diese zukünftigen Meilensteine hinaus legt das Bundes-Klimaschutzgesetz in § 4 zulässige Jahresemissionsmengen vom Jahr 2020 bis zum Jahr 2030 für alle Sektoren⁴³ und LULUCF (§ 4 Abs. 1 KSG) sowie einen Anrechnungsmechanismus bei Über- und Unterschreitungen dieser Jahresemissionsmengen (§ 4 Abs. 3 KSG) fest. Mit diesen Festlegungen etabliert das Bundes-Klimaschutzgesetz implizit eine maximale Emissionsmenge für die betroffenen Sektoren, welche kumuliert über das Jahrzehnt nicht überschritten werden darf. Diese Vorgabe („Budgetgedanke“) ist aus Sicht des Expertenrates ein zentraler Grundgedanke des Bundes-Klimaschutzgesetzes in seiner heutigen Fassung. Aus Klimaschutzsicht ist der Budgetgedanke wichtig, weil es laut IPCC eine starke Evidenz dafür gibt, dass ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen kumulierter Menge an globalen Emissionen und dem projizierten Temperaturanstieg besteht (IPCC 2014, S. 62).

⁴² Diese Zielwerte stellen maximale Emissionswerte dar, die ein Sektor in den spezifizierten Jahren bis 2030 emittieren darf.

⁴³ Für die Energiewirtschaft gelten spezielle Regelungen im KSG, auf die in Kapitel 7.2 vertieft eingegangen wird.

- 180 Der Expertenrat für Klimafragen hält die im Bundes-Klimaschutzgesetz aktueller Fassung angelegte Kombination von Jahreszielen für die Jahre 2030, 2040 und 2045 mit einem (impliziten) Budgetziel für den jeweiligen Zeitraum bis zum nächsten Zieljahr (also derzeit 2021–2030) für zielführend und erwartet, dass die Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes nicht hinter diese Anforderung zurücktritt. Würde zukünftig – anders als bislang im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegt – dagegen ausschließlich auf die Zielerreichung im Jahr 2030 – und nachfolgend die Jahre 2035, 2040 und 2045 – abgehoben, ohne dass jeweils jährliche Zwischenziele – ggf. wie im Beschlusspapier aggregiert über alle Sektoren – in Verbindung mit entsprechenden Zielanpassungen bei Über- und Unterschreitungen Berücksichtigung finden, wäre die Menge an Gesamtemissionen Deutschlands bis 2030 und anschließend bis zum Erreichen der Klimaneutralität im Jahr 2045 nicht fixiert. Dies stünde aus Sicht des Expertenrats in einem klaren Widerspruch zur Intention des Bundes-Klimaschutzgesetzes, da es für den Klimaeffekt der Treibhausgase nicht auf einzelne Jahre, sondern die kumulierte Menge dieser Gase in der Atmosphäre ankommt. Zudem stünde eine solche Verkürzung vermutlich im Widerspruch zu dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts aus dem März 2021, welcher dezidiert auf ein Deutschland verbleibendes Restbudget an Treibhausgasemissionen abhebt (BVerfG 2021, RZ 183 ff; RZ 231 ff).
- 181 Die Formulierungen im Beschlusspapier sind nach Ansicht des Expertenrats in Bezug auf die Fortführung der Budgetbetrachtung allerdings nicht eindeutig. So heißt es beispielsweise in Punkt 2, dass das Vorjahresergebnis dahingehend bewertet würde, „ob die zur Zielerreichung benötigte Minderungs­menge für jeden Sektor erreicht wird“, wobei im Text Bezug nur auf die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2045 (nicht aber auf ein Budget 2021–2030) genommen wird. Auch steht dort unter Punkt 3: „Wenn die Projektionsdaten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren zeigen, dass mit den *aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030* das *Gesamt­minderungsziel* nicht erreicht wird, wird die Bundesregierung [...] Maßnahmen beschließen, die sicherstellen, dass das Minderungsziel bis 2030 dennoch erreicht wird.“ Auch hier gibt es eine Doppeldeutigkeit bezüglich der Interpretation der „aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030“: Handelt es sich um eine Aggregation ausschließlich über die Sektoren oder auch über die Jahre? Handelt es sich um ein Punktziel im Jahr 2030 oder ein Budgetziel bis zum Jahr 2030? Aus den zuvor genannten Gründen geht der Expertenrat davon aus, dass im Beschlusspapier die letztgenannte Interpretation gemeint ist und plädiert nachdrücklich für eine Weiterverfolgung eines Budgetansatzes und eine klare Umsetzung dessen im Kontext der geplanten Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.

7.1.2 Zur Ergänzung der Berichterstattung (§ 5 KSG und § 10 KSG)

- 182 Eine wesentliche Voraussetzung für eine konsistente Umsetzung des Klimaschutzgesetzes ist eine möglichst umfassende und zugleich möglichst aktuelle Kenntnis des Emissionsgeschehens. In Punkt 2 des Beschlusspapiers des Koalitionsausschusses werden Leitlinien für das zukünftige Monitoring genannt: „Die Bundesregierung wird weiterhin das jährliche Monitoring der Emissionsentwicklung vorlegen. Darin wird für jeden Sektor die erreichte Minderung transparent aufgeführt. Mit den Emissionsdaten des Vorjahres werden in Zukunft die prognostizierte Emissionsentwicklung für die Jahre bis 2030 und mit Blick auf 2035, 2040 und 2045 dargestellt.“
- 183 Das Beschlusspapier hält somit an der jährlichen und sektoralen Berichterstattung über die tatsächliche Emissionsentwicklung fest, was vom Expertenrat ausdrücklich begrüßt wird (vgl. auch ERK 2022a, Kap. 7.2). In Ergänzung soll im Verständnis des Expertenrats zukünftig auch die „prognostizierte Emissionsentwicklung“ für die Jahre bis 2030 sowie für die Jahre 2035, 2040 und 2045 zeitgleich mit dargestellt werden. Mit einem solchen Vorgehen würde die bislang im Bundes-Klimaschutzgesetz

verankerte ex-post-Berichterstattung konsequent mit einer ex-ante-Berichterstattung verknüpft, was eine umfassendere Beurteilung des jeweilig aktuellen Emissionsgeschehens ermöglichen würde. Sinngemäß müsste hierfür der bislang gemäß § 10 Abs. 2 KSG alle zwei Jahre erstellte Klimaschutz-Projektionsbericht jährlich erstellt werden. Dies ist bereits in Planung (UBA 2023h), allerdings bislang nicht im Bundes-Klimaschutzgesetz verankert. Der Expertenrat stellt fest, dass eine solche zeitliche Kopplung von Bericht und Projektion bei sachgerechter Umsetzung die Transparenz über das Emissionsgeschehen deutlich erhöhen kann und hatte dies bereits in ERK (2022a, Kap. 7.3.2) ausgeführt.

184 Allerdings weist der Expertenrat darauf hin, dass die sachgerechte Erstellung und Nutzung von „prognostizierten“ Emissionsdaten naturgemäß mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Der Projektionsbericht beruht – sachgerecht – auf einer umfangreichen und komplexen Modellierung. Daraus ergeben sich aus Sicht des Expertenrats unter anderem die folgenden Herausforderungen:

- Der Projektionsbericht benötigt eine gewisse Vorlaufzeit. Den europäischen Regeln folgend beruht er insbesondere auf zwei Jahre zurückliegenden Inventardaten. Die Aktualität der verwendeten Daten ist somit erheblich eingeschränkt. Insbesondere wird sich bei zeitgleicher Veröffentlichung eine Inkonsistenz zwischen den Daten des Projektionsberichts und denen der jeweils deutlich aktuelleren Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres ergeben. Der Gesetzgeber wird also abwägen müssen, ob er diese Inkonsistenz akzeptieren oder doch einen gewissen Zeitversatz zwischen Vorjahresdaten und darauf beruhendem Projektionsbericht erlauben möchte. Falls es diesen Zeitversatz, wie im Papier des Koalitionsausschusses beschrieben, nicht geben soll, muss der Gesetzgeber überlegen, wie bei der Nutzung der Daten die Folgen der Inkonsistenz nach Möglichkeit minimiert werden können. Diese Fragestellung ist von umso größerer Relevanz, wenn die prognostizierte Emissionsentwicklung über die Berichtspflichten hinaus für den Steuerungsmechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes genutzt werden soll (siehe Kapitel 7.3.1)
- Die Projektionsdaten unterliegen naturgemäß einer gewissen Unsicherheit, da weder äußere Rahmenbedingungen, wie z. B. Wirtschaftsentwicklung oder Energiepreise, noch die Wirkung der vielfältigen Maßnahmen zur Treibhausgasminderung mit Sicherheit vorab quantifiziert werden können (vgl. bspw. ERK 2022a, Kap. 2.3.6). Für die Verwendung der so erstellten Daten wäre es also von großem Interesse, das Ausmaß dieser Unsicherheit einordnen zu können. Aus Sicht des Expertenrats müsste eine derartige Unsicherheitsanalyse nach Möglichkeit zwingender Bestandteil einer Projektion sein.
- Da die Projektionsdaten zumindest mittelbar von der Regierung selbst erstellt werden, ergibt sich zudem ein mögliches Governance-Problem („compliance by modelling“). Um diesem Problem entgegenzuwirken, wäre es aus Sicht des Expertenrats notwendig, die Projektionsdaten jeweils einer unabhängigen Prüfung zu unterziehen (siehe auch ERK 2022a, Kap. 7.3.2, insb. RZ135). Das wiederum würde jedoch die oben angeführten terminlichen Herausforderungen verschärfen.

185 Schließlich soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass es schon viele Berichtspflichten auf nationaler und europäischer Ebene gibt (siehe ERK 2022b, RZ132 und Abb. 10), wobei die rechtlichen Fristen bislang allerdings nicht immer eingehalten werden. So hat die Bundesregierung beispielsweise in diesem Jahr ihre bestehende gesetzliche Pflicht aus § 10 Abs. 2 KSG nicht eingehalten, den Projektionsbericht bis zum 31. März dem Deutschen Bundestag zuzuleiten. Die Qualität des vom Koalitionsausschusses geplanten Monitoringprozesses bedarf in dieser Hinsicht hoher Termintreue, um den Vorteil der vorgeschlagenen Kopplung von ex-post- und ex-ante-Betrachtungen zu erschließen.

186 Um die Belastbarkeit und Glaubwürdigkeit der von der Bundesregierung verwendeten Daten einschließlich der prognostizierten Emissionsentwicklung zu stärken, empfiehlt der Expertenrat, den Prüfgegenstand nach § 12 Absatz 1 KSG entsprechend über die Prüfung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres hinaus auf die Prognose über die weitere Emissionsentwicklung auszuweiten. In diesem Kontext empfiehlt der Expertenrat außerdem, die jahresscharfen Ziele sowie den Mechanismus zur Anrechnung von Über- und Unterschreitungen für die Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes aufrechtzuerhalten (und um entsprechende Ziele für den Sektor Energiewirtschaft zu ergänzen; siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 7.2), um für das im Beschlusspapier genannte jährliche Monitoring der Emissionsentwicklung weiterhin eine hohe Transparenz im Hinblick auf die Zielerreichung sicherzustellen und den Anspruch der geplanten, ebenfalls in Punkt 2 des Beschlusspapiers genannten neuen Regelungen einzulösen, „das Vorjahresergebnis [...] dahingehend [zu bewerten], ob die zur Zielerreichung benötigte Minderungsmenge für jeden Sektor erreicht werden wird“.

7.1.3 Zur Veränderung des Steuerungskriteriums (§ 8 Abs. 1 KSG)

187 Ein Grundgedanke des Bundes-Klimaschutzgesetzes, der auch zukünftig Bestand haben soll, ist die Installation eines Steuerungsmechanismus, mit dem bei Vorliegen bestimmter Bedingungen zusätzliche Aktivitäten seitens der Bundesregierung verpflichtend notwendig werden. Derzeit wird ein solcher Mechanismus in § 8 KSG festgelegt. Dort wird als Kriterium die Überschreitung der sektoralen Emissionsziele im Vorjahr kodifiziert und als Konsequenz eine Kaskade gefordert, welche aus der Vorlage eines hinreichend anspruchsvollen Sofortprogramms durch das verantwortliche Ministerium (§ 8 Abs. 1 KSG) sowie aus einem nachfolgenden Beschluss der Bundesregierung (§ 8 Abs. 2 KSG) besteht. Entsprechend dem Beschlusspapier des Koalitionsausschusses soll dieser Mechanismus scheinbar sowohl mit Blick auf das Kriterium als auch auf die Handlungskonsequenz substantiell verändert werden. Im Papier des Koalitionsausschusses heißt es hierzu unter Punkt 3 insbesondere: „Zukünftig werden alle Sektoren aggregiert betrachtet. Wenn die Projektionsdaten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren zeigen, dass mit den aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030 das Gesamtminderungsziel nicht erreicht wird, wird die Bundesregierung auf Basis der Vorschläge der maßgeblich für die Minderungsmengen der Sektoren verantwortlichen Bundesministerien Maßnahmen beschließen, die sicherstellen, dass das Minderungsziel bis 2030 dennoch erreicht wird.“

188 Der Expertenrat betont, dass aus seiner Sicht das hier angesprochene, als Kriterium für „Nicht-Erreichung“ herangezogene Minderungsziel dem Budgetgedanken folgen sollte (siehe Kapitel 7.1.1). Aufgrund der konzeptionellen Herausforderung bei der Operationalisierung der Nutzung von Projektionsdaten (siehe Kapitel 7.1.2) weist der Expertenrat darüber hinaus darauf hin, dass der Gesetzgeber sehr sorgfältig prüfen und entscheiden muss, wie genau hier der Abgleich zwischen Soll (Ziel) und Ist (Historie und/oder Projektion) erfolgen soll.

189 Für die Ausgestaltung des Auslösungsmechanismus im Sinne der Formulierung entsprechend Punkt 3 des Beschlusspapiers sieht der Expertenrat für Klimafragen verschiedene Optionen, die im Weiteren – ohne Anspruch auf Vollständigkeit und juristische Ausgestaltung im Detail – skizziert werden. Die Spannweite bei der Ausgestaltung des Auslösemechanismus reicht grundsätzlich von Tatbeständen, die sich ausschließlich aus modell-basierten Projektionen ergeben bis hin zu solchen, die ausschließlich auf Ist-Daten basieren. Dazwischen sind unterschiedliche Mischformen denkbar. Eine Übersicht über vier denkbare Optionen zur Umsetzung des Auslösemechanismus innerhalb dieser Spannweite zeigt

Tabelle 10, die in Infokasten 1 näher beschrieben und im Hinblick auf einige Implikationen und jeweilige Vor- und Nachteile skizziert werden.

- 190 Die Übersicht über die skizzierten Optionen macht deutlich, dass bei der Konkretisierung eines neuen Steuerungskriteriums im Bundes-Klimaschutzgesetz eine Vielzahl an Gesichtspunkten zu berücksichtigen ist. Vor diesem Hintergrund empfiehlt der Expertenrat dem Gesetzgeber, die angedachten Änderungen des Steuerungsmechanismus sehr gründlich auf damit einhergehende Implikationen zu prüfen und bezüglich der jeweiligen Vor- und Nachteile sorgfältig abzuwägen.
- 191 Daneben sieht das Beschlusspapier in Bezug auf das zukünftig zu verwendende Kriterium vor, dass Handlungsbedarf nur noch entstehen soll, wenn eine Zielverfehlung (auf Ebene der Gesamtemissionen) in zwei aufeinander folgenden Jahren festgestellt worden ist, statt wie bisher bereits bei einer einmaligen Zielverfehlung in einem einzelnen Sektor. Diese Erhöhung der Anforderung an das Steuerungssignal wurde vom Expertenrat als eine mögliche Option zur Verbesserung des KSG-Mechanismus diskutiert (ERK 2022b, Tab. 14), allerdings für eine sektorale Betrachtung und nur in Bezug auf Ist-Daten. In diesem Zusammenhang hat der Expertenrat festgestellt: „Vorteil wäre (...), dass dann teilweise schon das Treibhausgasinventar und damit eine bessere Datengrundlage zur Verfügung steht. Zudem würden Sondereffekte (...) besser abgebildet werden können und nicht „zufällig“ die Verpflichtung zur Vorlage eines Sofortprogramms ausgelöst. Der Nachteil (...) wäre, dass mit größerer Zeitverzögerung auf Zielverfehlungen reagiert würde“ (ERK 2022b, RZ129). Da nunmehr auf die kumulierten Gesamtemissionen, eventuell basierend auf Projektionen, abgestellt werden soll und die Unsicherheit auf Ebene der jährlich festgestellten Gesamtemissionen ohnehin gering ist (siehe Kapitel 4), erscheint der genannte Vorteil bei der geplanten Umstellung des Bundes-Klimaschutzgesetzes allerdings eher gering, während der Nachteil der Verzögerung bleibt. Vor diesem Hintergrund erschließt sich dem Expertenrat nicht, in welchem Sinne es für die Zielerreichung vorteilhaft wäre, bei einmaliger Zielüberschreitung der projizierten Gesamtemissionen abzuwarten, ob diese sich noch ein zweites Mal wiederholt.

Tabelle 10: Exemplarische Darstellung von Optionen zur Ausgestaltung des Auslösemechanismus bei einer Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im Sinne des Beschlusspapiers des Koalitionsausschusses

Option	1	2	3	4
Bezeichnung	Modell-basierte Projektion	Aktualisierte modell-basierte Projektion	Trendfortschreibung auf Basis Ist-Daten	Zielerreichungserwartung auf Basis Ist-Daten
Jährliche Betrachtung basierend auf	Modellierung	Modellierung in Verbindung mit Ist-Daten (einschließlich BVE-Daten des UBA)	Ist-Daten (einschließlich BVE-Daten des UBA)	Ist-Daten (einschließlich BVE-Daten des UBA)
Beschreibung	Verwendung des jeweils jüngsten, vorliegenden Projektionsberichts; Prüfung der Zielerreichung im Budget über alle Sektoren auf Basis der im Projektionsbericht verwendeten historischen bzw. bis zum nächsten Zieljahr (aktuell 2030) projizierten Daten. Es wird davon ausgegangen, dass (wie bereits angekündigt) jährlich ein Projektionsbericht erstellt wird.	Aktualisierung des jüngsten, vorliegenden Projektionsberichts unter Einbeziehung der BVE-Daten des UBA; Prüfung der Zielerreichung im Budget über alle Sektoren auf Basis der in der Aktualisierung abgeschätzten Projektion bis zum nächsten Zieljahr (aktuell 2030).	Verwendung eines im KSG festzulegenden mathematischen Algorithmus zur Trendfortschreibung auf Basis von Ist-Daten (Inventarberichtsdaten für weiter zurück liegende Jahre und BVE-Daten des UBA für Vorjahr); Vergleich der getätigten Emissionen im Budget bis einschließlich Vorjahr mit dem entsprechenden Summenwert nach KSG.	Aufsummierung der Emissionen über alle Sektoren einschließlich Vorjahresemissionen basierend auf Ist-Daten (Inventarberichtsdaten für weiter zurück liegende Jahre und BVE-Daten des UBA für Vorjahr); Vergleich der getätigten Emissionen im Budget bis einschließlich Vorjahr mit dem entsprechenden Summenwert nach KSG.
Prüfkriterium	Zielerreichung im Budget über alle Sektoren von 2021 bis zum Zieljahr (2030)?	Zielerreichung im Budget über alle Sektoren von 2021 bis zum Zieljahr (2030)?	Zielerreichung im Budget über alle Sektoren von 2021 bis zum Zieljahr (2030)?	Überschreiten die kumulierten Ist-Emissionen aller Sektoren von 2021 bis zum Jahr der BEV den korrespondierenden Sollwert um im Gesetz definierte maximal zulässige Überschreitung?
Aktualität	Niedrig, da der Projektionsbericht auf t-2 Inventardaten zurückgreift	Hoch, da die jüngsten Daten aus der BVE einfließen.	Hoch, da die jüngsten Daten aus der BVE einfließen.	Hoch, da die jüngsten Daten aus der BVE einfließen.

Option	1	2	3	4
Geschwindigkeit in der Umsetzung bis zum Beschluss von Maßnahmen	Hoch, da immer auf den jüngsten vorliegenden Projektionsbericht Bezug genommen wird.	Niedrig, da nach Veröffentlichung und Prüfung der BVE-Daten eine Aktualisierung des Projektionsberichts erforderlich ist.	Hoch, da unmittelbar im Anschluss an die Prüfung der BVE-Daten durch den ERK die Auslösebedingung festgestellt werden kann.	Hoch, da unmittelbar im Anschluss an die Prüfung der BVE-Daten durch den ERK die Auslösebedingung festgestellt werden kann.
Angreifbarkeit, Justiziabilität	Die Verwendung eines modell-basierten Auslösemechanismus hat die Problematik einer starken Abhängigkeit des Ergebnisses von zu treffenden Annahmen und somit resultiert ein größerer Interpretationsspielraum in Bezug auf die Ergebnisse der Zielüberprüfung. Die Tatsache, dass die Bundesregierung sowohl Auftraggeberin für den Projektionsbericht als auch diejenige Instanz ist, die zur Vorlage und den Beschluss von Maßnahmen bei entsprechendem Prüfergebnis verpflichtet ist, scheint besonders angreifbar, da bei der Modellierung zur Projektion zukünftiger Emissionen Annahmen und Randbedingungen, die durch die Auftraggeberin festgelegt werden, erfahrungsgemäß einen erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse haben.	Die Verwendung eines modell-basierten Auslösemechanismus hat die Problematik einer starken Abhängigkeit des Ergebnisses von zu treffenden Annahmen und somit resultiert ein größerer Interpretationsspielraum in Bezug auf die Ergebnisse der Zielüberprüfung. Die Tatsache, dass die Bundesregierung sowohl Auftraggeberin für den Projektionsbericht als auch diejenige Instanz ist, die zur Vorlage und den Beschluss von Maßnahmen bei entsprechendem Prüfergebnis verpflichtet ist, scheint besonders angreifbar, da bei der Modellierung zur Projektion zukünftiger Emissionen Annahmen und Randbedingungen, die durch die Auftraggeberin festgelegt werden, erfahrungsgemäß einen erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse haben.	Die Verwendung eines weitgehend Daten-basierten Auslösemechanismus reduziert die mögliche Infragestellung auf die statistischen und verfahrensbedingten Unsicherheiten der verwendeten Ist-Daten.	Die Verwendung eines weitgehend Daten-basierten Auslösemechanismus reduziert die mögliche Infragestellung auf die statistischen und verfahrensbedingten Unsicherheiten der verwendeten Ist-Daten.
Sonstige Gesichtspunkte	In der Vergangenheit wurden vielfach Abweichungen zwischen den Projektionen hinsichtlich der emissionsmindernden Wirkung von Maßnahmen in den Projektionsberichten und den faktisch erreichten Emissionsminderungen beobachtet. Modell-basierte Projektionen weisen verfahrensbedingt größere Unsicherheiten auf als Ist-Daten, die zudem umso größer sind, je weiter die Projektion in die Zukunft reicht.	In der Vergangenheit wurden vielfach Abweichungen zwischen den Projektionen hinsichtlich der emissionsmindernden Wirkung von Maßnahmen in den Projektionsberichten und den faktisch erreichten Emissionsminderungen beobachtet. Modell-basierte Projektionen weisen verfahrensbedingt größere Unsicherheiten auf als Ist-Daten, die zudem umso größer sind, je weiter die Projektion in die Zukunft reicht.	Ansatz erscheint sehr kritisch, da eine Trendfortschreibung politische Maßnahmen verfahrensbedingt unterschätzt. Auslösebetrachtung liefert keine Hinweise auf mögliche Ursachen und denkbare Maßnahmen.	Auslösebetrachtung liefert keine Hinweise auf mögliche Ursachen und denkbare Maßnahmen.

Eigene Darstellung. BVE bedeutet jährliche Berechnung der Vorjahresemissionsdaten durch das Umweltbundesamt mit Veröffentlichung zum 15. März und anschließender Prüfung durch den Expertenrat für Klimafragen bis innerhalb eines Monats.

Infokasten 1: Exemplarische Darstellung von Optionen für die Ausgestaltung des Auslösemechanismus

Für die Ausgestaltung des Auslösungsmechanismus im Sinne der Formulierung entsprechend Punkt 3 des Beschlusspapiers sieht der Expertenrat eine Bandbreite von Ausgestaltungsmöglichkeiten, die im Weiteren ohne Anspruch auf Vollständigkeit und juristische Ausgestaltung im Detail anhand vier denkbarer Optionen ausgeleuchtet wird.

Option 1 beschreibt eine Ausgestaltung, bei der der Auslösemechanismus ausschließlich auf eine modellbasierte Projektion setzt. Diese Option folgt somit einer ausschließlichen Ex-ante-Betrachtung, bei der die Daten des jeweils jüngsten Projektionsberichts Verwendung finden würden. Prüfkriterium wäre die Zielerreichung im Budget über alle Sektoren auf Basis der im Projektionsbericht erfolgten Projektion von 2021 bis zum nächsten Zieljahr (2030). Diese Ausgestaltung setzt somit voraus, dass jährlich ein Projektionsbericht erstellt wird, wie dies bereits angekündigt (UBA 2023h), bislang allerdings noch nicht im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschrieben ist. Die Prüfung könnte demnach jährlich nach Verabschiedung des Projektionsberichts erfolgen, würde allerdings auf zwei Jahre zurückliegenden Daten beruhen, da der Projektionsbericht den europäischen Regeln folgend auf t-2 Inventardaten basiert; die Aktualität der verwendeten Daten ist somit erheblich eingeschränkt. Eine Alternative zur ausschließlichen Verwendung der Daten des Projektionsberichts wäre es, für diejenigen Jahre, für die bereits Ist-Daten vorliegen, diese zu verwenden. Dies führt allerdings zu einer Inkonsistenz zwischen den Daten des Projektionsberichts und denen der jeweils aktuelleren Ist-Daten einschließlich der jüngsten Daten aus der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres (siehe RZ 184). Eine Problematik dieser Option ist eine starke Abhängigkeit des Ergebnisses von zu treffenden Annahmen, woraus ein größerer Interpretationsspielraum in Bezug auf die Ergebnisse der Zielüberprüfung resultiert als bei einem ausschließlich auf Ist-Daten basierten Ansatz, wie er im derzeitigen Bundes-Klimaschutzgesetz umgesetzt ist. Die Tatsache, dass die Bundesregierung sowohl Auftraggeberin für den Projektionsbericht als auch diejenige Instanz ist, die zur Vorlage und den Beschluss von Maßnahmen bei entsprechendem Prüfergebnis verpflichtet ist, scheint bei diesem Verfahren besonders angreifbar, da bei der Modellierung zur Projektion zukünftiger Emissionen Annahmen und Randbedingungen, die durch die Auftraggeberin festgelegt werden, erfahrungsgemäß einen erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse haben. Dieser Einfluss ist deutlich größer als bei reinen ex-post-Betrachtungen. Schließlich ist bei der Anwendung eines Verfahrens nach dieser Option einzubeziehen, dass – wie der Expertenrat in früheren Analysen festgestellt hat – die angekündigte Minderungswirkung von klimapolitischen Maßnahmen in der Vorausschau vielfach positiver bewertet wurde, als sich in der ex-post-Analyse der tatsächlichen Minderung nachweisen lässt (ERK 2022d, RZ267).

Option 2 beschreibt eine Ausgestaltung, bei der der Auslösemechanismus auf eine modellbasierte Projektion setzt, die auf Basis der Ergebnisse der Vorjahresemissionen aktualisiert wird. Diese Option folgt demnach einer Aktualisierung einer ex-ante-Betrachtung unter Verwendung der berechneten Daten für die Emissionen des Vorjahrs, die jährlich am 15. März durch das Umweltbundesamt veröffentlicht und innerhalb eines darauffolgenden Monats durch den Expertenrat für Klimafragen geprüft werden. Damit haben die der Prüfung zugrundeliegenden Daten zwar eine höhere Aktualität als bei Option 1, allerdings ist der zeitliche Aufwand für eine Aktualisierung der Projektion, die eine entsprechend neu durchzuführende Modellierung erfordert, nicht zu unterschätzen. Das Prüfkriterium wäre identisch zu demjenigen in Option 1. Daraus resultiert ein großer zeitlicher

Versatz zwischen Bericht und Prüfung der Vorjahresemissionen und einer letztlichen Feststellung eines Prüfergebnisses, die als Basis über die Notwendigkeit des Beschlusses von Maßnahmen dient. Die zuvor bei Option 1 genannten Nachteile in Bezug auf Angreifbarkeit und Justiziabilität sowie die grundsätzlich gegebene große Unsicherheit von Projektionen gelten für Option 2 gleichermaßen.

Option 3 beschreibt eine Ausgestaltung, bei der der Auslösemechanismus ausschließlich basierend auf Ist-Daten einschließlich der Ergebnisse der jährlich im März durch das Umweltbundesamt berichteten und durch den ERK geprüften Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres beruht, wobei basierend auf diesen Ist-Daten eine rechnerische Projektion im Sinne einer mathematischen Trendfortschreibung vorgenommen wird. Das Prüfkriterium wäre identisch zu demjenigen in Option 1. Ein wesentlicher Vorteil dieser Option ist, dass sowohl eine hohe Aktualität in Bezug auf die verwendeten Daten besteht als auch eine schnelle Feststellung zur Prüfung der Zielerreichung und somit die Entscheidung über das Erfordernis des Beschlusses von Maßnahmen gegeben ist. Genereller Vorteil von Daten-basierten Prüfentscheidungen ist außerdem eine geringere Angreifbarkeit als bei Verfahren, die eine Modellierung implizieren, da sich die mögliche Infragestellung auf die statistischen und verfahrensbedingten Unsicherheiten der verwendeten Ist-Daten reduziert. Allerdings hielte der Expertenrat das Verfolgen eines derartigen Ansatzes für sehr kritisch, da eine rein mathematisch basierte Trendfortschreibung politische Maßnahmen verfahrensbedingt nicht einbezieht und somit unterschätzt. Ein generelles Merkmal von Verfahren, die ausschließlich auf Ist-Daten basieren, ist, dass die Prüfbetrachtung ebenso wenig Hinweise auf mögliche Ursachen einer erwarteten Zielverfehlung liefert wie auf denkbare Maßnahmen, die eine zukünftige Zielerreichung unterstützen könnten. In einem solchen Verfahren ist also die reine Prüffeststellung strikt von einer tieferen Ursachenanalyse sowie von der Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen entkoppelt, was im Hinblick auf die Klarheit des Verfahrens als Vorteil erachtet werden kann.

Option 4 beschreibt eine Ausgestaltung, bei der der Auslösemechanismus ausschließlich basierend auf Ist-Daten einschließlich der Ergebnisse der jährlich im März durch das Umweltbundesamt berichteten und durch den Expertenrat geprüften Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres beruht und nur auf Basis dieser Ist-Daten eine Aussage über die mögliche Zielerreichung getroffen wird. Konkret wäre eine Ausgestaltung naheliegend, bei der eine Aufsummierung der Emissionen über alle Sektoren einschließlich der Vorjahresemissionen basierend auf Ist-Daten (Inventarberichtsdaten für weiter zurück liegende Jahre und BVE-Daten des Umweltbundesamtes für das Vorjahr) erfolgt und als Basis dient für einen Vergleich der bis einschließlich Vorjahr im Budget getätigten Emissionen mit dem entsprechenden Summenwert nach Bundes-Klimaschutzgesetz. Das Ergebnis dieses Vergleichs dient als Basis für die Entscheidung über die Notwendigkeit von Maßnahmenbeschlüssen. So könnte im Gesetz eine maximal zulässige Überschreitung des Istwerts gegenüber dem Sollwert definiert werden (absolut oder prozentual). Wird diese nicht eingehalten, so gilt dies als Auslösetatbestand für den Beschluss von Maßnahmen. Dabei erschiene es besonders plausibel, bei einer solchen Verfahrensweise die intertemporale Flexibilität in der Lastenteilung zu nutzen (max. 7,5 % Borrowing der jährlichen Emissionsmenge des Folgejahrs im Zeitraum 2021–2025 und 5 % im Zeitraum 2026–2030 (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2023)) und daran das Kriterium für eine maximal zulässige Überschreitung auszurichten. Was Aktualität und zeitliche Abfolge in der Umsetzung betrifft, gelten die Aussagen zu Option 3 gleichermaßen. Ebenso gelten auch hier die für Option 3 getroffenen Aussagen in Bezug auf eine strikte Trennung des Prüfprozesses von Prozessen der Ursachenanalyse und der Maßnahmenentwicklung.

7.1.4 Zur Veränderung der Verantwortlichkeit (§ 8 Abs. 1 KSG)

- 192 Bezüglich der Handlungskonsequenz wird im Beschlusspapier ausschließlich eine Kollektiverantwortung der Bundesregierung beschrieben und auf den Begriff des „Sofortprogramms“ verzichtet. Zwar wird auch weiterhin von einer Ressortzuständigkeit für die Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes ausgegangen. So wird in Punkt 3 des Papiers die besondere Verantwortlichkeit jener Ministerien, die für die Zielüberschreitung verantwortlich sind, betont und entsprechend Punkt 2 sollen die sektoralen Emissionen weiterhin berichtet und überprüft werden. Jedoch soll der sektorale Nachsteuermechanismus über die sektorspezifischen Sofortprogramme gemäß § 8 Abs. 1 KSG scheinbar entfallen. Stattdessen soll Handlungsbedarf für die Bundesregierung nur noch bei Überschreitungen des Gesamtziels über alle Sektoren entstehen, nicht aber bei Überschreitungen einzelner Sektoren, da diese durch Unterschreitungen in anderen Sektoren kompensiert werden können. Eine solche Veränderung hätte aus Sicht des Expertenrats verschiedene Konsequenzen und Voraussetzungen.
- 193 Der Expertenrat hat in einem früheren Bericht die Zuweisung der Verantwortlichkeiten für Sektorziele an einzelne Bundesministerien als wichtig zur Herstellung einer klaren Governance positiv gewürdigt und festgestellt, dass dies die Effizienz und Geschwindigkeit des Gesetzgebungsverfahrens sowie die Koordination innerhalb der Bundesregierung unterstütze (ERK 2022b, RZ132). Zwar hat die Bundesregierung bereits in der jetzigen Fassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes die Möglichkeit, bei ihren Beschlüssen Emissionsmengen in gewissem Umfang zwischen den Sektoren zu verrechnen (§ 8 Abs. 2 Satz 2 KSG); allerdings muss bislang das verantwortliche Ministerium unbenommen von dieser Flexibilitätsoption zwingend ein geeignetes Sofortprogramm vorschlagen, sofern ein Sektor das Jahresziel im Vorjahr überschritten hat (§ 8 Abs. 1 KSG). Der Wegfall dieser Verpflichtung würde die Ressortverantwortung entsprechend schwächen. Zudem kann der Verzicht auf die solcherart mit Nachdruck versehene Zuweisung von Zuständigkeit die Gefahr des Verharrens in angestammten technologischen Pfaden erhöhen (beispielsweise in den Sektoren Verkehr und Gebäude), somit einen rechtzeitigen Wechsel zu aus klimapolitischer Sicht erforderlichen Lösungen verzögern, und damit auch aus industriepolitischer Sicht den Transformationsprozess in der deutschen Wirtschaft hemmen. Daher weist der Expertenrat dringlich auf die möglichen abträglichen Folgen einer Aufweichung des strengen Ressortprinzips in § 8 Abs. 1 KSG hin.
- 194 Im Rahmen der europäischen Lastenteilung hat Deutschland jährliche Verpflichtungen für die Sektoren Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfall und Teile der Sektoren Energiewirtschaft und Industrie. Mindestens diese müssten in der Gesamtbilanz separat ausgewiesen werden und für diese müsste auch ein dediziert Sektor-bezogener Nachsteuerungsmechanismus etabliert werden, da Deutschland bei Verletzung erhebliche Strafzahlungen drohen bzw. aus anderen Ländern Emissionsgutschriften zugekauft werden müssten, wobei unsicher ist, ob diese überhaupt vorhanden sind. Insofern sieht der Expertenrat auch bei einer zukünftig stärker ausgeprägten Gesamtverantwortung der Bundesregierung im Bundes-Klimaschutzgesetz, wie sie im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses angelegt ist, die Notwendigkeit einer Verantwortungsübernahme für die Einzelsektoren durch die jeweils zuständigen Ministerien, die über die im Beschlusspapier genannten Punkte hinausgeht.

7.1.5 Zu weiteren geplanten Neuregelungen

- 195 Punkt 1 im Beschlusspapier lautet: „Künftig wird die Bundesregierung im ersten Jahr einer Legislaturperiode ein umfassendes sektorenübergreifendes Klimaschutzprogramm beschließen, um das Erreichen der Klimaziele sicherzustellen. Dabei liegt der Fokus auf einer langfristig wirksamen, ökonomisch vernünftigen und sozial gerechten Transformation“. Mit diesem Punkt plant der Koalitionsausschuss offenbar eine Novellierung des § 9 KSG zu den Klimaschutzprogrammen. In Ergänzung zu den bislang im Gesetz genannten Anlässen sollen solche Klimaschutzprogramme zukünftig auch verpflichtend in jedem ersten Jahr einer Legislaturperiode von der Bundesregierung beschlossen werden. Aus Sicht des Expertenrats würde eine solche Festlegung die Stellung der Klimaschutzpolitik in der Regierungsarbeit stärken und zu einem frühen Zeitpunkt eine Einigung über die für diesen Bereich gemeinsam angestrebten Maßnahmen unter den Regierungsparteien herstellen. Damit stünde mehr Zeit für die Umsetzung der beschlossenen Maßnahmen innerhalb der laufenden Legislaturperiode zur Verfügung. Nach Ansicht des Expertenrats kann eine solche Vorgabe daher dazu beitragen, dass Maßnahmen zur wirksamen Minderung von Treibhausgasemissionen frühzeitiger beschlossen werden als bislang. Zudem würde ein solches Vorgehen zu einer ganzheitlichen Betrachtung der von der jeweiligen Regierung angestrebten Klimaschutzpolitik führen und bei konsequenter Umsetzung die Berechenbarkeit von Politik für Unternehmen und Haushalte deutlich erhöhen. Daher bewertet der Expertenrat eine solche Ergänzung von § 9 KSG grundsätzlich positiv im Sinne der Ziele des Klimaschutzgesetzes
- 196 Punkt 4 im Beschlusspapier lautet: „Damit das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 erreicht werden kann, werden zum Ausgleich unvermeidbarer Emissionen natürlichen Senken und technische Senken wie Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (BECCS) oder direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft und anschließende Speicherung (DACCS) eine Rolle spielen. Die Bundesregierung wird für die Jahre 2035, 2040 und 2045 ein Ziel für Negativemissionen festlegen. Dies wird erstmalig im Jahr 2024 auf Basis der im Koalitionsvertrag für dieses Jahr vorgesehenen Langfriststrategie zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen geschehen.“ Mit diesem Punkt geht der Koalitionsausschuss auf die sogenannten Negativ-Emissionen durch die verstärkte Nutzung natürlicher und technischer Senken ein und sieht die Festlegung entsprechender Ziele im Rahmen der Langfriststrategie vor. Zwischen einem Ziel für Negativ-Emissionen und einem Ziel für zulässige Jahresemissionsmengen besteht zur Erreichung eines Netto-Null Ziels eine gegenläufige Beziehung: Je höher die (angestrebten) Negativ-Emissionen sind, desto höher dürfen auch die (geplanten) Restemissionen ausfallen. Ein hohes Ziel für Negativ-Emissionen könnte daher möglicherweise zur Legitimierung einer Senkung des Ambitionsniveaus bei der Emissionsminderung herangezogen werden. Würden sich dann die Ziele für die Negativ-Emissionen nicht materialisieren, könnte Deutschland insgesamt seine Klimaschutzziele verfehlen. Mit Blick auf die vielfältigen Unsicherheiten im Hinblick auf die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit von Negativ-Emissionen sowie deren soziale Akzeptanz (Geden und Schäfer 2016), empfiehlt der Expertenrat daher die Ziele für die Negativ-Emissionen möglichst konservativ anzusetzen.
- 197 Neben den diskutierten Eckpunkten enthält das Beschlusspapier des Koalitionsausschusses weitere Überlegungen zur Neugestaltung der Klimaschutzpolitik, unter anderem zur besseren Verschränkung der europäischen und der nationalen Steuerungsmechanismen. Damit greift der Koalitionsausschuss eine Thematik auf, die vom Expertenrat bereits mehrfach diskutiert worden ist (v. a. ERK (2021, Kap. 7 und RZ185) und ERK (2022b, Kap. 7.1)). Während der Expertenrat grundsätzlich die Vorteile einer verbesserten Konsistenz zwischen europäischen und nationalen Zielvorgaben und Instrumenten weiterhin begrüßt, weist er auch auf mögliche Risiken einer übereilten Aufgabe nationaler

Steuerungssignale hin. Sowohl das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) als auch der EU-ETS II der Europäischen Union sind noch weit davon entfernt, harte Mengengrenzen sicher zu implementieren. Und sobald die Mengengrenzen hart einzuhalten sind, könnten sich unerwünschte Verteilungseffekte ergeben (siehe ERK 2022b, RZ121 ff.). In diesem Zusammenhang stellt der Expertenrat fest, dass die vom Koalitionsausschuss verabredete Prüfung der Möglichkeiten der Flexibilisierung der europäischen Lastenteilungsverordnung eine grundlegende Überarbeitung der europäischen Gesetzeslage erfordern würde (siehe Beschlussfassung der ESR vom März 2023 (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2023)). Der vom Koalitionsausschuss avisierte „Vorschlag für den Übergang vom nationalen (BEHG) zum europäischen CO₂-Preis (ETS II) sowie für die Architektur der europäischen und nationalen Klimapolitik ab 2030“ (Bundesregierung 2023a, S. 3) sollte daher nach Ansicht des Expertenrats diese Risiken ausdrücklich in den Blick nehmen und angemessen berücksichtigen. Unabhängig von der Frage der Instrumente, wiederholt der Expertenrat seine Empfehlung, die Gliederung der Sektoren zusätzlich so auszuweisen, dass Emissionen, die von europäischen Instrumenten erfasst werden, transparent von jenen abgegrenzt werden können, die nicht europäisch erfasst sind (siehe ERK 2022b, RZ119 f.).

7.1.6 Fazit zu den Vereinbarungen des Koalitionsausschusses

198 Insgesamt empfiehlt der Expertenrat für Klimafragen dem Gesetzgeber, die vorgeschlagenen Änderungen des Klimaschutzgesetzes sehr sorgfältig auf Vor- und Nachteile zu prüfen. Nachdrücklich plädiert der Expertenrat für eine Weiterverfolgung eines Budgetansatzes und eine klare Umsetzung dessen im Kontext der geplanten Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Zudem weist der Expertenrat kritisch auf die tendenzielle Schwächung der Ressortverantwortung, den geplanten Übergang zu einem auf erst nach zweijähriger Wiederholung abstellenden Kriteriums und den möglichen Verzicht auf die Einbeziehung von ex-post-Daten in der Steuerungslogik hin. Ferner betont der Expertenrat die Notwendigkeit einer Absicherung der für die Projektion genutzten Daten, insbesondere wenn diese im Kontext des Auslösemechanismus Anwendung finden. Angesichts der vom Expertenrat in seinem Zweijahresgutachten festgestellten enormen Herausforderungen für die Erreichung der KSG-Ziele für das Jahr 2030 (siehe ERK 2022d, v. a. Kap. 4) sowie der auch im letzten Projektionsbericht festgestellten substanziellen Erfüllungslücke (siehe Öko-Institut et al. 2021) deutet dieser Befund darauf hin, dass die geplante Abschwächung der Kriterien für eine verpflichtende Befassung der Bundesregierung mit der Zielerreichung im Sinne des Bundes-Klimaschutzgesetzes die Gefahr einer Verfehlung der Treibhausgasminderungsziele aus § 4 Absatz 1 KSG erhöht.

7.2 Präzisierung der zulässigen Jahresemissionsmengen im Sektor Energiewirtschaft

199 Für den Sektor Energiewirtschaft enthält die Anlage 2 KSG nur Ziele für die Jahre 2020, 2022 und 2030. Zwar gibt § 4 Abs. 1 Satz 4 KSG vor, dass die zulässigen Jahresemissionsmengen zwischen den in Anlage 2 KSG genannten Stützjahren „möglichst stetig“ sinken sollen; eine genaue Festlegung dieser Werte durch den Gesetzgeber oder die Bundesregierung liegt jedoch derzeit nicht vor. Eine weitere Randbedingung hinsichtlich festgelegter Ziele ergibt sich zudem durch die im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz festgeschriebenen Daten für die Stilllegung von Kohlekraftwerken. Hieraus folgt potenziell ein Emissionsgeschehen, welches von der Vorgabe eines „möglichst stetigen“ Sinkens abweichen könnte. Insgesamt stellt der Expertenrat daher fest, dass das Bundes-Klimaschutzgesetz in seiner aktuellen Fassung weder für die Energiewirtschaft noch, in der

Folge, für die Gesamtemissionen genaue Vorgaben für die Jahre 2021 und 2023 bis 2029 macht. Damit ist auch das Budget für die Energiewirtschaft, und in der Folge das Gesamtbudget, für die Jahre 2020 bis 2030 nicht genau definiert.

- 200 Bereits für die Anwendung des derzeitigen Klimaschutzgesetzes ergibt sich angesichts der nur für die Jahre 2020, 2022 und 2030 genau benannten Ziele für den Sektor Energiewirtschaft eine wichtige offene Frage bezüglich der im Bundes-Klimaschutzgesetz formulierten Anforderung, die Zielerreichung im Sektor Energiewirtschaft für die Jahre 2023, 2026 und 2029 zu überprüfen (§ 8 Abs. 4 KSG): Welche Ziele sind hierfür anzulegen? Die Beantwortung dieser Frage setzt auch die Definition eines eindeutigen Aufsattpunkts für die Anwendung des Ausgleichsmechanismus aus § 4 Abs. 3 KSG voraus (siehe Kapitel 5.2 und RZ Z29). Indirekt betroffen ist auch die Prüfung nach § 54 KVBG (Bfj 2021), da für diese Prüfung ein Querbezug zu den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes von erheblicher Bedeutung zu sein scheint.
- 201 Mit der im Ergebnispapier des Koalitionsausschusses vereinbarten Bezugnahme auf die Gesamtemissionen (Bundesregierung 2023a, S. 2 f., Punkt 3) wird die genaue Festlegung eines Budgetwertes für den Sektor Energiewirtschaft zwingend erforderlich. Anderenfalls wäre ein Gesamtminderungsziel nicht eindeutig gegeben. Aus Sicht des Expertenrats sollte dieses Gesamtbudget für den Sektor Energiewirtschaft nicht höher gewählt werden als der Wert, der sich rechnerisch aus der Anwendung linearer Interpolation zwischen den bislang gesetzten Jahreszielen 2020 und 2022 sowie zwischen 2022 und 2030 ergibt. Dieses aktuelle Gesamtbudget beträgt nach Berechnung des Expertenrats 1.911 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum 2021–2030. Davon sind mit den jetzt vorliegenden Daten 501 Mt CO₂-Äq. bereits aufgebraucht
- 202 Zusätzlich zur zwingend notwendigen Festlegung eines Budgetwertes für den Sektor Energiewirtschaft empfiehlt der Expertenrat, mit der geplanten KSG-Novelle auch jahresscharfe Zielwerte für die Energiewirtschaft genau zu definieren. Zudem sollte der Anrechnungsmechanismus bei Über- und Unterschreitungen (§ 4 Abs. 3 KSG) identisch wie in den fünf anderen Sektoren angewandt werden, um analog zu den anderen Sektoren auch für den Sektor Energiewirtschaft ein kontinuierliches Monitoring zu ermöglichen. Der Expertenrat hält nur damit den Anspruch des Ergebnisapiers für einlösbar, dass für jeden Sektor – und damit auch für den Sektor Energiewirtschaft – „das Vorjahresergebnis [...] dahingehend bewertet [wird], ob die zur Zielerreichung benötigte Minderungsmenge für jeden Sektor erreicht werden wird.“
- 203 Insgesamt ist daher aus Sicht des Expertenrats eine Klärung bezüglich der beschriebenen Punkte sowohl für das jetzige Bundes-Klimaschutzgesetz als auch für ein möglicherweise novelliertes Bundes-Klimaschutzgesetz von erheblicher Bedeutung. Der Expertenrat empfiehlt dem Gesetzgeber und der Bundesregierung daher, die entsprechenden Festlegungen vorzunehmen. Für den Fall, dass die offenen Fragen zu den zulässigen Emissionsmengen der Energiewirtschaft für die Jahre 2021 sowie 2023 bis 2029 nicht rechtzeitig geklärt werden, wird der Expertenrat in seinen Prüfungen nach § 8 Abs. 4 KSG sowie nach § 54 KVBG einen strikten Budget-Ansatz unter Anwendung linearer Interpolation zwischen 2020 und 2022 sowie zwischen 2022 und 2030 zur Anwendung bringen und dabei den Ausgleichsmechanismus ab dem Jahr 2021 berücksichtigen (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Jahresemissionsmengen für die Energiewirtschaft (in Mt CO₂-Äq.) mit linear interpolierten Zwischenzielen ohne und unter Anwendung des Ausgleichsmechanismus ab dem Jahr 2021

Jahres-emissionsmengen Energiewirtschaft	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
KSG Anlage 2 mit linear interpolierten Zwischenzielen	280,0	268,5	257,0	238,4	219,8	201,1	182,5	163,9	145,3	126,6	108,0
Anwendung des Ausgleichs- mechanismus ab 2021 auf linear interpolierte Zwischenziele	280,0	268,5	259,6	241,4	222,8	204,2	185,6	166,9	148,3	129,7	111,1

Anlage 2 KSG und eigene Berechnungen.

Jahre, in denen im Bundes-Klimaschutzgesetz in Anlage 2 Jahresemissionsmengen angegeben sind, sind farblich hinterlegt. Die erste Zeile entspricht den Werten der Anlage 2 Bundes-Klimaschutzgesetz mit linear interpolierten Zwischenzielen ohne eine Anwendung des Ausgleichsmechanismus. Die zweite Zeile beinhaltet eigene Berechnungen der Jahresemissionsmengen bei linear interpolierten Zwischenzielen und unter Anwendung des Ausgleichsmechanismus im Berichtsjahr 2021 und 2022.

7.3 Sonstige Aspekte des Bundes-Klimaschutzgesetzes

204 Der Expertenrat hat im Jahr 2022 verschiedene weitere Ansatzpunkte zur Verbesserung im Hinblick auf die Umsetzung des KSG-Steuerungsmechanismus identifiziert, von denen etliche aus heutiger Sicht auch für die vom Koalitionsausschuss vorgezeichnete Neufassung von Belang sein werden.

7.3.1 Prüfprozess bei Zielüberschreitung

205 Der Expertenrat stellt erneut fest, dass der Wortlaut des Bundes-Klimaschutzgesetzes offensichtlich Unschärfen bezüglich des Prüfprozesses bei Zielüberschreitungen eröffnet (siehe Kapitel 5.3.2 sowie ERK (2022b, Z20)). Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag nachdrücklich, in den entsprechenden Fragen im Rahmen einer Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes rechtliche Klarheit zu schaffen.

206 Aus Sicht des Expertenrats geht es dabei um Klarstellungen bezüglich drei zentraler Fragen: a) Woran soll festgemacht werden, dass ein von dem zuständigen Ministerium vorgelegtes Sofortprogramm den Anspruch an das Bundes-Klimaschutzgesetz (in der heute gültigen Fassung nach § 8 Abs. 1 KSG) erfüllt? b) Welchen Anspruch muss ein nach festgestellter Überschreitung geforderter Beschluss der Bundesregierung erfüllen (in der gültigen Fassung entsprechend § 8 Abs. 2 KSG)? c) Wie stellt die Bundesregierung sicher, dass der Expertenrat seiner nach § 8 Abs. 2 Satz 3 KSG bestehenden Pflicht nachkommen kann, die den von der Bundesregierung beschlossenen Maßnahmen zugrunde gelegten Annahmen zur Treibhausgasreduktion zu prüfen?

207 Zu Buchstabe a) hat der Expertenrat bereits im Vorjahr festgestellt (ERK 2022a, Z4), dass eine Konkretisierung des Bewertungskriteriums in § 8 Abs. 1 KSG mit Blick auf die Forderung nach „Sicherstellung“ der „Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors in den folgenden Jahren“ notwendig ist (siehe hierzu auch Wollenteit 2023, II.1 (2) und II.1 (3)). Hierbei geht es zum einen um die Frage, ob die Einhaltung der zulässigen Jahresemissionsmengen in jedem einzelnen Jahr oder nur kumuliert über den verbleibenden Zeitraum bis zum nächsten Zieljahr, derzeit 2030, nachgewiesen

werden muss. Diese Unklarheit würde entfallen, wenn wie im Papier des Koalitionsausschusses vorgesehen durchgängig das Kriterium der Budgetbetrachtung etabliert werden würde. Zum anderen muss geklärt werden, wie die Vorgabe der „Sicherstellung“ der Einhaltung zukünftiger Ziele nachgewiesen und vom Expertenrat geprüft werden soll. Diese Frage bleibt weiterhin virulent, da Vorausschätzungen inhärent unsicher sind und daher in jedem Fall Vorgaben zu Wahrscheinlichkeitskriterien für Berichterstattung und Prüfung gemacht werden müssen.

- 208 Anders als § 8 Abs. 1 KSG gibt § 8 Abs. 2 KSG zu Buchstabe b) keine ausdrückliche Vorgabe. Der Expertenrat empfiehlt dem Gesetzgeber klarzustellen, dass die zu beschließenden Maßnahmen, unter Nutzung der in § 8 Abs. 2 Satz 2 KSG genannten Flexibilität, mindestens denselben Anspruch erfüllen müssen wie die § 8 Abs. 1 KSG geregelten Sofortprogramme. Selbiges sollte für die im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses (Punkt 3, S. 2/3) genannten Maßnahmen gelten.
- 209 Der Expertenrat empfiehlt, die entsprechende Klärung zu a) bzw. b) in dem folgenden Sinne vorzunehmen: Ein Sofortprogramm bzw. die von der Bundesregierung durch Beschluss getroffenen Maßnahmen erfüllen die Vorgaben des Bundes-Klimaschutzgesetzes (in aktueller Fassung von § 8 Abs. 1 KSG), wenn nachgewiesen werden kann, dass nach Umsetzung der beschlossenen Maßnahmen die Einhaltung der Jahresemissionsmengen in der Budgetbetrachtung wahrscheinlich im Sinne der Nomenklatur des IPCC (FN 8) ist, d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 66 % eintritt. Bei der Budgetbetrachtung müssen die Einschränkungen aus der Europäischen Klimaschutzverordnung bezüglich des Vorziehens von Emissionen berücksichtigt werden. Dieses Kriterium könnte sowohl für die Bewertung sektoraler Emissionsmengen oder der Gesamtemissionsmengen herangezogen werden.
- 210 Zu Buchstabe c) besteht die Unschärfe im möglichen Auseinanderfallen des nach § 8 Abs. 1 KSG vorzulegenden Sofortprogramms und der tatsächlichen Beschlussvorlage der Bundesregierung für Ihre Entscheidung nach § 8 Abs. 2 KSG. Für letztere hat der Expertenrat das Prüfmandat gemäß § 12 Abs. 2 KSG in Verbindung mit § 8 Abs. 2 Satz 3 KSG. In der Praxis hat der Expertenrat für Klimafragen in den Jahren 2021 und 2022 allerdings die jeweils vorgelegten Sofortprogramme im Sinne von § 12 Abs. 2 KSG geprüft, was im Rahmen der vom Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanik sinnvoll erscheint. Um die Bundesregierung und den Deutschen Bundestag bei der Erstellung von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele bestmöglich zu unterstützen, und vor dem Hintergrund der bislang gemachten Erfahrungen, empfiehlt der Expertenrat dem Gesetzgeber ergänzend im novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz zu verankern, dass eine Prüfung der Annahmen der bei Zielüberschreitungen erforderlich werdenden Maßnahmen in zwei Schritten erfolgen sollte, d.h. im ersten Schritt vor Beginn der Ressortabstimmung, im zweiten Schritt vor Beschlussfassung durch die Bundesregierung. Idealerweise bittet die Bundesregierung den Expertenrat, unter Überlassung der notwendigen Unterlagen, in jedem Einzelfall ausdrücklich, mit der jeweiligen Prüfung zu beginnen.
- 211 Bleibt die Gesetzeslage bis zum Sommer 2023 unverändert, wird der Expertenrat die dann nach § 8 Abs. 1 KSG bis zum 17. Juli 2023 vorzulegenden Sofortprogramme für die Sektoren Gebäude und Verkehr (siehe Kapitel 5.1) erst zu dem Zeitpunkt prüfen, zu dem die Bundesregierung den Expertenrat schriftlich um eine entsprechende, an die Vorgabe aus § 12 Abs. 2 KSG angelehnte Prüfung bittet. Im Übrigen verweist der Expertenrat auf die Pflicht der Bundesregierung gemäß § 8 Abs. 2 Satz 3 KSG zur Vorlage von Annahmen vor der Erstellung einer Beschlussvorlage.

7.3.2 Handlungsfolgen bei Zielüberschreitung

- 212 Der Expertenrat hat festgestellt, dass die Bundesregierung die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Handlungsfolgen bislang nur teilweise und nur in einer weiten Auslegung der Vorgabe von „schnellstmöglich“ aus § 8 Absatz 2 Satz 1 KSG umgesetzt hat (siehe Kapitel 5.3.2). Der Expertenrat empfiehlt, bei einer Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes Schlussfolgerungen aus diesen Beobachtungen zu ziehen. Gerade wenn die Überprüfungszeiträume verlängert und die Inzidenz des Eintritts von Handlungsfolgen wie geplant gemindert werden soll (siehe Kapitel 7.1.3), wird es für eine möglichst sichere Zielerreichung umso wichtiger, dass Handlungsfolgen tatsächlich vollständig und schnellstmöglich realisiert werden. Der Expertenrat empfiehlt dem Gesetzgeber daher insbesondere, seine Erwartungen an das Verhalten der Bundesregierung inhaltlich (siehe Kapitel 7.1.3 und 7.1.4) sowie terminlich zu spezifizieren sowie über die Festlegung von expliziten Sanktionen bei Nicht-Befolgung dieser Vorgaben durch die Bundesregierung zu beraten.
- 213 Bezüglich der Konkretisierung der vorzulegenden Fristen empfiehlt der Expertenrat dem Gesetzgeber, die – in aktueller Fassung nach § 8 Abs. 2 KSG – zu treffenden Beschlüsse nach Möglichkeit in dem Kalenderjahr zu treffen, in dem die Zielüberschreitung festgestellt worden ist (siehe auch Wollenteit 2023, S. 21). Nur so kann nach Auffassung des Expertenrats das Ziel der Nachsteuerungslogik sinnvoll genutzt werden. Bei späteren Beschlüssen geht potenziell Zeit verloren, die durch die frühe Feststellung einer Zielüberschreitung (bis zum 15. April des Folgejahres) gerade gewonnen werden sollte. Zudem kann es zu zeitlicher Überlagerung mit späteren Zielüberschreitungen kommen, was der Intention der Steuerungsmechanik zuwiderliefe, insbesondere solange diese – wie aktuell im Bundes-Klimaschutzgesetz – auf jährlicher Basis erfolgt. Bei der angedachten Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes wäre entsprechend zu klären, welche konkreten Rechtsfolgen einschließlich zeitlicher Fristen sich daraus ableiten, wenn in mehr als zwei Jahren in Folge eintritt, „dass mit den aggregierten Jahresemissionen bis zum Jahr 2030 das Gesamtminderungsziel nicht erreicht wird“, also die Notwendigkeit des Beschlusses von Maßnahmen durch die Bundesregierung ausgelöst wird.
- 214 Ferner ist deutlich geworden, dass sich bei Nachkorrekturen im Treibhausgasinventar nachträglich Zielüberschreitungen einstellen können, die im Bericht zum Zeitpunkt (BJ+1) noch nicht gemessen worden sind (siehe Kapitel 5.3.1). Derartige Fälle können sich auch bei der im Beschlusspapier des Koalitionsausschusses beschriebenen Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes weiterhin ergeben. Der Expertenrat empfiehlt daher, sich aus den stets aktualisierten Treibhausgasinventaren ergebende Informationen ausdrücklich zu berücksichtigen. Insbesondere sollte stets das Treibhausinventar genutzt werden, wenn rückwirkend eine Zielüberschreitung über mehrere Jahre festgestellt werden soll.
- 215 Das Gesetz sieht in § 4 Abs. 3 KSG vor, dass bei Zielüber- oder -unterschreitungen in einem Sektor die Differenzmenge auf die verbleibenden Jahresemissionsmengen des Sektors bis zum nächsten Zieljahr gleichmäßig angerechnet wird (Ausgleichsmechanismus). Bisher ist im Gesetz lediglich vorgesehen, dass das Umweltbundesamt die angepassten Jahresemissionsmengen veröffentlicht (§ 5 Abs. 2 KSG), allerdings geht daraus nicht eindeutig hervor, dass diese damit verbindlich sind und wo die aktualisierte Tabelle von Anlage 2 KSG geführt wird. Es sollte im Gesetz ein Passus hinzugefügt werden, der vorschreibt, dass das Umweltbundesamt die Tabelle mit den jeweils aktuellen Werten führt (mit Angabe einer konkreten Internetseite), um diese formale Unklarheit auszuräumen.

7.3.3 Methodenwechsel bei der Berechnung der Emissionsfaktoren

- 216 Der Expertenrat hat in seinem Prüfbericht der Berechnung der Emissionen des Jahres 2021 festgestellt, dass ein Methodenwechsel in der Berechnung der Lachgas-Emissionen für Kompostierung und Vergärung (CRF-Kategorie 5.B) zu einer Verringerung des ausgewiesenen Wertes um rund 40 % geführt hat (ERK 2022a, RZ88). Gleichzeitig blieb allerdings das Sektorziel für den Sektor Landwirtschaft unverändert. Eine solche Korrektur des KSG-Ziels könnte durchaus in der Intention des Bundes-Klimaschutzgesetzes liegen. Denn der Gesetzgeber hat zum Zeitpunkt der Festlegung dieses Sektorziels, nämlich im Jahr 2019, die Auswirkungen dieses Methodenwechsels vermutlich nicht antizipiert, denn sonst hätte er ausweislich der Gesetzesbegründung vermutlich keinen stetigen Minderungspfad zwischen 2020 und 2030 für diesen Sektor in Anlage 2 KSG hinterlegt.
- 217 Allgemein zeigt sich an diesem Befund, dass derartige Methodenwechsel das Anspruchsniveau des KSG implizit reduzieren oder erhöhen. Daraus leitet sich die grundsätzliche Frage ab, welche Auswirkungen solche Methodenwechsel auf die Anpassung der sektoralen Zielstellungen in Anlage 2 KSG (und damit indirekt auch für die Gesamtzielsetzung laut §§ 3, 3a und KSG) haben sollten. Aus Sicht des Expertenrates sollte das Bundes-Klimaschutzgesetz daher um einen Passus ergänzt werden, dass bei einem Methodenwechsel, der zu Veränderungen der errechneten Emissionswerte führt, welche größer als ein zu definierender Schwellwert sind, zwingend eine Revision der KSG-Ziele erfolgen sollte, und zwar für alle Sektoren und Jahre, die von diesem Methodenwechsel betroffen sind.

8 Literaturverzeichnis

AGEB (2023a): Blocker; Energiebilanz der Bundesrepublik 2021. Stand 31.01.2023. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023b): Frühschätzung der Energiebilanz der Bundesrepublik 2022 (unveröffentlicht). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023c): Tabellen. Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2022 (in TWh) Deutschland insgesamt. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/03/STRERZ22A11_Abg_0223.pdf (05.04.2023).

AGEB (2022): Energieverbrauch in Deutschland. Daten für das 1. bis 4. Quartal 2022. Hg. v. AG Energiebilanzen e.V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/01/quartalsbericht_q4_2022.pdf (27.02.2023).

AGEB (2021): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. Daten für die Jahre von 1990 bis 2021. Hg. v. AG Energiebilanzen e.V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/09/awt_2021_d.pdf (27.10.2022).

AGEB (2015): Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Hg. v. AG Energiebilanzen e.V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/11/vorwort.pdf> (30.03.2023).

AGEE-Stat (2023): Monatsbericht zur Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung und Leistung in Deutschland. Stand: 13.02.2023. Hg. v. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/02-2023_agee-stat_monatsbericht_final.pdf (27.07.2023).

Agora Energiewende (2023): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023. Analyse. Hg. v. Agora Energiewende. Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-10_DE_JAW2022/A-EW_283_JAW2022_WEB.pdf (27.02.2023).

BAFA (2022): Amtliche Mineralölkosten für die Bundesrepublik Deutschland. Dezember 2021. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_amtliche_daten_2021_12.html (24.03.2022).

BDEW (2022): Die Energieversorgung 2022. Jahresbericht. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/jahresbericht_2022_final_20Dez2022.pdf (27.07.2023).

BDH (2023a): Grafik. Marktentwicklung Wärmeerzeuger Deutschland 2013–2022. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH). Online verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Marktstruktur_zehn_Jahre_2022_DE_022023b.pdf (07.03.2023).

BDH (2023b): Pressemitteilung. Jahresbilanz 2022: Heizungsmarkt boomt. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH). Online verfügbar unter: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemeldungen/artikel/jahresbilanz-2022-heizungsmarkt-boomt> (07.03.2023).

BDI (2022): Lagebild im industriellen Mittelstand. Umfrage/Auswertung. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI). Online verfügbar unter: https://issuu.com/bdi-berlin/docs/20220906_umfrage_bdi_lagebild_mittelstand (27.02.2023).

BfJ (2023): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html (12.04.2023).

BfJ (2021): Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung* (Kohleverstromungsbeendigungsgesetz - KVbG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/kvbg/BJNR181810020.html> (12.04.2023).

Bitkom (2022): Pressemitteilung. Ukraine-Krieg: Die Hälfte der Deutschen spart fossile Energie ein. Hg. v. Bitkom e.V. (Bitkom). Online verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Ukraine-Krieg-Haelfte-spart-fossile-Energie> (07.03.2023).

BMWK (2022a): Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs. Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/2-waermepumpen-gipfel-eckpunktepapier.html> (07.03.2023).

BMWK (2022b): Hintergrundpapier. Energieeinspar-Verordnungen zur Senkung des Gas- und Stromverbrauchs. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/energiesparverordnung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (22.08.2022).

BMWK (2022c): Internetseite. Die Energiewechsel-Kampagne des BMWK. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.energiewechsel.de/KAENEf/Navigation/DE/Service/Kampagne-Energieeffizienz/kampagne-energiewechsel.html> (07.03.2023).

BMWK (2022d): Jahreswirtschaftsbericht 2022. Für eine Sozial-ökologische Marktwirtschaft – Transformation innovativ gestalten. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/jahreswirtschaftsbericht-2022.html> (16.03.2023).

BMWK (2022e): Monitoringbericht der Bundesregierung zum Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich nach § 98 Absatz 3 EEG 2021. Bericht 2022. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-der-bundesregierung-zum-ausbau-der-erneuerbaren-energien.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (27.02.2023).

BMWK (2022f): Pressemitteilung. Bundesregierung verständigt sich auf Anpassung des Stabilisierungspakets für Uniper: Bund übernimmt 99% an Uniper. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/09/20220921-bundesregierung-verstandigt-sich-auf-anpassung-des-stabilisierungspakets-fur-uniper.html> (16.03.2023).

BMWK (2022g): Überblickspapier Osterpaket. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.pdf?__blob=publicationFile&v=14 (18.08.2022).

BMWK (2022h): Verordnung der Bundesregierung. Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über kurzfristig wirksame Maßnahmen. (Kurzfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung – EnSikuMaV). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ensikumav.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (01.11.2022).

BMWK (2022i): Verordnung der Bundesregierung. Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen. (Mittelfristenergieversorgungssicherungsmaßnahmenverordnung – EnSimiMaV). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ensimimav.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (01.11.2022).

BMWK, AGEE-Stat (2023): Internetseite. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand: Februar 2023. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html (04.04.2023).

BMWK, BMWSB (2022): 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024. Konzeption zur Umsetzung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). (Nicht öffentlich).

BNetzA (2023): Internetseite. SMARD Strommarktdaten. Der Strommarkt im Jahr 2022. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/209624> (27.02.2023).

BNetzA, BKartA (2023): Monitoringbericht 2022. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB. Stand: 1. Februar 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) und Bundeskartellamt (BKartA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2022.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (30.03.2023).

Böttcher, C. (2022): Aktualisierung der Emissionsfaktoren für Methan für die Erdgasbereitstellung. Gegenüberstellung der bisherigen Methoden unter der Treibhausgasberichterstattung mit neuen Erkenntnissen aus Emissionsmessungen in Deutschland. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_159-2022_aktualisierung_der_emissionsfaktoren_fuer_methan_fuer_die_erdgasbereitstellung.pdf (23.03.2023).

Bundesregierung (2023a): Beschluss des Koalitionsausschusses vom 28.03.2023. Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung. Hg. v. Bundesregierung. Online verfügbar unter:

https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Beschluesse/20230328_Koalitionsausschuss.pdf (12.04.2023).

Bundesregierung (2023b): Internetseite. Entlastungen. Fragen und Antworten zum "Tankrabatt". Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/faq-energiesteuersenkung-2049702> (12.04.2023).

Burger, B. (2023): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2022. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Fraunhofer ISE). Online verfügbar unter:

https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2023/Stromerzeugung_2022.pdf (27.07.2023).

BVerfG (2021): Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021. 1 BvR 2656/18 -, Rn. 1-270. Hg. v. Bundesverfassungsgericht (BVerfG). Online verfügbar unter:

https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2021/03/rs20210324_1bvr265618.html (08.04.2022).

BWP (2023): Internetseite. Zahlen & Daten. Absatzzahlen. Hg. v. Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP). Online verfügbar unter:

<https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/absatzzahlen/> (07.03.2023).

BWP (2022): Grafik. Absatzzahlen und Marktanteile. Absatzentwicklung Wärmepumpen in Deutschland 2002-2021. Hg. v.

Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP). Online verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/> (31.10.2022).

DEHSt (2019): Leitfaden Zuteilung 2021–2030. Hg. v. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt). Online verfügbar unter:

https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere_anlagen/2021-2030/Zuteilung-2030-Glossar-Abkuerzungen.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Destatis (2023a): Preise Daten zur Energiepreisentwicklung - Lange Reihen von Januar 2005 bis Dezember 2022. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter:

https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Publikationen/Energiepreise/energiepreisentwicklung-xlsx-5619001.xlsx?__blob=publicationFile (27.02.2023).

Destatis (2023b): Pressemitteilung. Bevölkerung im Jahr 2022 auf 84,3 Millionen gewachsen. Nettozuwanderung auf Rekordniveau sorgt für Höchststand der Bevölkerungszahl. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter:

https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/01/PD23_026_124.html (07.03.2023).

Destatis (2023c): Tabelle. 42153-0001. Produktionsindex für das Verarbeitende Gewerbe: Deutschland, Monate, Original- und bereinigte Daten, Wirtschaftszweige (Hauptgruppen und Aggregate) Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter:

<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42153-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1677161208080#abreadcrumb> (27.02.2023).

Destatis (2023d): Tabelle. 42153-0002. Produktionsindex für das Verarbeitende Gewerbe: Deutschland, Monate, Original- und bereinigte Daten, Wirtschaftszweige (2-/3-/4-Steller) Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: [https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42153-](https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42153-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1677161208080#abreadcrumb)

[0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1677161208080#abreadcrumb](https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42153-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1677161208080#abreadcrumb) (27.02.2023).

Destatis (2023e): Tabelle. 43311-0002: Elektrizitätserzeugung, Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz: Deutschland, Monate, Energieträger. Monatserhebung ü. Elektrizitäts- u. Wärmeerzeugung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter:

<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=43311-0002#astructure> (23.03.2023).

Destatis (2023f): Tabelle. 81000-0001. VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: [https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=81000-](https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=81000-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1680177981540#abreadcrumb)

[0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1680177981540#abreadcrumb](https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=81000-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1680177981540#abreadcrumb) (04.04.2023).

Destatis (2022a): 43311-0002 Elektrizitätserzeugung, Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz: Deutschland, Monate, Energieträger. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=43311-0002#astructure>.

Destatis (2022b): Daten. Sondererhebung: Proteineinsatz in der Schweinemast im Zeitraum 1. November 2020 bis 31. Oktober 2021. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Tabellen/sonderauswertung-schweinemast.html> (23.03.2023).

Destatis (2022c): Internetseite. Experimentelle Daten. Mobilitätsindikatoren auf Basis von Mobilfunkdaten. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Service/EXDAT/Datensaetze/mobilitaetsindikatoren-mobilfunkdaten.html#Verkehrsmittel> (27.03.2023).

Destatis (2021): Fachserie 3 Reihe 4.1 – Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Publikationen/Downloads-Tiere-und-tierische-Erzeugung/viehbestand-2030410215324.html> (08.04.2022).

Destatis (2019): Fachserie 19 Reihe 1 – Umwelt. Abfallentsorgung. 2017. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100177004.pdf?__blob=publicationFile.

Destatis (2018): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/wasserwirtschaft-2190213169005.xlsx;jsessionid=FF50F4C24CADA03595121E45A009CEB4.live742?__blob=publicationFile (08.04.2022).

EHPA (2023): Heat pump record: 3 million units sold in 2022, contributing to REPowerEU targets. Hg. v. European Heat Pump Association (EHPA). Online verfügbar unter: https://us4.campaign-archive.com/?e=test_email&u=bfc2e18bc7b091b9b2f6c30f9&id=44d122f20a (16.03.2023).

ERK (2023): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

ERK (2022a): Prüfbericht zu den Sofortprogrammen 2022 für den Gebäude- und Verkehrssektor. Prüfung der den Maßnahmen zugrundeliegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/08/ERK2022_Pruefbericht-Sofortprogramme-Gebaeude-Verkehr.pdf (28.10.2022).

ERK (2022b): Prüfbericht zur Emissionsberechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 - Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/05/ERK2022_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2021.pdf (19.08.2022).

ERK (2022c): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/05/ERK2022_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2021_Technisches-Begleitdokument.pdf (01.11.2022).

ERK (2022d): Zweijahresgutachten 2022. Gutachten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsmengen und zur Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz). Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/11/ERK2022_Zweijahresgutachten.pdf (07.03.2023).

ERK (2021): Bericht zur Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/04/ERK2021_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2020.pdf (29.10.2022).

Europäische Kommission (2023): Weekly Oil Bulletin. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/weekly-oil-bulletin_en (27.03.2023).

Europäisches Parlament, Europäischer Rat (2023): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-72-2022-INIT/de/pdf> (12.04.2023).

FfE (2022): Internetseite. Veränderungen der Merit Order und deren Auswirkungen auf den Strompreis. Hg. v. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE). Online verfügbar unter: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/veraenderungen-der-merit-order-und-deren-auswirkungen-auf-den-strompreis/> (28.10.2022).

Fraunhofer ISE (2022): Energy-Charts. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Online verfügbar unter: <https://energy-charts.info/index.html?l=de&c=DE> (07.04.2022).

Geden, O., Schäfer, S. (2016): »Negative Emissionen« als klimapolitische Herausforderung. Hg. v. Stiftung Wissenschaft und Politik. Online verfügbar unter: https://www.swp-berlin.org/publications/products/aktuell/2016A70_gdn_schaefer.pdf (13.04.2023).

Gruber, K., Junkermann, J., Arnold, F., Çam, E., Kienscherf, P. A. (2022): Rekordstrompreise im Jahr 2022. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/11/EWI-Merit-Order-November-2022-1.pdf> (23.03.2023).

Icha, P., Lauf, T., Kuhs, G. (2022): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021 Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-04-13_cc_15-2022_strommix_2022_fin_bf.pdf (12.04.2023).

Icha, P., Lauf, T., Kuhs, G. (2021): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2020. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-7> (28.10.2022).

ifo Institut (2022): Pressemitteilung. Viele Industriefirmen senken Gasverbrauch ohne Produktion zu drosseln. Hg. v. ifo Institut. Online verfügbar unter: <https://www.ifo.de/pressemitteilung/2022-11-22/viele-industriefirmen-senken-gasverbrauch-ohne-produktion-zu-drosseln> (27.02.2023).

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genf, Schweiz: Hg. v. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer

IPCC (2007): AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genf, Schweiz: Hg. v. Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. Online verfügbar unter: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>.

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hg. v. Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe. Veröffentlicht vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

ISE, F. Internetseite. Energy-Charts. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) vertreten durch Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V (Fraunhofer-Gesellschaft). Online verfügbar unter: <https://www.energy-charts.info/index.html?l=de&c=DE> (12.04.2023).

KBA (2023): Daten. Bestand nach ausgewählten Merkmalen (FZ 27). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen (FZ 27). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html (27.03.2023).

KBA, DIW, DLR (2022): Verkehr in Zahlen 2022/2023. 51. Jahrgang. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Online verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-pdf.pdf?__blob=publicationFile (30.03.2023).

KSG (2021): Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 18. August 2021.

KSG (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513).

- Luderer, G., Bartels, F., Blesl, M., Burkhardt, A., Edenhofer, O., Fahl, U., Gillich, A., Herbst, A., Hufendiek, K., Kaiser, M., Kittel, L., Koller, F., Kost, C., Pietzcker, R., Rehfeldt, M. (2022): Kurzdossier. Deutschland auf dem Weg aus der Gaskrise – Wie sich Klimaschutz und Energiesouveränität vereinen lassen. Hg. v. Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-aus-der-gaskrise/> (01.11.2022).
- Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Berlin, Karlsruhe, Braunschweig: Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/projektionsbericht_2021_bf.pdf.
- Roth, A., Schill, W.-P. (2022): Internetseite. Ampel-Monitor Energiewende #3: Aktuelle Daten zum Erdgasverbrauch. Hg v. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW). Online verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.856100.de/nachrichten/ampel-monitor-energiewende_3_aktuelle-daten-zum-erdgasverbrauch.html (07.03.2023).
- Roth, A., Schmidt, F. (2022): Internetseite. Open Energy Tracker. Aktueller Erdgasverbrauch. Hg. v. Adeline Guéret, Alexander Roth, Felix Schmidt & Wolf-Peter Schill. Online verfügbar unter: <https://openenergytracker.org/docs/germany/naturalgas/#einsparungen-witterungs-und-verhaltenkomponenten> (07.03.2023).
- Ruhnau, O., Stiewe, C., Muessel, J., Hirth, L. (2022): Working Paper. Gas demand in times of crisis: energy savings by consumer group in Germany. Updated version from December 2022. Hg. v. Leibniz Information Centre for Economics (ZBW). Online verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/266725> (27.02.2023).
- SEFE (2022): Pressemitteilung. Der Bund wird alleiniger Gesellschafter der SEFE-Gruppe. Hg. v. SEFE Securing Energy for Europe (SEFE). Online verfügbar unter: https://www.sefe-group.com/fileadmin/dokumente/221114_PR_SEFE_change_of_ownership_DE.pdf (16.03.2023).
- SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/ Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP). Online verfügbar unter: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf.
- SVR Wirtschaft (2022): Jahresgutachten des Sachverständigenrats 2022/23. Energiekrise solidarisch bewältigen, neue Realität gestalten. Hg. v. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR Wirtschaft). Online verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202223/jg202223_Gesamtausgabe.pdf (27.02.2023).
- tado (2022): Pressemitteilung. 55% der Deutschen haben seit Beginn des Ukraine-Krieges ihren Energieverbrauch gesenkt. Hg. v. tado GmbH (tado). Online verfügbar unter: <https://www.tado.com/at-de/pressemitteilungen/energy-consumption-poll> (07.03.2023).
- UBA (2023a): Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Klimaschutzgesetz, allgemeiner Methodenband. Unveröffentlicht.: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- UBA (2023b): Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2022 gemäß Bundesklimaschutzgesetz. Begleitender Bericht.: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- UBA (2023c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2023. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2021. Unveröffentlicht. . Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- UBA (2023d): CO₂-Emissionen [Mio. t] der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE-Datenstand und Randjahr geschätzt (unveröffentlicht) Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- UBA (2023e): Internetseite. Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990 - 2022. Stand: 15.03.2023.: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (23.03.2023).
- UBA (2023f): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. Gekürzte Version zur EU-Submission. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envy8fz9q/DE_EU-NIR_2023_DE.pdf (16.03.2023).

UBA (2023g): Pilotprojekt zur Frühschätzung der Energiebilanz 2020 und Vergleich zu späteren definierten Datenständen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_18-2023_pilotprojekt_zur_fruehschaetzung_der_energiebilanz_2020.pdf (03.02.2023).

UBA (2023h): Rahmendaten für den Klimaschutz-Projektionsbericht 2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/rahmendaten-fuer-den-klimaschutz-projektionsbericht> (12.04.2023).

UBA (2022a): Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2021 gemäß Bundesklimaschutzgesetz. Begleitender Bericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/220310_vjs_2021_-_begleitender_bericht_-_sauber_vbs_korr_kurzfassung.pdf.

UBA (2022b): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2020. Unveröffentlicht. Hg. V. Umweltbundesamt (UBA) (Climate Change).

UBA (2022c): Daten. Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. 1990 - 2020. Korrigierter Endstand: 15.01.2022 Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/co2_ef_liste_2022_brennstoffe_und_industrie_final.xlsx (07.03.2023).

Uba (2021): Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen 2020.

UNFCCC (2000): Review of the implementation of commitments and of other provisions of the convention. UNFCCC guidelines on reporting and review (FCCC/CP/1999/7). Hg. v. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Online verfügbar unter: <https://unfccc.int/resource/docs/cop5/07.pdf> (01.11.2022).

VCI (2022a): Pressemitteilung. Jahresbilanz 2022. Dunkles Jahr mit trüben Aussichten. Hg. v. Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI). Online verfügbar unter: <https://www.vci.de/presse/pressemitteilungen/dunkles-jahr-mit-trueben-aussichten-bilanz-der-chemisch-pharmazeutischen-industrie-2022.jsp> (04.04.2023).

VCI (2022b): VCI-Position. Sechs Punkte zur kurzfristigen Abmilderung der Energiekrise. Hg. v. Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) Online verfügbar unter: <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/vci-position-sechs-punkte-zur-kurzfristigen-abmilderung-der-energiekrise-1.pdf> (04.04.2023).

Wollenteit, U. (2023): Gutachten zum Verstoß der zuständigen Ministerien und der Bundesregierung gegen die Pflicht zu Vorlage und Beschluss wirksamer Sofortprogramme (§ 8 Abs. 1, Abs. 2 KSG) Hg. v. Germanwatch e.V. Online verfügbar unter: https://www.germanwatch.org/sites/default/files/germanwatch_rechtsgutachten_zu_klimaschutzsfortprogrammen_2023.pdf (12.04.2023).

YouGov (2022): Energy Prices. Consumers' fears for the future and opinions in 10 European countries regarding the evolving energy prices. Hg. v. YouGov. Online verfügbar unter: https://commercial.yougov.com/rs/464-VHH-988/images/YouGov%20Report_Energy%20Prices_Europe_Nordic.pdf (07.03.2023).



Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022

Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-
Klimaschutzgesetz





17. April 2023

Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022

**Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-
Klimaschutzgesetz**



Impressum

Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15, 10117 Berlin

Tel.: +49 30 30 8903 5575

info@expertenrat-klima.de

www.expertenrat-klima.de

Erschienen am 17.04.2023 | Version vom 17.05.2023

Die Veröffentlichungen des ERK sind unter www.expertenrat-klima.de kostenlos verfügbar.

Zur sprachlichen Gleichbehandlung: Als Mittel der sprachlichen Darstellung aller sozialen Geschlechter und Geschlechtsidentitäten wird in diesem Gutachten bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, der Genderstern (z. B. Leser*innen) verwendet.

Zitierweise für diese Publikation: Expertenrat für Klimafragen (2023): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de>

©Expertenrat für Klimafragen

Die Vervielfältigung und Verbreitung originären Text- und Bildmaterials des ERK ist, auch auszugsweise, mit Quellenangabe für nicht-kommerzielle Zwecke gestattet. Text- und Bildmaterial aus Quellen Dritter unterliegt den urheberrechtlichen Bedingungen der jeweiligen Quellen.

Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

Die Ratsmitglieder bedanken sich für die sachkundige und engagierte Unterstützung durch die Mitarbeiter*innen des wissenschaftlichen Stabes und der Geschäftsstelle des ERK.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär) • Jessica Berneiser • Marc Blauert • Iska Brunzema • Nicolai Hans (Koordination) • Dr. Alexander Hurley • Theresa Iglauer • Dr. Katrin Kohnert • Dr. Swaroop Rao • Dr. Niklas Reinfandt • Simon Schnier • Dr. Franziska Schulz • Charlotte Senkpiel (Koordination) • Dr. Jan Stede • Dr. Annette Steingrube • Antonia Walter • Pia Willers • Marie-Louise Zeller

Geschäftsstelle

Lea Eisemann • Cynthia Schmitt

Im Laufe der Erarbeitung dieses Gutachtens hat der Expertenrat für Klimafragen und der wissenschaftliche Stab zudem mit vielen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterschiedlicher Institutionen zusammengearbeitet:

Mitarbeitende des Umweltbundesamtes und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, Hans Georg Buttermann (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.), Gunther Grimm (Fraunhofer ISE), Dr. Thorsten Müller (Stiftung Umweltenergierecht), Thomas Nieder (ZSW), Nicole Niesler (EWI), Leonhard Probst (Fraunhofer ISE), Eva Rath (EWI), und Franka Suder (Fraunhofer ISE), die während der Erstellung dieses Prüfberichts für Fachfragen zur Verfügung standen.

Der Expertenrat für Klimafragen dankt für die wertvolle Zusammenarbeit.



Inhaltsverzeichnis

Technisches Begleitdokument	5
A.1 Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Treibhausgasemissionen	7
A.1.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung	7
A.1.2 Daten und Methoden für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres	8
A.1.2.1 Emissionsfaktoren	8
A.1.2.2 Daten und Methoden im Rahmen der Frühschätzung der Energiebilanz	9
A.1.2.3 Aktivitätsdaten und relevante Methoden der Emissionsberechnung der Sektoren	11
A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung	29
A.2.1 Korrekturbedarfe	29
A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen	29
A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland	31
A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise	31
A.2.2.2 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2022	32
A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen	34
A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung	34
A.3.1.1 Methodik	34
A.3.1.2 Daten	35
A.3.2 Kontrafaktische Szenarien	36
A.3.3 Temperaturbereinigung	36
A.4 Prüftabellen	38
A.5 Literaturverzeichnis	45

Tabellen

Tabelle 1:	Verfügbare Monatsdaten zum Zeitpunkt der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz im Februar für das Berichtsjahr t-1	10
Tabelle 2:	Zusammenfassung aller wesentlichen vom UBA verwendeten Datensätze für die Berichterstattung der Treibhausgasemissionsdaten in den Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	12
Tabelle 3:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Energiewirtschaftssektor	17
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Industriesektor	19
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Gebäudesektor	20
Tabelle 6:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Verkehrssektor	22
Tabelle 7:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Landwirtschaftssektor	23
Tabelle 8:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.....	24
Tabelle 9:	Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Sektor LULUCF.....	26
Tabelle 10:	Übersicht und statistischer Vergleich der Korrekturen (keine, Erhöhung, Reduktion) zwischen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bis zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+1 bis t+5) für alle Sektoren und die Gesamtemissionen.	30
Tabelle 11:	Gemittelte relative Korrekturbedarfe aller Sektoren und der Gesamtemissionen (Summe ohne LULUCF) zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten bis zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+1 bis t+5).....	31
Tabelle 12:	Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifend	35
Tabelle 13:	Definition der Prüfkriterien	38
Tabelle 14:	Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 1.A.1 aus der Energiewirtschaft	39
Tabelle 15:	Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.2 aus dem Industriesektor.....	41
Tabelle 16:	Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 1.A.4 a/b aus dem Gebäudesektor	42

Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AR-Modell	Autoregressives Modell
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz (Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BJ	Berichtsjahr
BVE	Berechnung der Vorjahresemissionsdaten
CCS	Carbon Capture and Storage
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CRF	Common Reporting Format der Europäischen Klimaberichtserstattung
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
EBZ	Energiebilanzzeile
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
ERK	Expertenrat für Klimafragen
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU-Emissionshandelssystem/Handelssystem Emissionszertifikate (European Emissions Trading System)
F-Gase	fluorierte Treibhausgase
FKWs	Fluorkohlenwasserstoffe
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GWP	Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential)
IPCC	Weltklimarat oder Intergovernmental Panel on Climate Change
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
kt	Kilotonne
LULUCF	Land Use Land Use Change and Forestry
Mt	Megatonne
N ₂ O	Lachgas
PEV	Primärenergieverbrauch

THG	Treibhausgas
TI	Treibhausgasinventar
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
ZSE	Zentrales System Emissionen

Technisches Begleitdokument

- 1 Der vorliegende Bericht ist das Technische Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022 des Expertenrats für Klimafragen (ERK 2023). Der Prüfbericht des Expertenrats für Klimafragen bewertet basierend auf § 12 Abs. 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG 2019) die jährlich vom Umweltbundesamt vorgelegten Berechnungen der Emissionsdaten des Vorjahres (UBA 2023b). Dieses Begleitdokument zum Prüfbericht enthält weiterführende technische und fachliche Erläuterungen.
- 2 In Kapitel A.1 dieses Dokumentes werden Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Emissionen gegeben. Kapitel A.2 liefert weiterführende Informationen zu Korrekturbedarfen und Unsicherheiten sowie Kapitel A.3 zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Kapitel A.4 enthält Tabellen mit einer Übersicht zu den Prüfungen in den einzelnen Sektoren (ERK 2023, Kapitel 3).

A.1 Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Treibhausgasemissionen

A.1.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung

- 3 Als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) hat sich Deutschland mit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen in standardisierten Treibhausgasinventaren auszuweisen. Die Beschreibung der angewendeten Methode zur Berechnung der Nationalen Treibhausgasinventare erfolgt im Nationalen Inventarbericht (NIB). Die Berichterstattung erfolgt gemäß UNFCCC Richtlinie zur Berichterstattung über jährliche Treibhausgasinventare (UNFCCC 2014) und den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2006).
- 4 Das Nationale Treibhausgasinventar und der dazu gehörige Nationale Inventarbericht werden jährlich zum 15. April vom Umweltbundesamt für das vorletzte Jahr veröffentlicht. Darin enthaltene Berechnungen der Treibhausgasemissionen werden regelmäßig auf Basis neuer Erkenntnisse aktualisiert. Die Europäische Union (EU) hält ihre Mitgliedstaaten dazu an, bis zum 31. Juli vorläufige Nationale Inventarberichte für das Vorjahr einzureichen (Art. 8 VO 525/2013). Auf Grundlage von § 5 KSG erstellt das Umweltbundesamt eine erste Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres zum 15. März, deren Ergebnisse eine Gesetzesfolge gemäß § 8 Abs. 1 KSG nach sich ziehen kann (Sofortprogramme). Der Expertenrat für Klimafragen wird durch § 12 Abs. 1 KSG beauftragt, diese Emissionsdaten innerhalb eines Monats zu prüfen und zu bewerten.
- 5 In der internationalen Klimaberichterstattung wird grundsätzlich das Territorialprinzip (territory-based approach) als Basis für die Berechnung der THG-Emissionen eines Landes angewendet. Auch die Berichterstattung des Umweltbundesamtes sowie die Vorgaben des Bundes-Klimaschutzgesetzes folgen diesem Prinzip. Das Territorialprinzip ordnet alle im Inland entstandenen Emissionen einem Land zu. In der Konsequenz werden Emissionen, die bei der Herstellung (und dem Transport) importierter Waren entstehen („importierte Emissionen“), nicht berücksichtigt. Emissionen aus der Produktion von Exportwaren fließen hingegen vollständig in die Emissionsberechnung ein, obwohl der Verbrauch dieser Güter im Ausland erfolgt.¹
- 6 Das Umweltbundesamt berichtet Emissionsberechnungen nach der von der UNFCCC etablierten Systematik der Treibhausgasberichterstattung, dem Common Reporting Format (CRF), welche für jede Entität sämtliche THG-Emissionen und deren Abbau durch Senken einzelnen CRF-Kategorien zuteilt (sogenanntes Quellprinzip). Das Umweltbundesamt fasst für die nationale Berichterstattung die CRF-Kategorien zu den im Bundes-Klimaschutzgesetz genannten Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land-Use Change and Forestry/LULUCF) zusammen. Da die Sektoren sowohl Endverbraucher (v.a. Gebäude, Verkehr) als auch

¹ Werden importierte Emissionen vollständig berücksichtigt, exportierte Emissionen hingegen ignoriert, spricht man von einem konsumbasierten Ansatz (consumption-based approach). Die Differenz zwischen den beiden Werten hängt u. a. vom Verhältnis des Warenexports zum Warenimport sowie vom Unterschied in der Kohlenstoffintensität der Wirtschaft im In- und Ausland ab. Für Deutschland und Europa gilt, dass gemäß Studien die Emissionen sowohl der EU als auch Deutschlands mit einer konsumbasierten Bilanzierung höher ausgefallen sind als die nach dem Territorialprinzip ausgewiesenen Emissionen (siehe Fezzigna et al. 2019; Karstensen et al. 2018).

Zwischenproduzenten (v. a. Energiewirtschaft) beinhalten, kann es im Zeitverlauf zu Verlagerungseffekten zwischen den Sektoren kommen.

- 7 Die Berichterstattung erfolgt weitestgehend gemäß dem Absatzprinzip. Bei lagerfähigen Energieträgern entspricht jedoch der Absatz nicht automatisch dem tatsächlichen Verbrauch. Konkret trifft diese (mögliche) Diskrepanz zwischen Absatz und Verbrauch bei einer Aufstockung oder dem Abbau der Bestände von leichtem Heizöl in den Bereichen private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) zu. Solche Verbrauchsreaktionen können aus Energiepreisentwicklungen, aber bspw. auch aus Gründen der Versorgungssicherheit, wie möglicherweise im Jahr 2022 eingetreten, resultieren. In Zeiten niedriger Preise werden größere Mengen an Energieträgern gekauft, welche nicht unbedingt in dem jeweiligen Jahr, sondern erst in dem darauffolgenden Jahr verbraucht werden. Die Berechnung der Emissionsdaten erfolgt jedoch auf Basis der Absätze, da hierzu bessere statistische Datenquellen, wie die amtlichen Mineralölstatistiken, vorliegen.

A.1.2 Daten und Methoden für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres

- 8 Emissionen werden grundsätzlich aus der Multiplikation von Aktivitätsdaten mit Emissionsfaktoren berechnet (ERK 2023, Kapitel 2.1). Da die Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren großteils auf Berechnungen und Schätzungen beruhen, weisen Treibhausgasinventare – ebenso wie die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres, die zum Teil auf vorläufigen Daten beruht – keine gemessenen THG-Emissionen, sondern Schätzungen aus. Prinzipiell lässt sich zwischen Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe (energetischer und prozessbedingter Nutzen) und Emissionen aus biologischen Prozessen unterscheiden. Letztere entstehen zum Beispiel bei der Zersetzung organischen Materials in Moorböden. Die energie- und prozessbedingten Emissionen fallen vornehmlich in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, im Verkehr und zu geringen Anteilen in der Landwirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.4.c) an. Beginnend mit der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres für das Berichtsjahr 2022 werden die Aktivitätsdaten der genannten Sektoren – ausgenommen Verkehr – über die Frühschätzung der Energiebilanz hergeleitet. Die folgenden Abschnitte bieten einen Überblick über die Bestimmung von Emissionsfaktoren generell sowie die Erstellung und Anwendung der Frühschätzung der Energiebilanz für den Primär- und Endenergieverbrauch als Grundlage für Aktivitätsdaten der oben genannten Sektoren. Anschließend folgt eine Gesamtschau relevanter Aktivitätsdaten und Methoden zur Emissionsschätzung aller Sektoren, einschließlich jener, deren Aktivitätsdaten nicht oder nur zum Teil über die Frühschätzung der Energiebilanz etabliert werden (Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstige, LULUCF).

A.1.2.1 Emissionsfaktoren

- 9 Die Daten für die Emissionsfaktoren werden für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres grundsätzlich dem Zentralen System Emissionen (ZSE) entnommen und jährlich mit Veröffentlichung des Nationalen Treibhausgasinventars nach dem Common Reporting Format publiziert. Die Datenquellen für die Emissionsfaktoren sind vielfältig. Beispielsweise wird auf Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zurückgegriffen, welche auf gemessenen Werten basieren. Ebenfalls werden Emissionsfaktoren aus zahlreichen Forschungsberichten entnommen (Deichnik 2019; Rentz et al. 2002; Mathivanan et al. 2021). Die Methodik zur Ermittlung der Emissionsfaktoren ist im Nationalen Inventarbericht ausführlich und nachvollziehbar dokumentiert. Wo keine Daten vorliegen, werden vom

IPCC festgelegte Default-Werte verwendet (beispielsweise für Rohöl, Rohbenzin, Flugbenzin und Schmierstoffe).

- 10 Die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres wird sektorenweise für die nach Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren durchgeführt. Die Emissionsfaktoren für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres werden dafür aus dem aktuellen Treibhausgasinventar übernommen. Die Veränderungen der spezifischen Emissionsfaktoren sind zwischen den Jahren gering, weswegen die Übernahme der Emissionsfaktoren aus dem aktuellen Inventar nachvollziehbar und unkritisch ist.

A.1.2.2 Daten und Methoden im Rahmen der Frühschätzung der Energiebilanz

- 11 Die Frühschätzung der Energiebilanz durch die AGEb wird laut Pilotstudie (UBA 2023f) mit einem Hybrid-Ansatz umgesetzt (ERK 2023, Kap. 2.1). Dieser soll sicherstellen, dass verfügbare unterjährige oder monatliche Daten weitestgehend bei der Schätzung der Energiebilanz verwendet werden. Dies ist auf der Aufkommenseite im Primärenergieverbrauch durch zahlreiche Statistiken und Verbandsdaten größtenteils möglich (siehe Tabelle 1). Die Datengrundlage ist für den Endenergieverbrauch allerdings überwiegend auf Jahresdaten (bis zum Jahr, das an die Frühschätzung angrenzt) beschränkt. Für die Schätzung der fehlender Monats- sowie ganzjähriger Werte im Berichtsjahr bedient sich die AGEb eines Modellinstrumentariums. Die Ausgestaltung dieses Instrumentariums ist im Anschluss beschrieben. Für die ausführliche Dokumentation des Verfahrens ist auf die Pilotstudie (UBA 2023f) verwiesen.
- 12 Der **Energieverbrauch** wird im Rahmen der Frühschätzung der Energiebilanz grundsätzlich über verschiedene Modelltypen bestimmt (Gesamtkonzept der Frühschätzung). Diese umfassen sowohl Zeitreihenfortschreibungen über Veränderungsraten oder autoregressive Modelle, als auch Fortschreibungen über Regressionen auf monatlicher oder jährlicher Basis (Indikator-gestützt). Hierbei fließen wie bereits beschrieben möglichst aktuelle Daten ein, die Großteils auf monatlicher Basis vorliegen und in der Regel das Berichtsjahr bis mindestens November abdecken (siehe Tabelle 1). So werden zum Beispiel bei Modellen, die lediglich fehlende Monatswerte fortschreiben, (vorläufige) Datenquellen verwendet, die auch in die endgültige Energiebilanz eingehen. Die Pilotstudie (UBA 2023f) weist hierfür fünf verschiedene Modelle aus, die den Verbrauch von bzw. die Energieerzeugung durch Mineralöle, Stein- und Braunkohle, Gase, sowie die allgemeine Wärme- und Energieversorgung monatlich abbilden. Fehlen unterjährige Daten, so werden über monokausale Zusammenhänge (d.h. Regressionen mit einer abhängigen Variablen) fehlende Werte ganzjährig geschätzt. Dies ist der Fall für Aktivitäten bei Industriekraft- und Fernheizwerken sowie beim nicht-energetischen Verbrauch. Da für den Primärenergieverbrauch nach Energieträgern die Daten überwiegend aus amtlichen Statistiken stammen oder von Verbänden zeitnah bereitgestellt werden, und in der Regel eine gute zeitliche Abdeckung aufweisen, kann bei der Schätzung des Primärenergieverbrauchs generell von einer hohen Prognosegüte ausgegangen werden. Detaillierte Auflistungen der Datenquellen, die für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres relevant sind, finden sich in Kapitel A.1.2.3.

Tabelle 1: Verfügbare Monatsdaten zum Zeitpunkt der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz im Februar für das Berichtsjahr t-1

Verfügbarer Zeitraum der Daten des Berichtsjahres	Datensatz (Monatsdaten)
Jan – Dez	• Monatliche Betriebsergebnisse der deutschen Kernkraftwerke • Förderung von Braunkohle und Erzeugung von Braunkohleprodukten (Statistik der Kohlenwirtschaft)
Jan – Nov	• Braunkohle u. Braunkohlenprodukte (Statistik der Kohlenwirtschaft) • Braunkohle, Braunkohlebriketts, Staub- und Trockenkohle, Braunkohlenkoks (Aufkommen und Verwendung von Braunkohle, Braunkohlenbriketts, Staub- und Trockenkohle, Braunkohlenkoks) • Rohöl, Mineralölprodukte (Amtliche Mineralölstatistik für die Bundesrepublik Deutschland) • Rohöl, Mineralölprodukte (Entwicklung der Rohöleinfuhr für die Bundesrepublik Deutschland) • Erdgas, Erdölprodukte (Monatserhebung über die Gasversorgung) • Erdgas (Entwicklung des deutschen Gasmarktes) • Erdgas (Monatliche Entwicklung des Grenzübergangspreises) • Fossile Energieträger (Aus- und Einfuhr (Deutschland) Außenhandel) • Monatserhebung über die Einfuhr von Kohle • Strom und Wärme (Monatserhebung über die Elektrizität- und Wärmeerzeugung zur allgemeinen Versorgung)

Eigene Darstellung basierend der Pilotenergiebilanz (UBA 2023f). Datenstände können zwischen Berichtsjahren variieren.

- 13 Der für die THG-Emissionen relevante **Endenergieverbrauch** wird je Sektor bzw. Energiebilanzzeile (EBZ) entweder mit einem Energiebilanzprognosemodell oder einer Kombination aus Zeitreihenfortschreibungen, definitorischen und Indikator-gestützten Modellen geschätzt oder über bilanzausgleichende Rechnungen bestimmt. Des Weiteren finden auch bilanzausgleichende Verrechnungen zwischen Energiebilanzzeilen statt. Das angewandte Modellinstrumentarium wird je nach Datengrundlage, die von Jahr zu Jahr variieren kann, angepasst und aktualisiert. Die geschätzten Aktivitätsdaten des Energiebilanzprognosemodells finden primär Anwendung in den KSG-Sektoren Industrie, Landwirtschaft sowie Gebäude. Im Folgenden wird das Energiebilanzprognosemodell basierend auf der zugrundeliegenden Pilotstudie (UBA 2023f) sowie fachlichem Austausch mit den Ersteller*innen der Studie beschrieben.
- 14 Das Energiebilanzprognosemodell ist ein ökonometrisches Mehrgleichungssystem, welches Energieverbrauch, Energieangebot und Energiepreise inhaltlich konsistent miteinander abbildet und dabei exogene Einflüsse, wie Rohölpreise, Steuern, Wirtschaftswachstum und Geldmarktdynamiken (Wechselkurse), berücksichtigt. Die Struktur des Modells umfasst in jedem Sektor (Sektor-Teilmodelle) zwei grundlegende Bereiche, ein Preis- und ein Mengensystem, welche ebenfalls aus unterschiedlichen Submodellen bestehen und interagieren. Die Submodelle werden entweder mit geschätzten Werten oder zum Teil mit modellübergreifenden exogenen Variablen beliefert, was wiederum Konsistenz zwischen den Teilmodellen zum Teil sicherstellt. Dies äußert sich darin, dass zum Beispiel steigende Brennstoffpreise (Preissystem) eine Minderung des Verbrauchs (Mengensystem) in einem Teilmodell bedingen können.
- 15 Insgesamt werden für das Energiebilanzprognosemodell etwa 2350 endogene und 150 exogene Variablen ausgewiesen, die den Berechnungen zugrunde liegen. Im Preissystem werden Energiepreise für Endverbraucher durch Handel und Gewinnung (z. B. Rohstoffabbau) sowie durch

Umwandlungskosten und ggf. weitere Kosten (Steuern) bestimmt. Im Mengensystem wird basierend auf den Energiepreisen und weiteren exogenen Variablen der Endenergieverbrauch und der nicht-energetische Verbrauch in fünf Teilmodellen berechnet: (1) energieintensive und (2) -extensive Industrie, (3) private Haushalte und (4) GHD sowie (5) Verkehr. Lediglich die Schätzungen der Teilmodelle des oben skizzierten Gesamtmodells für energieintensive und -extensive Industriezweige, private Haushalte sowie GHD fließen mit in die Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten ein. Das Teilmodell **Verkehr** wird aufgrund fehlender Anwendung des Endenergieverbrauchs im Verkehr für die Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten im Folgenden nicht weiter ausgeführt.

- 16 Für das Teilmodell (Mengensystem) der **Industrie** (intensiv und extensiv) des Energiebilanzprognosemodells wird in zwei Modellschritten der Energieverbrauch einzelner Industriezweige ermittelt. Der erste Schritt bildet über ökonometrische Methoden zum einen den Stromverbrauch (meist für Antriebszwecke) und zum anderen den Verbrauch von Wärmeenergie (Prozesswärme, Raumwärme) ab. Hier fließen der (reale) Bruttoproduktionswert des jeweiligen Wirtschaftszweigs, der gewichtete Energiepreis und eine Trendvariable (z. B. autonomer technischer Fortschritt bei Wärme, steigende Verbräuche aufgrund von Prozessautomatisierung bei Strom) als Variablen ein, können aber durch weitere ergänzt werden (z. B. Gradtagszahlen, Vorjahresverbrauch). Der zweite Schritt teilt dann – ebenfalls über einen ökonometrischen Ansatz – den zuvor ermittelten Verbrauch von Wärmeenergie auf einzelne Brennstoffe (z. B. Steinkohle) insbesondere über das Verhältnis der brennstoffspezifischen Preise am Gesamtenergiepreis auf.
- 17 Die Teilmodelle für **private Haushalte und GHD** sind strukturell ähnlich wie das der Industrie. Die Ermittlung des Energieverbrauchs erfolgt ebenso in zwei Schritten. Treibende Größen sind hier u. a. spezifische Verbräuche, Entwicklung der beheizten Wohnflächen, Modernisierungsquoten, Brennstoffpreise und Witterungsdynamik. Zudem ergeben sich noch bilanzausgleichende Rechnungen in beiden Bereichen (Haushalte, GHD). Im Unterschied zum ökonometrischen Teilmodell der Industrie, erfolgt die Schätzung im Bereich privater Haushalte laut Aussage der AGEb auf Basis eines definitorisch gestützten Modellansatzes. Eine Differenzierung nach Wirtschaftszweigen oder Anwendungszwecken im privaten Bereich erfolgt nicht. Anzumerken ist auch, dass die Prognose der Bestandsveränderungen bei lagerfähigen Energieträgern nach Aussage der AGEb separat erfolgt und unter anderem auf empirischen Daten zu Füllständen privat genutzter Heizöltanks (Zeitreihe 2004–2015) sowie Energiepreiserwartungen und Temperatureinflüssen beruht. Die geschätzte Lagerstandbewegung wird anschließend mit dem Endenergieverbrauch privater Haushalte verrechnet, um somit die prognostizierte Veränderungsrate für den Gesamtwert (Absatz) für die Frühschätzung der Energiebilanz zu ermitteln.

A.1.2.3 Aktivitätsdaten und relevante Methoden der Emissionsberechnung der Sektoren

- 18 Insgesamt liegt an vielen Stellen zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres keine endgültige Statistik der Aktivitätsdaten des Vorjahres vor. Tabelle 2 fasst alle wesentlichen Datenquellen der Aktivitätsdaten zusammen, die das Umweltbundesamt im Rahmen der Berechnung der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022 berücksichtigt hat. Welche Daten und Methoden für die einzelnen Sektoren verwendet wurden, wird im Anschluss genauer erläutert. Eine wesentliche Datenquelle für die energiebedingten Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude ist die Frühschätzung der Energiebilanz. Andere Methoden, die zum Einsatz kommen ist die Fortschreibung von Aktivitätsdaten aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des Vorjahres bzw. die Übernahme des Vorjahreswert. Dieses Verfahren wird vor allem dann gewählt, wenn die Treibhausgasemissionen des

jeweiligen Subsektors nur einen geringen Anteil haben, aber eine Schätzung entweder sehr aufwendig ist oder wenn aus Vorjahren bekannt ist, dass es in diesem Subsektor zu nahezu keinen Änderungen der Treibhausgasemissionen zwischen einzelnen Jahren kommt. Sind in der Vergangenheit klare Trends in der Änderung der Aktivitätsdaten zu verzeichnen, wird eine Extrapolation der Aktivitätsdaten vorgenommen. Schließlich werden in einigen Fällen die Aktivitätsdaten auch über einen Modellansatz berechnet, der sich durch Extrapolation von oder Korrelation zu anderen Aktivitätsdaten ergibt. Insbesondere in den CRF-Kategorien 1.B (Energiewirtschaft: diffuse Emissionen aus Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe), 3 (Landwirtschaft) und 5.A.1 (Abfallwirtschaft: Abfalldeponierung) werden Modelle genutzt, um Aktivitätsdaten oder THG-Emissionen abzuschätzen.

Tabelle 2: Zusammenfassung aller wesentlichen vom UBA verwendeten Datensätze für die Berichterstattung der Treibhausgasemissionsdaten in den Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2022, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
AGEB Frühschätzung der Energiebilanz	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft	Aufkommen, Umwandlung und Verwendung von Energieträgern nach Energieträgergruppen für Kalenderjahr x – 1 (Daten sind vorläufig und teilweise geschätzt)	Frühschätzung der Energiebilanz 2022 (vorläufig, teilweise geschätzt, Stand 28.02.2023), Daten nicht frei verfügbar
Amtliche Mineralölkosten (BAFA 2023)	Industrie, Gebäude	Zusammengefasste Mineralölabsätze in Deutschland auf Basis von Unternehmensmeldungen; verwendet für mobile Quellen und stationäre Anwendung von Schmierstoffen*	Daten bis einschließlich November 2022
DEHSt/EU-ETS	Energiewirtschaft	Energieeinsätze für Raffinerie-Unterfeuerungen (Petrolkoks, Raffineriegas), Rohbraunkohletrocknung	Fortschreibung aus Jahr t-2 für Jahr t-1, Daten nicht frei verfügbar
UBA-Aufteilungsfaktoren der Energiebilanzzeilen auf die CRF-Kategorien	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude	UBA-interne Berechnung zur Disaggregation der Energiebilanz	Datenstand: 15.02.2023
Abfallstatistik Destatis „Erhebung der Abfallentsorgung“ (Destatis 2023f)	Energiewirtschaft, Industrie (1.A.2)	Energetischer Input in -Müllverbrennungsanlagen -Feuerungsanlagen -Sonderabfallverbrennungsanlagen -Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen	Datenstand: Juni 2022, für das Berichtsjahr 2020 (Fortschreibung aus t-2 für t-1), Daten nicht frei verfügbar, aber in aggregierter Form in der Genesis-Datenbank downloadbar
Statistik der Kohlenwirtschaft – Braunkohle Informationen	Energiewirtschaft	Monatliche Daten zur Förderung und Verarbeitung	Datenstand: 27.01.2023, frei verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2022, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
(Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2023)		von Braunkohlen; verwendet für diffuse Emissionen*	
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl 2023)	Industrie	Monatliche Meldungen über die Stahl- und Roheisenerzeugung des Verbandes Wirtschaftsvereinigung Stahl ; Verwendet für Industrieprozesse*	Vollständig für 2022, Stand 23.01.2023, frei verfügbar
Destatis Vierteljährliche Produktionserhebung i.Verarb.Gew. (GP 2019) (Destatis 2023g)	Industrie	Produktionsstatistiken zur Zementklinkerbrennung und Branntkalkherstellung; 2.B Produktionsstatistiken zur chemischen Industrie (Teilbereich Petrochemikalien); 2D Lösemittelverwendung	Quartal 1–3 2022, Stand 03.02.2023, frei verfügbar
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle	Industrie	Produktionsmengen und die FKW-Emissionen aus der Herstellung von Primäraluminium	Vertraulich
Verbandsdaten chemische Industrie (Industrieverband Agrar)	Industrie	2.B Vorläufige jährliche Emissionen für Teilbereiche der chemischen Industrie	Verschieden je nach Teilbereich, vertraulich
Vorläufige Daten von Produzenten	Industrie	2.B Vorläufige Emissionsdaten von Herstellern für Teilbereiche der chemischen Industrie	Verschieden je nach Teilbereich, vertraulich
Verbandsdaten Industriegasehandel (IGV – Industriegaseverband)	Industrie	2.G Einsatz von Lachgas (Anästhesie, Sahnepulversprays)	Vollständig für 2022, vertraulich
Verbandsdaten chemische Industrie (VCI 2022)	Industrie	Produktionsentwicklung der Sparten im Vergleich zum Vorjahr als prozentuale Angabe	Datenstand Dezember 2022
Verkehrsbarometer (Bundesanstalt für Straßenwesen) (BASt 2022)	Verkehr	(vorläufige) Verkehrszählungsdaten	Vollständig für 2022, frei verfügbar
Mautstatistik (Bundesamt für Güterverkehr, BAG) (BASt 2022)	Verkehr	Verkehrsmengen Schwerlastverkehr	Vollständig für 2022, frei verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2022, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
		Autobahnen und Bundesstraßen	
Neuzulassungsdaten (Kraftfahrtbundesamt, KBA) (KBA 2023)	Verkehr	Neuzulassungsdaten	Vollständig für 2022, frei verfügbar
Verkehrsaufkommen Flixbus-Fernreisebusse (Flixbus GmbH)	Verkehr	Verkehrsaufkommen Flixbus-Fernreisebusse 2021	Nicht öffentlich verfügbar
Destatis Fachserie 8 Reihe 6.1 – Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen (Destatis 2023b)	Verkehr	Nachweisung des gewerblichen Personen-, Güter- und Postverkehrs mit Luftfahrzeugen sowie Starts und Landungen auf Hauptverkehrsflughäfen	Vollständig für 2022, frei verfügbar
Destatis Fachserie 3 Reihe 4.1 (Viehbestand) (Destatis 2023d)	Landwirtschaft	Tierzahlen für Rinder, Schweine, Schafe	Vorbericht für den 3. November 2022, frei verfügbar
Destatis Fachserie 4 Reihe 8.2 (Destatis 2022c)	Landwirtschaft	Daten zur Düngemittelversorgung	Endgültige Daten für das Wirtschaftsjahr 2021/2022, frei verfügbar
Destatis Fachserie 3 Reihe 3.2.1 (Wachstum und Ernte – Feldfrüchte) (Destatis 2023c)	Landwirtschaft, LULUCF	Statistiken zu Anbaufläche und Ernte der Feldfrüchte (bei den vorläufigen Statistiken fehlen Angaben zu Dauergrünland, Körnermais, Zuckerrüben, Klee gras und Grasanbau)	Vorläufige Daten für 2022, frei verfügbar
Destatis (versch.) und andere	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5.D.2: Für Lachgas (N ₂ O) wird eine Vielzahl von Publikationen verwendet – aufgrund der geringen Emissionen der Quellgruppe hier nicht abgebildet.	Überwiegend 1-jährig (aber auch 3-jährig), Daten werden 2 Jahre nach dem Berichtsjahr publiziert, keine Daten für das Jahr der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres verfügbar
Basis-Digitales Landschaftsmodell (BKG)	LULUCF	Ausweisung der Landnutzung und Landnutzungsänderung	seit 2000 kontinuierlich aktualisiert, nicht frei verfügbar
Karte organischer Böden Deutschlands (Roßkopf et al. 2015)	LULUCF	Organische Böden	Nicht frei verfügbar, Stand der Daten 2013
Open Street Map (OpenStreetMap contributors)	LULUCF	Landnutzung: Straßennetz	Frei verfügbar
Destatis Fachserie 3, Reihe 3.2.2 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei –	LULUCF	Weinerzeugung	Frei verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2022, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
Weinerzeugung (Destatis 2023l)			
Destatis Fachserie 4, Reihe 3.2.1 Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagstatistik (Destatis 2022b)	LULUCF	Holzeinschlagstatistik	Stand der Daten 2021, frei verfügbar
Destatis Fachserie 4, Reihe 3.1 (Destatis 2023a)	LULUCF	Produktionsmengen für Torf aus industriellem Torfabbau	Frei verfügbar

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes. Die folgenden Datenquellen wurden in der Vergangenheit zur Vorjahresschätzung herangezogen und für das Jahr 2022 nun erstmals vollständig durch die AGEB-Frückschätzung ersetzt: AGEB Primärenergieverbrauch (AGEB 2023c), Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeenergieerzeugung (Destatis 2023m), AGEB sektorale Energiebilanz für 2021 (endgültige Daten) (AGEB 2023a), Destatis Fachserie 19, Reihe 1 (Abfalldeponierung), Destatis Fachserie 19, Reihe 2.1.2 (Abwasserbehandlung und -entsorgung), Destatis Fachserie 19, Reihe 2.1.3 (Wasserwirtschaft), Destatis Einwohnerzahlen Deutschland (Destatis 2023e). *Für die bisherige Vorjahresschätzung wurden weitere Daten aus diesem Datensatz verwendet, welche jedoch nun durch die AGEB-Frückschätzung ersetzt wurden.

- 19 Der größte Teil der THG-Emissionen im Sektor **Energiewirtschaft** entstammt der CRF-Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ (98,1 %). Die Berechnung in dieser CRF-Kategorie erfolgt seit diesem Jahr weitestgehend analog zum Vorgehen der Inventarberechnung. Grundlage für die Bestimmung der Aktivitätsdaten durch das Umweltbundesamt ist hauptsächlich die Frückschätzung der Energiebilanz, die durch die AGEB erstellt wird. Um die Aktivitätsdaten daraus abzuleiten, werden die Energieeinsätze aus den einzelnen Energiebilanzzeilen der Frückschätzung proportional zur Aufteilung der Energiebilanz des Jahres t-2 disaggregiert (siehe ERK 2023, Kapitel 2.2.1). Anschließend werden die Aktivitätsdaten mit den Emissionsfaktoren der Brennstoffe multipliziert. CRF-Kategorie 1.A.1 untergliedert sich in die drei Unterkategorien 1.A.1.a „Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“, 1.A.1.b „Mineralölraffinerien“ und 1.A.1.c „Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger“. Grundlage für die Erstellung der für CRF-Kategorie 1.A.1.a relevanten Energiebilanzzeilen ist die Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeenergieerzeugung (Destatis 2023m), die bis einschließlich November des Berichtsjahres vorliegt und für den Monat Dezember anhand der Veränderungsrate des Vorjahres fortgeschrieben wird. Da für Fernheizwerke in der Monatserhebung nur der Brennstoffeinsatz in KWK-Anlagen enthalten ist, werden zur Bestimmung des Brennstoffeinsatzes zur Wärmeenergieerzeugung in reinen Heizwerken zusätzlich Daten aus der Erhebung über die Erzeugung und Verwendung von Wärme (Destatis 2023o) herangezogen und basierend auf den jährlichen Gradtagzahlen fortgeschrieben. Für die Bestimmung der Aktivitätsdaten bei der Strom- und Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Kraftwerke, sowie der Wärmeenergieerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Fernheizwerke werden zusätzlich zur Frückschätzung der Energiebilanz Daten aus der Abfallstatistik (Destatis 2023f) herangezogen, die aus dem Jahr t-3 für das Jahr t-2 fortgeschrieben werden (bezogen auf das Berichtsjahr t = 2023).
- 20 Die Daten für die Erzeugung von Mineralölprodukten (1.A.1.b) in der Frückschätzung der Energiebilanz stammen aus der Amtlichen Mineralölstatistik (BAFA 2023). Die Amtliche Mineralölstatistik liegt bis

einschließlich November des Berichtsjahres vor. Um den Monat Dezember zu extrapolieren, wird die Veränderungsrate zwischen den bereits vorliegenden kumulierten Berichtsmonaten des Jahres t-1 und den kumulierten Ergebnissen des Vergleichszeitraums t-2 auf das Gesamtjahr übertragen. Für die Ermittlung der Emissionen aus Raffinerie-Unterfeuerungen wurden vom Umweltbundesamt zusätzlich zur Frühschätzung eine Fortschreibung von Daten der DEHSt aus dem Vorjahr verwendet.

- 21 Der Brennstoffeinsatz in CRF-Kategorie 1.A.1.c „Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger“ wird direkt der Frühschätzung der Energiebilanz entnommen. Zusätzlich wird der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung, insbesondere zur Braunkohlentrocknung zur Herstellung von Braunkohlenprodukten, aus der Statistik der Kohlenwirtschaft (Kohlenstatistik e.V. 2022) verwendet. Datengrundlage der Frühschätzung ist die Amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2023), die Jahresherhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (Destatis 2023j), die Statistik der Kohlenwirtschaft (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2023) und die Monatserhebung über die Gasversorgung (Destatis 2023h).
- 22 Die restlichen THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft sind den CRF-Kategorien 1.A.3.e „Pipelinetransport“ (0,4 %) und 1.B „Diffuse Emissionen aus der Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe“ (1,5 %) zuzuordnen. Die Aktivitätsdaten für den Pipelinetransport werden direkt aus der Frühschätzung der Energiebilanz übernommen. Datengrundlage der entsprechenden Energiebilanzzeile der Frühschätzung ist die Amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2023), die Jahresherhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (Destatis 2023j), die Statistik der Kohlenwirtschaft (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2023) und die Monatserhebung über die Gasversorgung (Destatis 2023h). In der Quellgruppe „Diffuse Emissionen aus der Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe“ unterscheiden sich die genutzten Verfahren je nach Brennstoff. Für Mineralöl erfolgt eine Fortschreibung der Vorjahreswerte, für die Kokereien werden die Werte mithilfe der Produktionsstatistik für Roheisenerzeugung (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022) abgeschätzt, für stillgelegte Kohlengruben erfolgt eine Modellrechnung und für die Braunkohleförderung und die Produkterzeugung werden Daten aus der Statistik der Kohlenwirtschaft (Kohlenstatistik e.V. 2022) verwendet. Bei Erdgas werden für die Abschätzung der Emissionen aus dem Erdgastransport die Zubauraten des Gasnetzes aus dem Netzentwicklungsplan als Basis herangezogen. Für die Emissionen aus der Verteilung und den Endanwenderverlusten werden Daten aus dem Monitoringbericht „Energie“ und des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches verwendet. Bei den Emissionen aus der Erdgasbereitstellung gab es eine Anpassung im Berechnungsmodell, die in Böttcher (2022) dokumentiert ist.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Energiewirtschaftssektor

Energiewirtschaft		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
CRF 1.A.1	Neue Vorgehensweise Vorgehen analog zur Inventarberichterstattung unter Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz	Bisherige Vorgehensweise Bottom-up Schätzung unter Berücksichtigung von Daten aus dem THG-Inventar des Vorjahres und Verwendung amtlicher Statistiken aus dem Berichtsjahr
CRF 1.B	- Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres - Verwendung von Daten des Berichtsjahres - Modellberechnung - Korrelation mit anderen Aktivitätsdaten	
CRF 1.A.3.e	Neue Vorgehensweise Vorgehen analog zur Inventarberichterstattung unter Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz	Bisherige Vorgehensweise Korrelation mit anderen Aktivitätsdaten
Weitere Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr		
Anpassung der Emissionsfaktoren für Methan für diffuse Emissionen aus der Erdgasbereitstellung (Böttcher 2022).		

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes und der AGEb.

- 23 Im **Industriesektor** sind die THG-Emissionen zum einen durch die Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.2) und zum anderen durch Emissionen aus Industrieprozessen und der Produktverwendung (CRF-Kategorie 2) bestimmt.² Die Verbrennung von Brennstoffen macht dabei mit rund zwei Dritteln Anteil den weitaus größten Teil der THG-Emissionen in der Industrie aus. Hinsichtlich der Prozessemissionen sind besonders die mineralische Industrie und die Metallindustrie mit ungefähr je einem Zehntel der gesamten THG-Emissionen des Industriesektors relevant.
- 24 Für die Kategorie der Verbrennung von Brennstoffen in der Industrie nutzt das Umweltbundesamt zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im Rahmen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres seit diesem Jahr primär die von der AGEb erstellte Frühschätzung der Energiebilanz. Aus dieser werden die

² Im Bundes-Klimaschutzgesetz wird dem Industriesektor auch die CRF-Kategorie 1.C (CO₂-Transport und -Lagerung) zugeordnet. In dieser Kategorie werden die Emissionen im Zusammenhang mit der CO₂-Abscheidung von Abgasen und der nachfolgenden Speicherung (CCS) bilanziert. Hierfür wird der CRF Notation Key NO (not occurring – nicht vorkommend) verwendet. Im nationalen Inventarbericht wird auf die einzige in Deutschland betriebene Pilotanlage verwiesen; die eingespeicherte Menge (67 kt CO₂) wurde im deutschen Inventar nicht abgezogen, etwaige Entweichungen sind somit berücksichtigt (UBA 2023e).

Aktivitätsdaten mittels einer vom Umweltbundesamt durchgeführten Disaggregation bestimmt und mit den Emissionsfaktoren der Brennstoffe verrechnet (ERK 2023, siehe Kapitel 2.2.1). Für die Verbrennung von Brennstoffen in der Industrie sind die Energiebilanzzeilen 12 (Industriewärmeleistungwerke (nur für Strom)) und 60 (Endenergieverbrauch Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe) der Fröhschätzung der Energiebilanz relevant. Energiebilanzzeile 60 wird von der AGEB über das Energiebilanzprognosemodell berechnet. Energiebilanzzeile 12 wurde von der AGEB differenziert nach Energieträgern und Wirtschaftszweigen über einen Indikatorenansatz und somit über eine monokausale Fortschreibung des Vorjahreswerts berechnet. Der Indikatorenansatz baut auf der Produktionsentwicklung (Destatis 2023g) auf und verwendet Daten der Energiebilanz bzw. der Jahreserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (Stat. 067) (Destatis 2023i). Darüber hinaus werden für die Berechnung der Kategorie 1.A.2 auch fortgeschriebene Werte der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2023f) und Verbandsdaten für die Papier-, Zement- und Kalkindustrie verwendet, um eine Untererfassung von Sekundärbrennstoffen in bestimmten Wirtschaftszweigen zu vermeiden.

- 25 Für die Bestimmung der Prozessemissionen und des Produkteinsatzes greift das Umweltbundesamt auf unterschiedliche Datenquellen für die Aktivitätsdaten zurück und multipliziert diese mit Emissionsfaktoren aus der Emissionsberichterstattung. Dabei ist zu beachten, dass die Datengrundlagen für die verschiedenen Industriebranchen und somit die genutzten Ansätze zur Berechnung der THG-Emissionen variieren. Allgemein wird auf amtliche Statistiken, Erhebungsdaten von Produzenten und Verbänden und Schätzungen von Expert*innen zurückgegriffen. Fehlende Werte einzelner Monats- und Quartalsdaten müssen zudem durch eine Fortschreibung extrapoliert werden. Im Folgenden wird eine Übersicht über die verwendeten Daten und Methoden in den einzelnen Industriebranchen gegeben. Aufgrund der Vielfältigkeit der Prozesse des Sektors wird auf eine vollständige Darstellung verzichtet.
- 26 Die Berechnung der Prozessemissionen der mineralischen Industrie beruht auf den jeweiligen Produktionsmengen der verschiedenen Produkte. Die Produktionsmengen der Zementklinker- und Branntkalkherstellung basieren auf prozentualen Entwicklungen der ersten drei Quartale amtlicher Statistiken (Destatis 2023g). Über diese relativen Änderungen werden die zuletzt verfügbaren Inventarwerte extrapoliert. Bei der Bestimmung der Prozessemissionen hinsichtlich der Glasherstellung und des Keramikbrennens werden aufgrund mangelnder Datenlage Schätzungen von Expert*innen für die Produktionsmengen verwendet.
- 27 Für die Prozessemissionen der chemischen Industrie konnte vielfach auf Angaben von Herstellern und Verbänden zurückgegriffen werden. Dies gilt insbesondere für die Ammoniak-, Salpeter-, Carbid-, Adipinsäure-, Soda- und Industrierußproduktion. Für die petrochemische Chemie konnten die Produktionsmengen von Destatis genutzt werden. Dabei ist eine Fortschreibung fehlender Quartale notwendig. Im Fall der Produktion von Dodecandisäure werden die Emissionen aus dem Vorjahr verwendet.
- 28 Die Berechnungen der Prozessemissionen in der Metallindustrie basieren im Fall der Stahl- und Roheisenerzeugung und bei Primäraluminium auf Angaben zu Produktionsmengen, die von Verbänden zur Verfügung gestellt werden. Für Sekundäraluminium wurden Schätzungen von Expert*innen genommen. Für die Produktionsmengen von Blei, Zink und Kupfer liegen keine Zahlen vor, weswegen die Vorjahreswerte verwendet wurden.

- 29 Die THG-Emissionen der Produktverwendung beruhen maßgeblich auf der Menge des jeweils verwendeten Produktes. Für Schmierstoffe und Kerzen können die Mengen aus amtlichen Statistiken übernommen werden (BAFA 2023; Destatis 2023g; 2023k). Fehlende Monate oder Quartale werden geschätzt. Die Lösemittlemissionen werden für das Jahr 2022 nun mit Hilfe von Verbandsdaten abgeschätzt.
- 30 Die Emissionen fluorierter Treibhausgase werden durch Schätzungen von Expert*innen ermittelt.
- 31 Für die N₂O-Emissionen aus dem Lachgaseinsatz wird auf Verbandsdaten zur Absatzmenge zurückgegriffen.
- 32 Die Emissionen aus den verwendeten Kraftstoffmengen mobiler Emittenten der Bauwirtschaft werden ebenfalls im Sektor Industrie angerechnet. Es erfolgt eine Übernahme des Vorjahreswerts des Inventars, sofern sich die konjunkturelle Entwicklung der Bauwirtschaft nicht grundlegend von vom vorangegangenen Jahr unterscheidet.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Industriesektor

Industrie		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
CRF 1.A.2	Neue Vorgehensweise • Frühschätzung der Energiebilanz basierend auf Jahresdaten und ggf. monatlichen Indikatoren, teils basierend auf einem Energiebilanz-Prognose-Modell • Extrapolation historischer Daten • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr	Bisherige Vorgehensweise • Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres • Expert*innenschätzung • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr • Korrelation mit anderen Aktivitätsdaten
CRF 2.A	• Expert*innenschätzung • Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres	
CRF 2.B	• Expert*innenschätzung • Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr	
CRF 2.C	• Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr	
CRF 2.D	• Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr • Extrapolation historischer Daten	
CRF 2.E	• Expert*innenschätzung	
CRF 2.F	• Expert*innenschätzung	

CRF 2.G	• Expert*innenschätzung • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr
---------	--

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes und der AGEB.

33 Im **Gebäudesektor** (CRF-Kategorien 1.A.4/5) sind die großen Emittenten die stationären Feuerungsanlagen in Haushalten (CRF-Kategorie 1.A.4.b i) und in Gewerbe, Handel, Dienstleistung (CRF-Kategorie 1.A.4.a i), die Mineralölprodukte (leichtes Heizöl und Flüssiggas) und Gas nutzen (ca. 97 % in 2021). Für diese CRF-Kategorien wird die Frühschätzung der Energiebilanz genutzt, welche durch die AGEB erstellt wird. Aus dieser können die Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien 1.A.4.a/b i übernommen und mit den Emissionsfaktoren der Brennstoffe direkt verrechnet werden. Für den Absatz an Gewerbe, Handel, Dienstleistung werden von den übernommenen Werten aus der Frühenergiebilanz noch die Absätze an Landwirtschaft und Militär sowie die Flüssiggasverbräuche der mobilen Quellen abgezogen. Militär wird ebenfalls im Gebäudesektor mit der CRF-Kategorie 1.A.5 bilanziert. Der Mineralölabsatz an das Militär ist gesondert in den Amtlichen Mineralöl Daten aufgeführt. Somit können die Treibhausgasemissionen unter Verwendung des entsprechenden Emissionsfaktors direkt berechnet werden. Der Gasabsatz an das Militär ist dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung zugeordnet. Der Absatz an die Landwirtschaft wird über einen festen Anteil berechnet. Zur Erstellung der Frühenergiebilanz wird für die Energiebilanzzeile der Haushalte (Zeile 66) ein Teilmodell des Energiebilanzprognosemodells genutzt. Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Zeile 67) stellt vornehmlich eine Restgröße dar, welche sich über die Differenz der Absätze an Erdgas und Heizöl an Industrie und Haushalte von der bekannten Gesamtmenge ergibt. Die weitere Gruppe an Emittenten im Gebäudesektor sind mobile Verbraucher (CRF-Kategorie 1.A.4.a/b ii). Deren Emissionen betrugen ca. 1,4 % der Gesamtemissionen des Gebäudesektors im Jahr 2022. Sie werden aus dem aktuellen Treibhausgasinventar übernommen und geringfügig angepasst, um einer geänderten Biokraftstoffquote Rechnung zu tragen. Die dritte Gruppe sind die Treibhausgasemissionen des Militärs (CRF-Kategorie 1.A.5).

Tabelle 5: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Gebäudesektor

Gebäude		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
CRF 1.A.4 a/b i	Neue Vorgehensweise • Haushalte: Daten aus Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB) auf Basis des Energiebilanzprognosemodells • GHD: Daten aus Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB), Restgröße als Differenz des Gesamtabsatzes der Brennstoffe und der Absätze an die anderen Kategorien	Bisherige Vorgehensweise • Auf Basis der sektoralen Energiebilanz t-2 und der Änderungsrate des Absatzes für den Brennstoff von t-2 nach t-1

CRF 1.A.4. a/b ii	• Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres
CRF 1.A.5	• Direkte Übernahme aus den amtl. Mineralöl- und Gasdaten

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes und der AGEB.

- 34 Im **Verkehrssektor** (CRF-Kategorie 1.A.3) entstammt ein Großteil der Emissionen aus den Verbrennungsprozessen von Antrieben, welche Mineralöl (Benzin und Diesel), Kerosin und (zu einem geringen Anteil) Gas nutzen. Somit liefern im Verkehrssektor die Amtlichen Mineralöl- und Gasdaten (BAFA 2023) die Menge der in Deutschland abgesetzten Kraft- und Treibstoffe für das Jahr 2022. Die Mengen werden über die treibstoffspezifischen Heizwerte gemäß Daten der AGEB für das Jahr 2020 (AGEB 2022) in Aktivitätsdaten umgerechnet. Die Energiemengen werden auf die unterschiedlichen Verkehrsträger (Flug-, Schiffs- und Schienenverkehr) verteilt und Anteile, die anderen Sektoren zugeordnet werden, wie z. B. Treibstoffmengen an das Militär, abgezogen. Die Verschiebung von geringen Energiemengen zu anderen Sektoren erfolgt in Absprache mit den jeweiligen zuständigen Mitarbeitenden des Umweltbundesamtes, des Ifeu Instituts und des Thünen-Instituts. Die Aktivitätsdaten im Straßenverkehr ergeben sich als Rest der vorherigen Zu- und Aufteilung. Sie werden im Modell TREMOD auf einzelne Verkehrsträger aufgeteilt. Dabei werden für diese Aufteilung und zur Plausibilisierung zusätzliche Realdaten verwendet (siehe Tabelle 1). Im Weiteren erfolgt die Berechnung der Treibhausgasemissionen über die Multiplikation der spezifischen Verbrauchszeitreihen aus dem TREMOD Modell mit den treibstoffspezifischen Emissionsfaktoren. Für die Abschätzung der Emissionen des zivilen innerdeutschen Flugverkehrs (CRF-Kategorie 1.A.3.a) werden die Gesamt-Energiemengen aus den Amtlichen Mineralöl- und Gasdaten mithilfe von sogenannten Splitfaktoren aus dem Modell TREMOD Aviation⁵³ in nationale und internationale Anteile aufgeteilt. Für die Berechnung des Brennstoffverbrauchs des Schienenverkehrs (CRF-Kategorie 1.A.3.c) liegen keine separaten statistischen Daten vor und werden daher anhand originärer DB-Daten und Fahrplandaten übriger Betreiber geschätzt. Die Gesamtenergiemenge der flüssigen Brennstoffe im Schienenverkehr wird zusätzlich um den aktuellen biogenen Anteil korrigiert, da dieser emissionsneutral ist. Die geringe Menge an Festbrennstoffen wird aus dem Vorjahr übernommen. Der Schiffsverkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.d) setzt sich aus zwei Posten zusammen, der Binnenschifffahrt und dem nationalen Seeverkehr. Die Aktivitätsdaten für die Binnenschifffahrt werden anhand der Veränderung der Inlandsablieferungen prozentual angepasst. Dafür wird der Wert aus dem aktuellsten Emissionsinventar des Vorjahres prozentual nach oben oder unten korrigiert. Zusätzlich zu dieser Anpassung führten die geringen Pegelstände in 2022 zu weiteren Verringerungen der Aktivitätsdaten. Die Emissionsfaktoren für die Binnenschifffahrt basieren auf einer Modellierung mit dem Modell TREMOD. Für den nationalen Seeverkehr werden die Aktivitätsdaten unverändert aus dem Vorjahr übernommen. Die Emissionsfaktoren für den nationalen Seeverkehr werden aus dem aktuellen Treibhausgasinventar fortgeschrieben. Über 99 % der Treibhausgasemissionen basieren auf Kohlenstoffdioxid (CO₂), andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas spielen im Verkehrssektor eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Verkehrssektor

Verkehr	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
1.A.3.a	• Verwendung von Daten des Berichtsjahres (BAFA 2023) • Modellberechnung (TREMOT Aviation)
1.A.3.b	• Verwendung von Daten des Berichtsjahres (indirekte Restmenge) (BAFA 2023) • Expert*innenschätzung • Modellberechnung
1.A.3.c	• Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres (UBA 2023e) • Expert*innenschätzung (originäre DB Daten und Fahrplandaten übriger Betreiber) • Modellberechnung
1.A.3.d	• Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres (UBA 2023e) • Expert*innenschätzung • Modellberechnung

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

35 Im **Landwirtschaftssektor** (CRF-Kategorie 3) dominieren Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) mit rund 56 % bzw. 30 % die Treibhausgasemissionen, CO₂-Emissionen spielen eine untergeordnete Rolle. Die CH₄-Emissionen entstehen zu rund 76 % aus der Tierhaltung, da sie ein Produkt der Fermentation bei der Verdauung sind (CRF-Kategorie 3.A). Die N₂O-Emissionen stammen zu rund 86 % aus landwirtschaftlich genutzten Böden (CRF-Kategorie 3.D). Das Wirtschaftsdüngermanagement (CRF-Kategorie 3.B) trägt rund 19 % zu den CH₄-Emissionen und 12 % zu den N₂O-Emissionen bei. Für die Bestimmung der Aktivitätsdaten im Landwirtschaftssektor werden drei Fachserien des Statistischen Bundesamtes herangezogen: die Statistiken zum Viehbestand (Destatis 2023d), zur Düngemittelversorgung (Destatis 2022c) und zu Wachstum und Ernte von Feldfrüchten (Destatis 2023c). Die beiden erstgenannten Datenquellen basieren auf einer Vollerhebung der jeweiligen Betriebe, die Daten zu Wachstum und Ernte von Feldfrüchten basieren auf einer Kombination aus Schätzung, Erhebung und Hochrechnung. Für den Viehbestand und die Feldfrüchte liegen zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres vorläufige Daten vollständig vor, allerdings noch keine konsolidierten Werte. Die Daten für die Düngemittelversorgung liegen für das letzte Wirtschaftsjahr, das den Zeitraum der Monate Juli bis Juni abdeckt, vollständig vor. Damit sind alle benötigten Daten für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Mineraldüngereinsatz und Kalkung für das Vorjahr vorhanden. Zur Berechnung der Emissionen wird das Modell Py-Gas-EM des Thünen-Instituts verwendet, das auch für die Berechnung der Treibhausgasinventare Anwendung findet (UBA 2023c) und im Thünen-Report 91 schematisch dargestellt ist (Vos et al. 2022, S. 33). Auf Basis von Viehbeständen und Leistungsdaten berechnet das Modell die Futteraufnahme der Tiere und auf Basis dessen die CH₄- und Stickstoffemissionen. Anschließend wird der Massefluss durch das Landwirtschaftssystem und die dabei auftretenden THG-Emissionen modelliert. Die Emissionen durch Düngemittel und Stickstoffeintrag

werden über Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren berechnet. Genutzt werden für das Modell die oben beschriebenen Daten. Weitere benötigte Daten werden aus dem Vorjahr übernommen. Diese betreffen aber Emissionsquellen, die einen geringen Einfluss auf die Gesamtemissionen der Landwirtschaft haben und historisch keine großen Änderungen aufweisen. Stationäre Feuerungsanlagen in der Landwirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.4.c) sind im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung der Frühschätzung der Energiebilanz der AGEB enthalten. Sie werden zunächst dort mit berechnet und dann mit dem aus dem Vorjahr übernommen Anteil aus dem Sektor Gebäude herausgerechnet und dem Landwirtschaftssektor zugerechnet. Die den mobilen Emittenten des Sektors zugewiesenen Gesamt-Energiemengen werden aus dem Vorvorjahr übernommen (UBA 2023a). Tabelle 7 fasst das Vorgehen bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft sowie Änderungen im Vorgehen zusammen. Im Prüfbericht (ERK 2023) werden die Änderungen im Vorgehen im Landwirtschaftssektor in Kapitel 2.2.3 beschrieben.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Landwirtschaftssektor

Landwirtschaft		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
CRF 1.A.4.c (Gesamt-Energie-mengen)	Neue Vorgehensweise • Datenbasis: Frühschätzung der Energiebilanz basierend auf Jahresdaten mit Indikatoren auf viertelj. Datenbasis • Übernahme der Anteile aus dem THG-Inventar des Vorjahres	Bisherige Vorgehensweise • Datenbasis: Energiebilanz • Übernahme der Anteile aus dem THG-Inventar des Vorjahres
CRF 3	• Berechnung der THG-Emissionen mittels des Emissionsinventarmodells Py-GAS-EM • Wenn möglich, Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr	
Weitere Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr		
• Erstmalige Berichterstattung der THG-Emissionen aus Abfallgärresten und Komposten auf Böden im Sektor Landwirtschaft, statt wie zuvor im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges. • Einbeziehung neuer Fütterungsdaten für Mastschweine und aus der Zusatzerhebung Proteineinsatz in der Schweinemast (Destatis 2022a). • Explizite Berücksichtigung von Emissionen bei Auslauf von Freilandlegehennen basierend auf einer Expert*innenschätzung. • Erstmals indirekte N₂O-Auswaschungsemissionen aus Feldrandlagerung von Mist. • Änderungen in indirekten N₂O-Emissionen durch Anpassung der Ammoniakemissionen aus Tiefstreuhaltung, durch die Änderung der Emissionsfaktoren für Ammoniak aus der Legehennenhaltung und durch veränderte Berechnung zur Abluftreinigung in der Schweinehaltung.		

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes und der AGEB.

36 Emissionen im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** umfassen nur die CRF-Kategorien Abfalldeponierung (5.A), Biologische Abfallbehandlung (5.B), Abwasserbehandlung (5.D) und Sonstiges

(5.E bzw. mechanisch-biologische Abfallbehandlung, 5.E.1), da THG-Emissionen aus der Abfallverbrennung unter energetischer Nutzung (CRF-Kategorie 5.C) in der Energiewirtschaft bilanziert werden. Die THG-Emissionen werden durch numerische Modelle, Extrapolation vergangener Aktivitätsdaten sowie zum Teil fortgeschriebener Werte (mit unterschiedlichen Aktualisierungszyklen) berechnet. Fortschreibung und Extrapolation sind nötig, da relevante Statistiken meist nur mit großem zeitlichem Verzug verfügbar sind. Bei THG-Emissionen aus diesem Sektor hat die mangelnde Aktualität der Aktivitätsdaten ein geringes Gewicht. Dies liegt entweder daran, dass bereits deponierten, nicht behandelten organischen Abfälle eine deutlich größere Rolle als neu hinzukommenden Abfalldeponierungen zukommt, oder daran, dass die THG-Emissionen in (Sub-)Kategorien anteilig gering ausfallen. Emissionsfaktoren hingegen werden regelmäßig an den aktuellen Wissenstand angepasst, was häufig zu erheblichen Korrekturbedarfen bzw. Änderungen führt. Für Extrapolationen in den CRF-Kategorien 5.A, 5.B und 5.E sind direkte Datenübermittlungen der DESTATIS zur Abfallentsorgungsstatistik (ehemals DESTATIS, FS 19, R 1; letzte veröffentlichte Reihe Destatis 2019) zentral, welche bei der Anwendung bereits zwei Jahre alt sind. Die DESTATIS Fachserien zur öffentlichen und privaten Wasserversorgung und Abwasserentsorgung stellen die Grundlage für Extrapolationen der Aktivitätsdaten in der CRF-Kategorie 5.D (Destatis 2018b; 2018a); diese liegen ebenfalls mit einem Verzug von zwei bis fünf Jahren vor. Für die Abfalldeponierung (5.A) werden alle eingangs genannten Methoden genutzt um mit einem Modell des IPCC ("First-Order-Decay"-Modell) auf Basis verschiedener Müllfraktionen die Methan-Emissionen der Deponierung zu berechnen. In der biologischen Abfallbehandlung (5.B) und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (5.E.1) werden THG-Emissionen anhand extrapolierte Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren der Nationalen Inventarberichterstattung berechnet. Die THG-Emissionen in der Kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1) werden über extrapolierte Aktivitätsdaten (mit Emissionsfaktoren der Nationalen Inventarberichterstattung) sowie Fortschreibungen (Proteinversorgungsdaten, aktualisiert für 2018 und 2019) berechnet. Für die industrielle Abwasserbehandlung (5.D.2) wird für Methan-Emissionen ein anwendungsbezogenes Modell genutzt, und Lachgasemissionen werden über fortgeschriebene Aktivitätsdaten errechnet, die alle drei Jahre anhand diverser Statistiken aktualisiert werden (zuletzt 2020). Tabelle 8 zeigt auf übergeordneter Ebene die Verfahren zur Emissionsberechnung für den Sektor Abfallwirtschaft sowie etwaige Änderungen, die die Methoden und die Datengrundlage betreffen.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

Abfallwirtschaft und Sonstiges	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
5.A	Modellberechnung ("First-Order-Decay" Modell) mit extrapolierten (Abfallentsorgungsstatistik) und aus dem Vorjahr übernommenen Aktivitätsdaten
5.B	Extrapolation historischer Aktivitätsdaten (Abfallentsorgungsstatistik)
5.D.1	- Extrapolation historischer Aktivitätsdaten (öffentliche und private Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Bevölkerung) - Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen (Proteinversorgung)

5.D.2	• Modellberechnung • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
5.E.1	• Extrapolation historischer Aktivitätsdaten (Abfallentsorgungsstatistik)
Weitere Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr	
• THG-Emissionen von Böden durch Ausbringung von Abfallgärresten und Komposten nun in der Landwirtschaft bilanziert • Anpassung von Emissionsparametern in Modellberechnungen für Abfalldeponierung (5.A). • Verringerung der Emissionsfaktoren für N₂O in der biologischen Abfallbehandlung (5.B) • Aktualisierte Proteinversorgung für Lachgasemissionen der kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1) • Weiterführende Erläuterungen zu angepassten GWPs und Emissionsfaktoren finden sich in Kapitel 4.2.2 des Prüfberichts (ERK 2023).	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

37 Die Aktivitäten im Sektor **LULUCF** werden nach Landnutzungskategorien aufgeteilt und Landnutzungsänderungen in einer Landnutzungsmatrix erfasst. Diese wird für Zeitpunkte ab dem Jahr 2000 überwiegend auf dem Basis-Digitales Landschaftsmodell (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS®)), das fortlaufend erneuert wird, ermittelt. Für weiter zurückliegende Zeitpunkte, sowie um Datenlücken im Basis-Digitales Landschaftsmodell zu schließen, wird weiteres Kartenmaterial herangezogen (UBA 2023c). Die Karte organischer Böden (Roßkopf et al. 2015) dient zur Unterscheidung zwischen organischen und mineralischen Böden. Im Sektor LULUCF (CRF-Kategorie 4) basieren die Berechnungen auf dem Inventarmodell, das für das aktuelle Nationale Treibhausgasinventar (UBA 2023c) verwendet wird. Im Inventarmodell werden die Treibhausgasemissionen für alle CRF-Subkategorien des Sektors berechnet. Dabei werden sowohl die sogenannten Verbleibkategorien, in denen eine Fläche in derselben Landnutzungskategorie verblieben ist, berichtet, als auch die Übergangskategorien, in denen eine Landnutzungsänderung stattgefunden hat. Der Übergangskategorie werden Flächen für 20 Jahre nach der Nutzungsänderung zugeordnet. Anschließend gehen sie in die entsprechende Verbleibkategorie über. Die Grundlage für das Inventarmodell bildet die Landnutzungsmatrix. Für jede Landnutzungskategorie werden nutzungsspezifische Emissionsfaktoren (Einheit: t C ha⁻¹ a⁻¹) ermittelt. Für organische Böden werden die Emissionsfaktoren nach den Richtlinien des 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC 2014) bestimmt. Dabei erfolgt für CO₂ und CH₄ aus Böden für alle Landnutzungskategorien die Bestimmung der Emissionsfaktoren durch empirische Modelle. Eine Ausnahme stellt die Kategorie Wald (CRF-Kategorie 4.A) dar, bei der für organische Böden Default-Werte (IPCC 2014) verwendet werden. Für N₂O werden nationale, jährliche Messdaten verwendet. Für jede Landnutzungskategorie und jedes Treibhausgas wird im Anschluss ein impliziter Emissionsfaktor bestimmt. Im Falle einer Landnutzungsänderung wird der Emissionsfaktor der neuen Landnutzungskategorie verwendet. Für Mineralböden werden pro Land für jede Landnutzungskategorie Kohlenstoffvorräte durch Bodenzustandserhebungen ermittelt. Bei Verbleibkategorien innerhalb der Mineralböden wird davon ausgegangen, dass es zu keiner Kohlenstoffveränderung im Boden kommt. Eine Ausnahme stellt auch hier die Kategorie Wald (CRF-Kategorie 4.A) dar. Aus den Bodenzustandserhebungen wurde hier eine Kohlenstoffvorratsveränderung ermittelt. Für Übergangskategorien bei den Mineralböden werden jährlich neue implizite Emissionsfaktoren pro Landnutzungsänderungskategorie ermittelt. Die impliziten Emissionsfaktoren entsprechen den mittleren Emissionsfaktoren für die vergangenen 20 Jahre. In Deutschland werden für

die CRF-Kategorien 4.F (Sonstiges Land) und 4.H (Andere Bereiche) keine separaten Treibhausgasquellen oder senken berichtet. Tabelle 9 fasst die Änderungen im Vorgehen bei der Emissionsberechnung gegenüber dem Vorjahr für den Sektor LULUCF zusammen. Im Prüfbericht (ERK 2023) werden die Änderungen im Vorgehen im Sektor LULUCF in Kapitel 2.2.3 beschrieben.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr im Sektor LULUCF

LULUCF		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
4.A	Neue Vorgehensweise • Datenbasis: Energiebilanz • Neue Modellierungsmethode für die Mineralböden im Wald • Verwendung neuer Karten zu Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten in Mineralböden • Erstmalige Berücksichtigung der Biomasse von Totholz und Streu im Zusammenhang mit Waldbränden	Bisherige Vorgehensweise • Datenbasis: Energiebilanz • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.B	Neue Vorgehensweise • Verwendung neuer Karten zu Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten in Mineralböden	Bisherige Vorgehensweise • Verwendung neuer Karten zu Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten in Mineralböden • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.C	Neue Vorgehensweise • Neue Landnutzungssubkategorie: Hecken • Verwendung neuer Karten zu Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten in Mineralböden	Bisherige Vorgehensweise • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.D	Neue Vorgehensweise • Neue Landnutzungssubkategorie: Hecken • Neue Landnutzungssubkategorien: Natürliche Gewässer, stehende künstliche Gewässer, fließende künstliche Gewässer	Neue Vorgehensweise • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.E	Neue Vorgehensweise • Neue Landnutzungssubkategorie: Straßen • Einführung neuer regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie Gebäude und Freiflächen.	Bisherige Vorgehensweise • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten
4.G	• Extrapolation historischer Aktivitätsdaten	

Weitere Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2022 gegenüber dem Vorjahr

- Extrapolation historischer Aktivitätsdaten.
- Aktualisierte Kartengrundlage und Landnutzungsmatrix.
- Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in R und C++.
- Regionalisierung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte von Mineralböden.

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung

A.2.1 Korrekturbedarfe

A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen

- 38 Die Treibhausgasinventare enthalten berechnete Emissionsschätzungen für die Jahre ab 1990 bis zum aktuellen Berichtsjahr. Diese Berechnungen werden mit der Veröffentlichung eines neuen Treibhausgasinventars rückwirkend für alle Berichtsjahre durchgeführt und an die aktuellen Methoden und Aktivitätsdaten angepasst. Je weiter der Berichtszeitraum in der Vergangenheit liegt, desto umfangreichere und verlässlichere Daten zu Aktivitäten und Emissionsfaktoren kann das Umweltbundesamt für die Emissionsberichterstattung nutzen. Hinzu kommen methodische Verbesserungen für die Bestimmung der THG-Emissionen. Daher ist zu erwarten, dass sich die Genauigkeit von Emissionsberechnungen für Berichtsjahre erhöht, die weiter in der Vergangenheit liegen. Somit können die Korrekturbedarfe, die sich über die Zeit ergeben, als Gütekriterium zur Bewertung der Emissionsberechnungen dienen. Im Technischen Begleitdokument des letzten Prüfberichts (ERK 2022a) zeigte sich bereits, dass die erste Schätzung eines Berichtsjahrs, die als stabil betrachtet werden kann, aus dem zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar ($t+3$)³ hervorgeht, da nachträgliche Korrekturbedarfe gering sind. Ebenfalls zeigte der Prüfbericht, dass es zu keiner systematischen Über- oder Unterschätzung der Emissionen kam, die sich aus Korrekturen ergeben würde (siehe auch ERK 2022b). Dies bestätigte sich auch unter Einbeziehung der nun hinzugekommenen Schätzungen aus dem Treibhausgasinventar 2023 (UBA 2023e). Die im Folgenden durchgeführten Analysen beziehen hierzu die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bis hin zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar ein.
- 39 Die Korrekturen über alle Sektoren hinweg zeigen als Gesamtbetrachtung (246 Datenpunkte) keinen statistisch feststellbaren Überhang zu Erhöhungen (114) oder Reduktionen (138; $\chi^2_1 = 2,29$, $p = 0,13$). Auch auf sektoraler Ebene sowie für die Summe aller Emissionen (ohne LULUCF) können keine systematischen Ungleichgewichte nachgewiesen werden ($\chi^2_7 = 9,33$, $p = 0,23$). Tabelle 10 bietet eine Übersicht der Korrekturen auf sektoraler und Gesamtebene und gibt weiter Aufschluss über das Verhältnis von Emissionserhöhungen zu Emissionsreduktionen. In der Industrie ist das Verhältnis der Korrekturen am wenigsten ausgeglichen, und bei der sektorenübergreifenden Betrachtung (ohne LULUCF) kam es in der Vergangenheit am häufigsten zu Reduktionen.

³ Die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres wird wie in Kapitel 2 des Prüfberichts 2023 dargestellt zum 15. März des dem Berichtsjahr folgenden Jahres veröffentlicht ($t+1$), das zum Berichtsjahr korrespondierende Nationale Treibhausgasinventar jedoch erst mit einer zeitlichen Distanz von zwei Jahren ($t+2$, siehe Kapitel 2, ERK 2023). Im Rahmen der nachfolgenden Analyse wird das Treibhausgasinventar, welches drei Jahre nach dem Berichtsjahr publiziert wird ($t+3$), als erste stabile Schätzung und als zweites nachfolgendes Treibhausgasinventar bezeichnet.

Tabelle 10: Übersicht und statistischer Vergleich der Korrekturen (keine, Erhöhung, Reduktion) zwischen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bis zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+1 bis t+5) für alle Sektoren und die Gesamtemissionen.

	Keine	Erhöhung (E)	Reduktion (R)	Anteil Erhöhungen E/(E+R)	[95 % KI]	χ^2_1	p-Wert
Energiewirtschaft	0	21	21	50 %	[36–64] %	0,00	1,00
Industrie	0	16	26	38 %	[25–53] %	2,38	0,12
Gebäude	0	19	23	45 %	[31–60] %	0,38	0,54
Verkehr	0	19	23	45 %	[31–60] %	0,38	0,54
Landwirtschaft	0	23	19	55 %	[40–69] %	0,38	0,54
Abfallwirtschaft	0	16	26	38 %	[25–53] %	2,38	0,12
Summe (ohne LULUCF)	0	15	27	36 %	[23–51] %	3,43	0,06

Eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen auf Basis der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BEV) und der Treibhausgasinventare (TI) des Umweltbundesamtes der Berichtsjahre 2010–2021. Die Farbskalen sind von 0 % bis 100 % (Anteil Erhöhungen) bzw. von 0 bis 1 (p-Wert) genormt und rot repräsentiert das Spaltenmaximum. Das 95 % Konfidenzintervall ([95 % KI]) folgt aus einem zweiseitigem Chi-Squared Test für Proportionen mit einem Freiheitsgrad mit dem kritischen Wert (χ^2_1) und zugehörigem p-Wert (< 0.05 entspricht systematischen Überhängen).

- 40 Die Korrekturbedarfe nehmen in der Regel wie im Prüfbericht 2022 (ERK 2022a) festgestellt sowie oben beschrieben über die Zeit ab und stellen sich im zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) auf stabile Verhältnisse ein (Tabelle 11). Dieser Korrekturbedarf liegt für alle Sektoren zwischen 0,2 % und 0,8 %, ausgenommen der Landwirtschaft sowie der Abfallwirtschaft und Sonstige, deren Korrekturbedarfe deutlich über denen der restlichen Sektoren liegen. Dies liegt daran, dass die Berechnungen hierfür kontinuierlichen methodischen Änderungen unterworfen sowie von Datenproblemen betroffen sind. Diese haben in der Vergangenheit auch jenseits vom zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) noch zu substanziellen Korrekturen und Rückrechnungen geführt. Ursache hierfür waren neben Anpassungen der Daten zusätzliche Veränderungen in den Annahmen zu Methan- und Lachgas-Emissionen. Diese substanziellen Anpassungen der Annahmen und Emissionsfaktoren bestätigen die großen Unsicherheiten, die das Umweltbundesamt in Bezug auf diese Emissionen angibt (ERK 2023, Kapitel 4.3).

Tabelle 11: Gemittelte relative Korrekturbedarfe aller Sektoren und der Gesamtemissionen (Summe ohne LULUCF) zwischen der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten bis zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+1 bis t+5)

	BVE vs 1.TI	1.TI vs 2.TI	2.TI vs 3.TI	3.TI vs 4.TI
Energiewirtschaft	0,8 %	0,6 %	0,3 %	0,3 %
Industrie	1,8 %	1,7 %	0,4 %	0,5 %
Gebäude	2,8 %	3,6 %	0,8 %	0,7 %
Verkehr	0,9 %	0,5 %	0,2 %	0,3 %
Landwirtschaft	2,7 %	2,9 %	3,0 %	3,4 %
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9,2 %	8,6 %	6,5 %	6,8 %
Summe (ohne LULUCF)	0,7 %	0,8 %	0,3 %	0,3 %

Eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen auf Basis der Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) und der Treibhausgasinventare (TI) des Umweltbundesamtes der Berichtsjahre 2010–2021. Die gemittelten Werte basieren auf den Beträgen der relativen Korrekturbedarfe. Die Farbskala ist von 0 % bis 10 % genormt und rot repräsentiert das Tabellenmaximum.

- 41 Die relativen Korrekturen der Gesamtemissionen (Summe ohne LULUCF) waren über die Zeit im Vergleich zu denen der einzelnen Sektoren durchweg gering (0,8 % bis 0,3 %). Selbst bei der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bedarf es hier vergleichsweise kleiner Korrekturen, die in etwa denen der ersten stabilen Schätzung der übrigen Sektoren entsprechen. Der Grund dafür ist, dass die Korrekturbedarfe der einzelnen Sektoren tendenziell negativ korreliert waren und sich deshalb eher gegenseitig ausglich als sich zu verstärken. In späteren nachfolgenden Treibhausgasinventaren (drittes bei t+4 und viertes bei t+5) lagen die durchschnittlichen Korrekturen der Gesamtemissionen bei 0,3 %.
- 42 Insgesamt kann also weiterhin das zweite Treibhausgasinventar (t+3) als erste stabile Schätzung für die Gesamtemissionen betrachtet werden. Gleiches gilt für die Treibhausgasemissionen der Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr. Schätzungen aller vorherigen Treibhausgasinventare einschließlich der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres sollten noch immer als vorläufig angesehen werden.

A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland

A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

- 43 Emissionsberechnungen basieren auf der Konzeptualisierung der Treibhausgasinventare (geografische Abgrenzung, erfasste Gase etc.), Modellen sowie Inputdaten und Annahmen (beispielsweise zu Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren). Auf jeder dieser Ebenen können Unsicherheiten auftreten.

Beispielsweise sind Modelle – als vereinfachtes Abbild realer, komplexer Systeme – sowie deren Inputdaten mit einem systematischen Fehleranteil (Bias) und einem Zufallsfehler behaftet. Die Unsicherheitsschätzung des Umweltbundesamtes bezieht sich dabei auf zufällige (statistische) Fehler bei der Messung/Erhebung von Daten, welche die Präzision dieser Messung/Erhebung beeinflussen. Für die jeweiligen geschätzten Werte werden Konfidenzintervalle ermittelt, die in 95 % der Fälle den wahren, nicht beobachtbaren Wert umfassen. Systematische Fehler, die die Genauigkeit (Richtigkeit) einer Messung verzerren, werden bei Bekanntwerden des Bias korrigiert, sofern möglich, und sind daher in der Unsicherheitsschätzung nicht erfasst. In den IPCC-Richtlinien wird angegeben, wie Unsicherheiten beispielsweise mittels statistischer Analyse empirischer Daten, durch Kodierung von Expert*innenmeinungen und der Identifizierung angemessener Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen quantifiziert werden können. Das Umweltbundesamt setzt diese Richtlinien um, indem Konfidenzintervalle der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren auf Basis von Literaturangaben und Expert*innenschätzungen in der zentralen nationalen Emissionsdatenbank (ZSE) hinterlegt sind (UBA 2023e).

- 44 Aufgrund der Anforderungen an die Buchführung für weite Bereiche wirtschaftlicher Aktivität sind Aktivitätsdaten tendenziell von einer geringeren Unsicherheit geprägt als Emissionsfaktoren. Laut Umweltbundesamt (UBA 2023e) sind insbesondere die Aktivitätsdaten, die auf Brennstoffeinsätzen und der bundesdeutschen Energiebilanz basieren, mit geringer Unsicherheit behaftet. Größere Unsicherheiten in Emissionsfaktoren treten insbesondere dann auf, wenn Emissionsfaktoren von einer Vielzahl an Faktoren abhängig und schwierig zu messen sind (zum Beispiel: Methan-Emissionsfaktor in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung). Die Unsicherheitsintervalle sind eher gering, wenn beispielsweise Messdaten zu Brennstoffqualitäten und somit unter anderem auch zu Kohlenstoffgehalten vorliegen, aus denen die Emissionsfaktoren konkret berechnet bzw. abgeschätzt werden können (zum Beispiel: CO₂-Emissionsfaktoren für Benzin und Diesel).

A.2.2.2 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2022

- 45 Wie bereits im Jahr 2021 und 2022 wies das Umweltbundesamt in seiner Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres auch dieses Jahr eine Abschätzung der Unsicherheiten aus. Dabei wird die qualitative Einschätzung im begleitenden Bericht (UBA 2023b) zusätzlich um eine quantitative Abschätzung des Unsicherheitsbereiches (UBA 2023d) der jeweiligen sektoralen Punktschätzung ergänzt, die dem Expertenrat für Klimafragen vorliegt. Für die Bestimmung der Unsicherheit sektoraler Emissionen wird in der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres die Methode der Fehlerfortpflanzung nach IPCC-Richtlinien angewendet. Dafür werden zunächst auf unterster Subkategorieebene die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren der entsprechenden Emissionen ermittelt. Anschließend werden diese Unsicherheiten für jeden Sektor sowie für die Gesamtemissionen aggregiert. Bei diesem Vorgehen liegt die Annahme normalverteilter sowie unkorrelierter Unsicherheitsangaben zugrunde. Bestehen asymmetrische Unsicherheitsangaben in einzelnen Bereichen, wird, gerechtfertigt durch die Annahme der Normalverteilung, der größere Wert der beiden Intervallgrenzen für jeweils beide Grenzen verwendet.
- 46 Zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres lagen in vielen Bereichen lediglich vorläufige Daten vor. Datenlücken wurden u. a. durch Expert*innenschätzungen gefüllt, die tendenziell jedoch einer größeren Unsicherheit als Realdaten unterliegen. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Unsicherheitsbereiche in den sektoralen Aktivitätsdaten (als Aggregat der Unsicherheiten auf

Subkategorieebene). Dies spiegelt sich in dem größeren Unsicherheitsbereich in Aktivitätsdaten für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2022 im Vergleich zum Treibhausgasinventar für das Jahr 2021 (UBA 2023d) wider. Das Umweltbundesamt verwendet hierfür einen "Booster" auf Basis einer Expert*innenschätzung, um die zusätzliche Unsicherheit systematisch auf die Unsicherheit in den Aktivitätsdaten anzuwenden.

- 47 Beim Anwenden des Boosters auf die Unsicherheiten in den Aktivitätsdaten geht das Umweltbundesamt methodisch wie folgt vor: Zunächst werden die sektoralen Unsicherheiten auf Basis der für jede CRF-Kategorie spezifischen kombinierten Unsicherheit (Gesamtunsicherheit von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren) berechnet. Anschließend wird auf Basis einer Expert*innenschätzung das Verhältnis zwischen Unsicherheiten in den Aktivitätsdaten und Unsicherheiten bei den Emissionsfaktoren bestimmt⁴. Die Berechnung über die kombinierten Unsicherheiten und einer anschließenden Aufteilung durch eine Expertenschätzung löst die Problematik nicht vergleichbarer Recheneinheiten der Aktivitätsdaten. Hierdurch können die Unsicherheiten bei den sektorspezifischen Aktivitätsdaten und den Emissionsfaktoren geschätzt werden. Da die Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren kaum Schwankungen unterliegen, werden für den durch die Aktivitäten induzierten Anteil der Unsicherheit zusätzlich Boosterfaktoren auf Basis einer weiteren Expert*innenschätzung festgelegt, die die zusätzliche Unsicherheit durch die Vorläufigkeit der Daten widerspiegelt⁵. Hierdurch ergibt sich eine neue (höhere) Gesamtunsicherheit. Die Zunahme der Zufallsfehler gegenüber dem Treibhausgasinventar 2021 verläuft zwischen den Sektoren nicht proportional. Dies ist insbesondere auf größere Unsicherheiten in den Aktivitätsdaten des Gebäudesektors zurückzuführen. Die Konfidenzintervalle der sektoralen Emissionsfaktoren wurden vom Umweltbundesamt aus dem Treibhausgasinventar für 2021 für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres übernommen. Die Annahme, dass die Fehler der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren unabhängig und normalverteilt sind, ist laut Umweltbundesamt nicht in allen Fällen gegeben. Jedoch führt, nach Aussagen des Umweltbundesamtes, der komplexere Ansatz einer Monte-Carlo Simulation zur Unsicherheitsbestimmung, der für die Treibhausgasinventare verwendet wird, zu ähnlichen Ergebnissen. Für die Unsicherheitsbestimmung der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres erscheint es deswegen als nachvollziehbar, den einfacheren Ansatz zu wählen.

⁴ Die vom Umweltbundesamt festgelegten Verhältnisse der Unsicherheiten (Emissionsfaktor/Aktivitätsdaten) für die jeweilige Sektoren sind: Energiewirtschaft 1,0; Industrie 1,5; Gebäude 2,0; Verkehr 2,0; Landwirtschaft 5,0; Abfallwirtschaft und Sonstiges 5,0; LULUCF 5,0.

⁵ Die entsprechenden Boosterfaktoren für die einzelnen Sektoren sind: Energiewirtschaft 1,1; Industrie 1,3; Gebäude 1,5; Verkehr 1,1; Landwirtschaft 1,1; Abfallwirtschaft und Sonstiges 1,1; LULUCF 1,2.

A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen

A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung

A.3.1.1 Methodik

48 Bei der Indexdekompositionsanalyse (IDA) werden die THG-Emissionen als Funktion von zentralen, vorab definierten Komponenten ausgedrückt. IDA wird häufig verwendet, um die treibenden Kräfte hinter Veränderungen bei den Treibhausgasemissionen zu analysieren (Goh und Ang 2019). Der Beitrag der treibenden Komponenten wird dabei in der gleichen Einheit wie die THG-Emissionen ausgedrückt (Mt CO₂-Äq.), so dass es möglich ist, den Einfluss von Faktoren darzustellen, die mit unterschiedlichen Einheiten assoziiert sind (Förster et al. 2018). Für die Dekomposition gibt es verschiedene Methoden, die sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften unterscheiden (De Boer und Rodrigues 2020). In diesem Bericht wird die additive Log-Mean-Divisia-Index-Methode (LMDI I) (Ang et al. 1998) angewendet, welche aufgrund ihrer positiven Eigenschaften im Vergleich zu anderen Dekompositionsmethoden (Ang 2004) regelmäßig verwendet wird ((IEA 2020); (Förster et al. 2018); (Reuter et al. 2021);(Shammugam et al. 2022)).

49 Die allgemeine Dekompositionsidentität der THG-Emissionen THG eines Sektors in n treibende Faktoren $x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{n,j}$ ist gegeben als

$$THG = \sum_j THG_j = \sum_j x_{1,j} \cdot x_{2,j} \cdot \dots \cdot x_{n,j},$$

wobei THG_j die Treibhausgasemissionen in Unterkategorie j (z. B. verschiedene Tierarten) bezeichnet (Ang 2005). Beispiele für die Faktoren x_k sind Bevölkerungszahl oder Wirtschaftsentwicklung (BIP pro Kopf).

50 Die aggregierte Veränderung der THG-Emissionen von einem Zeitpunkt 0 zu einem Zeitpunkt T kann zerlegt werden in

$$\Delta THG = THG^T - THG^0 = \Delta THG_{x_1} + \Delta THG_{x_2} + \dots + \Delta THG_{x_n}.$$

ΔTHG_{x_k} entspricht dabei dem Beitrag zur Veränderung in den THG-Emissionen, der durch eine Veränderung im treibenden Faktor x_k zustande kommt. In der LMDI I Methode wird ΔTHG_{x_k} berechnet als

$$\Delta THG_{x_k} = \sum_j \frac{THG_j^T - THG_j^0}{\ln THG_j^T - \ln THG_j^0} \ln \left(\frac{x_{k,j}^T}{x_{k,j}^0} \right).$$

ΔTHG_{x_k} ist also proportional zur logarithmischen Veränderung des jeweiligen Faktors.

51 Als Basisjahr 0 wird in diesem Bericht das Jahr 2000 gewählt. Für jedes Folgejahr T im Zeitraum von 2001 bis 2020 wird die Dekompositionsanalyse in Bezug auf das Basisjahr durchgeführt und der Effekt der einzelnen Faktoren für das jeweilige Jahr T berechnet. Die Ergebnisse werden grafisch dargestellt. Dabei wird die Dekomposition zum einen in Form eines Liniendiagramms dargestellt, um den jährlichen Einfluss der jeweiligen Komponenten auf die THG-Entwicklung zum Basisjahr 2000 darzustellen. Zum anderen wird die Dekomposition in Form eines Wasserfalldiagramms dargestellt, um die periodenweise Veränderung gegenüber unterschiedlichen Basisjahren zu verdeutlichen. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die Dekompositionsmethode zwar nützlich für die Analyse der Triebkräfte von in der Vergangenheit beobachteten Trends ist, dass daraus jedoch keine Kausalität

abgeleitet werden kann. Darüber hinaus ist bei der Interpretation von strukturellen Veränderungen in der Dekompositionsanalyse Vorsicht geboten (Roux und Plank 2022).

A.3.1.2 Daten

- 52 Die sektorenübergreifende Dekomposition umfasst die gesamten jährlichen THG-Emissionen (ohne LULUCF) (THG_{Gesamt}). Diese werden in die Komponenten Bevölkerungszahl (Bev), Wirtschaftsentwicklung als BIP pro Kopf ($\frac{BIP}{Bev}$), Energieintensität ($\frac{EEV}{BIP}$), Umwandlungsverluste ($\frac{PEV}{EEV}$) und Emissionsintensität ($\frac{THG_{Gesamt}}{PEV}$) zerlegt (siehe Tabelle 12). Die Dekomposition ist gegeben als:

$$THG_{Gesamt} = Bev \cdot \frac{BIP}{Bev} \cdot \frac{EEV}{BIP} \cdot \frac{PEV}{EEV} \cdot \frac{THG_{Gesamt}}{PEV}.$$

Tabelle 12: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifend

Kapitel	Daten	Quelle	Details
Gesamt	CO ₂ -Emissionen gesamt (ohne LULUCF)	(UBA 2023d)	Aus den Trendtabellen
	Bevölkerung	(Destatis 2022d) (Destatis 2023e)	Genesis Datenbank, Tabelle 12111-0001 (bis 2021) und Schätzung von Destatis (für 2022)
	Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2023n)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0001
	Primärenergieverbrauch	(AGEB 2021) (AGEB 2023b)	Entnommen aus EBZ 8 der Energiebilanzen (bis 2021) und der Frühschätzung der Energiebilanz (für 2022)
	Endenergieverbrauch	(AGEB 2021) (AGEB 2023b)	Entnommen aus EBZ 45 der Energiebilanzen (bis 2021) und der Frühschätzung der Energiebilanz (für 2022)

Eigene Darstellung.

A.3.2 Kontrafaktische Szenarien

- 53 Die strukturelle Daten-Fortschreibung für das Jahr 2022 basiert auf einem ökonometrischen Ansatz in Form eines autoregressiven (AR) Modells für Zeitreihendaten. Ein AR-Modell erklärt die Entwicklung einer Variablen aus den Vergangenheitswerten derselben Variablen. Für die Fortschreibung der kontrafaktischen Entwicklung der sektorübergreifenden Emissionen im Jahr 2022 wird ein autoregressives Modell erster Ordnung, ein AR(1)-Modell, verwendet. Die Ordnung wurde basierend auf dem Akaike Informationskriterium (AIC) bestimmt. In einem AR(1)-Modell wird der Wert einer Variablen im Jahr (t) durch den Wert derselben Variablen aus dem Vorjahr (t-1) erklärt. Dieser Ansatz eignet sich besonders zur Modellierung von Prozessen, denen kapitalintensive Strukturen zugrunde liegen. Zusätzlich wurde die Veränderungsrate des Bruttoinlandsprodukts (BIP) als exogene Variable in das Modell mit aufgenommen.
- 54 Das AR(1)-Modell mit exogenen Variablen lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben:

$$y_t = \varphi y_{t-1} + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$$

wobei y_{t-1} die Werte aus dem Vorjahr, x_t die Veränderungsrate des BIPs und ε_t einen nicht-systematischen Fehlerterm darstellen. Die Parameter wurden mit der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt.

- 55 Die historischen Daten für die THG-Emissionen bis zum Jahr 2021 stammen aus dem Nationalen Inventarbericht (UBA 2023b). Die Zeitreihe des BIPs bis 2022 ist dem Statistischen Bundesamt entnommen (Destatis 2023n). Die Prognose des BIPs für das Jahr 2022 der Bundesregierung von Januar 2022, also vor Beginn des Kriegs in der Ukraine, lag bei 3,6 % (BMWK 2022)
- 56 Die Stationarität der Zeitreihe der THG-Emissionen wurde durch die Bildung der ersten Differenz sichergestellt und mit dem Augmented Dickey-Fuller (ADF)-Test (Dickey und Fuller 1979) und dem Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)-Test (Kwiatkowski et al. 1992) überprüft. Der geschätzte Koeffizient des BIP ist signifikant (5 % Niveau). Für die Fortschreibung wird angenommen, dass sich die aus den Vergangenheitsdaten ergebenden strukturellen Zusammenhänge für den Fortschreibungszeitraum nicht ändern.

A.3.3 Temperaturbereinigung

- 57 Im Gebäudesektor hat der Temperatureffekt im Vergleich zu den anderen Sektoren einen wichtigen Einfluss auf die Emissionshöhe der einzelnen Jahre. Dies ist darauf zurückzuführen, dass 93,5 % der Emissionen dieses Sektors auf die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in stationären Feuerungsanlagen in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung zurückzuführen sind. Diese stationären Feuerungsanlagen werden genutzt, um Heizwärme und Warmwasser bereit zu stellen, wobei Heizwärme hiervon den weitaus größeren Teil von ca. 80 % einnimmt. Der Heizenergieverbrauch und somit auch die Emissionen werden von der Witterung in einem gegebenen Jahr beeinflusst, die unabhängig von anderen Einflussfaktoren wie der technischen Energieeffizienz eines Gebäudes ist.
- 58 Um eine Abschätzung des Einflusses der Temperatur auf den Heizenergieverbrauch in einem bestimmten Jahr vorzunehmen, kann eine Temperaturbereinigung durchgeführt werden. Diese bereinigt den Emissionswert um den Effekt, der auf die Witterung zurückzuführen ist, indem die in einem spezifischen Jahr vorherrschende Witterung mit einem langjährigen Mittel verglichen wird. Als Kennzahl für die Witterung werden häufig über das Jahr kumulierte Gradtagzahlen genutzt. Gradtagzahlen gemäß

VDI 3807/1 sind hierbei definiert als die Temperaturdifferenz zwischen einer mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem Tagesmittelwert der Außentemperatur, sofern diese unter der Heizgrenze von 15 °C liegt und der Tag damit als ein Heiztag zu klassifizieren ist (Mellwig et al. 2022). Je kälter es in einem Jahr ist, desto höher ist die Summe der Gradtagzahlen, da die Differenz zwischen Außentemperatur und Heizgrenztemperatur dementsprechend höher ist. Der Quotient aus den kumulierten Gradtagzahlen des langjährigen Mittels und den kumulierten Gradtagzahlen für das spezifische Jahr wird Klimafaktor genannt. Dieser kann genutzt werden, um die Emissionen einer Temperaturbereinigung zu unterziehen, indem der Teil der Emissionen, der als temperaturabhängig eingestuft wird, mit diesem Klimafaktor multipliziert wird. Durch die Multiplikation der tatsächlichen Emissionen bzw. Verbräuche mit dem Klimafaktor wird implizit eine Elastizität von 1 unterstellt.

- 59 Das Verfahren unter Nutzung der Gradtagzahlen ist diversen Unsicherheiten unterworfen. Zum einen ist die Frage, welcher Anteil der Emissionen temperaturabhängig ist und für welchen Anteil somit eine Temperaturbereinigung durchgeführt werden sollte. Zum anderen ist auch die Bildung der aggregierten Gradtagzahlen bzw. Klimafaktoren zur Bereinigung des Heizenergieverbrauchs mit Unsicherheiten behaftet. Da die Gradtagzahlen auf täglichen Durchschnittstemperaturen von Messstationen in ganz Deutschland beruhen, muss zunächst eine Methode ausgewählt werden, wie diese Daten zu einem deutschlandweiten Mittel aggregiert werden. Übliche Verfahren sind zum Beispiel, die Durchschnittstemperaturen der 42 Wetterstationen des Deutschen Wetterdiensts (DWD) mit der Einwohner*innenzahl oder dem Gasabsatz zu gewichten, wobei beide Verfahren zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, die wiederum auch zu verschiedenen Ergebnissen bei den temperaturbereinigten Emissionen führen.

A.4 Prüftabellen

Tabelle 13: Definition der Prüfkriterien

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	• Zu prüfende CRF-Kategorie.
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	• Durch das UBA übermittelte Dokumente und Daten. • Vorgehen des UBA bei der Berechnung der Emissionsdaten.
Prüfmethodik des ERK	• Nachvollziehen mit Hilfe von UBA und AGEB. • Plausibilisierung des zugrundeliegenden Prozesses. • Schriftliche Klärung verbliebener Fragen.
Daten	• Zu prüfende Dokumente, Tabellen und Übermittlungen.
Plausibilisierung der Datengrundlage	• Die Ermittlung der Aktivitätsdaten unterscheidet sich nicht von der Methode zur Berechnung der Aktivitätsdaten der Emissionsdaten des Vorjahres im vergangenen Jahr. • Die Ermittlung der Aktivitätsdaten unterscheidet sich von der Methode zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres im vergangenen Jahr. Die maßgebliche Veränderung besteht in den Punkten der Datengrundlage und/oder Methode. (Verweis auf Kap. 2 ohne große Ausdifferenzierung)
Datenseitige Anpassungen an der Frühschätzung (Nachvollziehbarkeit)	• Es kam zu keiner Korrektur der Daten. • Es kam zu Korrekturen der Daten. Die nachträgliche Korrektur umfasst die zu spezifizierende Energiebilanzzeile und wirkt sich emissionsmindernd/emissionserhöhend auf die betrachteten CRF-Kategorien aus. Neben der betrachteten CRF-Kategorie wirkt sich die Korrektur auch auf eine weitere CRF-Kategorie aus. Die Korrektur wurde nicht/ unvollständig/weitestgehend vollständig/vollständig dokumentiert und ist/ist nicht nachvollziehbar.
Begründung der datenseitigen Anpassungen an der Frühschätzung (Plausibilität)	• Es wurden technisch bedingte Auffälligkeiten behoben. Diese waren plausibel/nicht plausibel. • Es wurden inhaltliche, d.h. durch Datengrundlagen bedingte, Auffälligkeiten behoben.
Plausibilität der Aufteilung der betreffenden Energiebilanzzeilen	• Die Aufteilung aller die CRF-Kategorie betreffenden Energiebilanzzeilen ist plausibel. Eine alternative Aufteilung ist nicht bekannt/eine alternative Aufteilung ist bekannt. Beschreibung der alternativen Aufteilung. • Die Aufteilung mancher die CRF-Kategorie betreffenden Energiebilanzzeilen ist plausibel. Eine alternative Aufteilung ist nicht bekannt/eine alternative Aufteilung ist bekannt. Beschreibung der alternativen Aufteilung. • Die Aufteilung keiner die CRF-Kategorie betreffenden Energiebilanzzeilen ist plausibel. Eine alternative Aufteilung ist nicht bekannt/ eine alternative Aufteilung ist bekannt. Beschreibung der alternativen Aufteilung.
Einschätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten	• Qualitative Einordnung der Unsicherheit in Aktivitätsdaten hinsichtlich der Datengrundlage, der Aufteilung der Energiebilanzzeilen und der Berechnungsmethodik des UBA.

Beschreibung	Ergebnis
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	- Die Berechnung der Emissionen auf Basis der Frühschätzung und entsprechender Emissionsfaktoren konnte vollständig nachvollzogen werden (im Sinne von nachgerechnet). - Die Berechnung der Emissionen auf Basis der Frühschätzung und entsprechender Emissionsfaktoren konnte nicht vollständig nachvollzogen werden (im Sinne von nachgerechnet).
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	- Die angewendeten Methoden sind als adäquat und sinnvoll einzuschätzen. Es wurden die richtigen Emissionsfaktoren verwendet. - Die angewendeten Methoden sind als weitestgehend adäquat und sinnvoll einzuschätzen. Es wurden die richtigen Emissionsfaktoren verwendet. - Die angewendeten Methoden sind nicht als adäquat und sinnvoll einzuschätzen. Es wurden nicht die richtigen Emissionsfaktoren verwendet.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	- Keine bekannt. - Option für bekannte Alternativen nennen.
Kritische Punkte	- Keine bekannt. - Option für kritische Punkte.
Gesamtfazit	Insgesamt kann bestätigt/ kann nicht bestätigt werden, dass richtig gerechnet wurde. Die Datengrundlage für die Aktivitätsdaten ist plausibel/ nicht plausibel. Die Aufteilung der Energiebilanzzeilen ist plausibel/nicht plausibel. Die Berechnung der Emissionen ist nachvollziehbar/nicht nachvollziehbar und plausibel/ nicht plausibel.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 1.A.1 aus der Energiewirtschaft

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	CRF-Kategorie 1.A.1
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	- Dokumentation (Langfassung (UBA 2023a), Begleitender Bericht (UBA 2023b)) + Nachvollzug ERK durch Inventarbericht (UBA 2023c). - Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023b) und Pilotstudie (UBA 2023f). - Dokumentation und Austausch zur Verwendung der EBZ 15 für Erdgas im Rahmen der Erstellung der Emissionsdaten des Vorjahres.
Prüfmethodik des ERK	- Gemeinsames Nachvollziehen mit Hilfe von UBA und AGEB. - Schriftliche Klärung weiterer verbliebener Fragen.
Daten	- Siehe Tabelle für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten. - Es wurden größtenteils die aktuellsten Daten genutzt (durch den Datenschluss am 05.02.2023 der AGEB bei der Erstellung der Frühschätzung fehlte der Monat Dezember der amtlichen Mineralölstatistik und der Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung). - Es sind keine alternativen Datenquellen bekannt, die genutzt werden könnten.
Plausibilisierung der Datengrundlage	Die Ermittlung der Aktivitätsdaten unterscheidet sich von der Methode zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres im vergangenen Jahr. Die maßgebliche Veränderung besteht in der Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz, während bisher direkt auf die Statistiken zurückgegriffen wurde

Beschreibung	Ergebnis
	(siehe ERK 2023, Kapitel 2). Es gibt jedoch keine wesentlichen Unterschiede in den zugrundeliegenden Statistiken.
Datenseitige Anpassungen an der Frühschätzung (Nachvollziehbarkeit)	Es sind keine Korrekturen bekannt.
Begründung der datenseitigen Anpassungen an der Frühschätzung (Plausibilität)	
Plausibilität der Aufteilung der betreffenden Energiebilanzzeilen	- Die Aufteilungsraten des Inventarberichts (t-2) wurden übernommen. - Bei Festlegung auf andere Aufteilungsraten hätte man zu einem anderen Ergebnis kommen können, jedoch gibt es keine anderen/besseren Vorschläge für die Aufteilungsraten.
Einschätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten	- Durch die verwendeten Datenquellen liegen hier bereits fast vollständige statistische Datenquellen zugrunde. Lediglich der fehlende Monat Dezember musste geschätzt werden, was vergleichsweise geringe Schätzfehler erwarten lässt. Dadurch ergeben sich die Unsicherheiten hauptsächlich durch die Aufteilungsraten der EBZ auf die CRF-Kategorien. - Ein Vergleich der fortgeschriebenen Daten für den Monat Dezember mit den veröffentlichten Daten der amtlichen Mineralölstatistik für diesen Monat zeigt eine hohe Genauigkeit (Abweichung in EBZ 40 von 0.26% in Summe). Für einen entsprechenden Abgleich für die Monaterhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung lagen nicht die nötigen Daten vor.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	- Die Berechnung der Emissionen auf Basis der Frühschätzung und entsprechender Emissionsfaktoren konnte nicht vollständig nachvollzogen werden. - Die Berechnung der EBZ 15 für Erdgas konnte beispielhaft mit dem UBA nachvollzogen werden.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	Die angewendeten Methoden sind weitestgehend als sinnvoll einzuschätzen. Es ist davon auszugehen, dass die richtigen Emissionsfaktoren verwendet wurden.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	Das Vorgehen wurde von einer bottom-up Schätzung umgestellt und orientiert sich nun an der Inventarberichterstattung. Somit sind andere Methoden denkbar, die vermutlich zu keinen wesentlichen Änderungen der Ergebnisse geführt hätten.
Kritische Punkte	Aufteilung der EBZ 12 auf Industrie und Energiewirtschaft.
Gesamtfazit	Die Rechnung konnte nicht vollständig nachgerechnet werden, da dem ERK keine Datengrundlage hierfür vorlag. Die Datengrundlage für die Aktivitätsdaten ist plausibel. Die Berechnung der Emissionen ist nachvollziehbar und plausibel.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.2 aus dem Industriesektor

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	• CRF-Kategorie 1.A.2
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	• Dokumentation (Langfassung (UBA 2023a), Begleitender Bericht (UBA 2023b)). • Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB 2023b) und Pilotstudie (UBA 2023f). • Dokumentation und Austausch zur Verwendung der EBZ 15 für Erdgas im Rahmen der Erstellung der Emissionsdaten des Vorjahres.
Prüfmethodik des ERK	• Gemeinsames Nachvollziehen mit Hilfe von UBA und AGEB. • Nachträgliche Prüfung der Dokumentation des UBA. • Schriftliche Klärung weiterer verbliebener Fragen.
Daten	Siehe • Tabelle 1 für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten. • Es wurden die aktuellsten Daten genutzt. • Im Industriesektor sind generell nicht alle verwendeten Datenquellen einsehbar, da sie teilweise der Geheimhaltung unterliegen. • Es sind keine alternativen Datenquellen bekannt, die genutzt werden könnten.
Plausibilisierung der Datengrundlage	• Die Aktivitätsdaten werden in diesem Jahr erstmals auf Basis der Frühschätzung der Energiebilanz ermittelt. Für den Industriesektor wurden dabei die Daten mit ökonomischen Modellen geschätzt. Somit unterscheidet sich die diesjährige Ermittlung der Aktivitätsdaten zu den Vorjahren. Um eine Untererfassung von Sekundärbrennstoffen zu vermeiden, wurden zudem fortgeschriebene Werte der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes und Verbandsdaten für die Papier-, Zement- und Kalkindustrie verwendet.
Datenseitige Anpassungen an der Frühschätzung (Nachvollziehbarkeit)	• Es sind keine Korrekturen bekannt.
Begründung der datenseitigen Anpassungen an der Frühschätzung (Plausibilität)	
Plausibilität der Aufteilung der betreffenden Energiebilanzzeilen	• Bei EBZ 12 werden Teile der Energiewirtschaft (CRF 1.A.1) und Teile der Industrie (CRF 1.A.2) zugeordnet. • Die Aufteilungsrate auf Energiewirtschaft (1.A.1) und Industrie (1.A.2) wird aus dem Nationalen Inventarbericht (t-2) übernommen. • Bei Festlegung auf andere Aufteilungsraten hätte man zu einem anderen Ergebnis kommen können, jedoch gibt es keine anderen/besseren Vorschläge für die Aufteilungsraten.
Einschätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten	• Es gibt zwei Quellen für Unsicherheiten hinsichtlich der Aktivitätsdaten in der CRF-Kategorie 1.A.2. Die erste Quelle der Unsicherheit besteht hinsichtlich der Frühschätzung der Energiebilanz und die zweite Quelle besteht hinsichtlich der Aufteilung der EBZ 12. • Die Frühschätzung der Energiebilanz wird für die Energiebilanzzeilen der Industrie über das Energiebilanzprognosemodell und Indikatorenansätze, also über ökonomische Modelle, vorgenommen. Diese ökonomischen Modelle werden auf der Datengrundlage der vorherigen Jahre geschätzt. Das Jahr 2022 war von besonderen Ereignissen geprägt, wie beispielsweise hohen

Beschreibung	Ergebnis
	Energiepreisen. Solche Ereignisse sind bisher nicht in der Datengrundlage, die zur Schätzung der Modelle verwendet wurde, vorgekommen. Deswegen ist die Extrapolation mittels der ökonometrischen Modelle auf das Jahr 2022 mit hohen Energiepreisen mit Unsicherheiten verbunden. Zudem sind die Preiselastizitäten, welche über das 2-stufige Modellverfahren für die Industrie verwendet werden, im vom Krieg in der Ukraine geprägtem Jahr 2022 möglicherweise nicht mit denen aus dem Stützzeitraum vergleichbar. Dies kann zu Prognoseungenauigkeiten führen. Bei der Aufteilung der EBZ 12 über die Aufteilungsdaten aus dem Inventarbericht (t-2) ist festzuhalten, dass auch hier Besonderheiten des Jahres 2022 nicht oder nur unvollständig abgebildet sein könnten.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	Die Berechnung der Emissionen auf Basis der Frühschätzung und entsprechender Emissionsfaktoren konnte nicht vollständig nachvollzogen werden. Exemplarisch wurde die Rechnung für eine nicht den Industriesektor betreffende EBZ (EBZ 15) nachvollzogen.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	- Die Datengrundlage und das Vorgehen des UBAs zur Berechnung der Emissionsdaten der CRF-Kategorie 1.A.2 wird aufgrund der an die Inventare angelehnten Berechnungsmethodik grundsätzlich als adäquat und sinnvoll eingestuft. - Es ist davon auszugehen, dass die richtigen Emissionsfaktoren verwendet wurden.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	Die alternative Methode der Berechnung der Emissionsdaten der Vorjahre basierend auf statistischen Daten und Expert*innenschätzungen kann zu anderen Ergebnissen führen.
Kritische Punkte	Aufteilung der EBZ 12 auf Industrie und Energiewirtschaft.
Gesamtfazit	- Die Datengrundlage und das Vorgehen des UBAs hinsichtlich der an die Inventare angelehnten Berechnung der THG-Emissionen wird für die CRF-Kategorie 1.A.2 grundsätzlich als plausibel eingestuft. Die Berechnung für die CRF-Kategorie 1.A.2 konnte im Rahmen dieser Prüfung jedoch nicht nachvollzogen werden. - Sowohl bei der Datengrundlage als auch bei der Aufteilung der Energiebilanzzeilen treten Unsicherheiten auf.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 1.A.4 a/b aus dem Gebäudesektor

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	Stationärer Energieeinsatz – Haushalte und Kleinverbraucher (Gewerbe, Handel, Dienstleistung), CRF-Kategorien 1.A.4 a/b i, nur CO₂ Emissionen (97 % aller CO₂-Äq.-Emissionen im Sektor Gebäude).
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	Dokumentation (Langfassung, Begleitender Bericht) + Nachvollzug ERK.
Prüfmethodik des ERK	Durchsicht der Methode, gemeinsames Nachvollziehen mit UBA und AGEb.
Daten	- Frühenergiebilanz AGEb und Pilotstudie. - Amtliche Mineralöldata.

Beschreibung	Ergebnis
Plausibilisierung der Datengrundlage	Die Ermittlung der Aktivitätsdaten unterscheidet sich von der Methode zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres im vergangenen Jahr. Die Aktivitätsdaten werden in diesem Jahr erstmals auf Basis der Frühschätzung der Energiebilanz ermittelt. Diese basiert für Haushalte auf einem Teilmodell des Energiebilanzprognosemodells. Mit der Berechnung auf Grundlage der alten Methode ergeben sich ca. 3 Mt niedrigere CO₂ Emissionen als mit der neuen Methode. Eine Aussage darüber, welche der Methoden besser ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht getroffen werden.
Datenseitige Anpassungen an der Frühschätzung (Nachvollziehbarkeit)	Es kam zu keiner Korrektur der Daten.
Begründung der datenseitigen Anpassungen an der Frühschätzung (Plausibilität)	
Plausibilität der Aufteilung der betreffenden Energiebilanzzeilen	- Die Aufteilungsrate der EBZ 67 auf die Sektoren Gebäude (1.A.4 a) und Landwirtschaft wird aus dem Nationalen Inventarbericht (t-2) übernommen. - Bei Festlegung auf andere Aufteilungsraten hätte man zu einem anderen Ergebnis kommen können, jedoch gibt es keine anderen/besseren Vorschläge für die Aufteilungsraten.
Einschätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten	Die geschätzten Aktivitätsdaten im Gebäudesektor unterliegen einer hohen Unsicherheit. Grund dafür ist hauptsächlich die mangelnde Datenverfügbarkeit. So werden bspw. Energieverbräuche privater Haushalte modellbasiert u. a. auf Basis von beheizten Wohnflächen und Modernisierungsquoten geschätzt. Die Energieverbräuche werden anschließend mit ökonomisch ermittelten Absätzen an leichtem Heizöl (auf Grundlage von Monatsdaten zu Füllständen privater Heizöltanks sowie Energiepreisentwicklungen und Witterung) verrechnet.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	- Die Berechnung der Emissionen auf Basis der geschätzten Aktivitätsdaten in der Frühschätzung der Energiebilanz und entsprechender Emissionsfaktoren kann vollständig nachvollzogen werden. - Das Vorgehen zur Berechnung der Emissionen erfolgt äquivalent zur Inventarberichtserstattung und wird daher als angemessen eingeschätzt.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	Die angewendeten Methoden sind weitestgehend als nachvollziehbar und sinnvoll einzuschätzen.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	Alternativ kann die vorherige Methode zur Bestimmung der Aktivitätsdaten genutzt werden, welche für die BEV 2021 letztmalig angewendet wurde. Bei Berechnung der Emissionen nach diesem Vorgängerverfahren resultieren leicht unterschiedliche Ergebnisse. Auf Basis der zum Zeitpunkt der Emissionsberechnung vorliegenden Daten ist die Aufteilung der Brennstoffabsätze zwischen Industrie- und Gebäudesektor nicht bekannt. Bis zum letzten Jahr wurden deswegen die Anteile aus dem Jahr t-2 übernommen. Mit der neuen Methodik werden die Absätze an Industrie und Haushalte modellbasiert berechnet. So werden an den Gebäudesektor mit der modellbasierten Methode 65,3 % an Gas abgesetzt, mit der alten Methode wären es 63,5 %. Wie bereits bei Plausibilisierung der Datengrundlage erwähnt, ergeben sich dadurch mit der alten Methode 3 Mt niedrigere CO₂ Emissionen auf Basis des Gasabsatzes. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die ebenfalls im Rahmen des bisherigen Verfahrens durchgeführte Einordnung und Anpassung der Berechnungsergebnisse durch das Umweltbundesamt auf Basis von Expert*innenwissen dabei nicht berücksichtigt ist.

Beschreibung	Ergebnis
Kritische Punkte	• Aufgrund der eingeschränkten Datenverfügbarkeit im Gebäudesektor bestehen grundsätzlich hohe Unsicherheiten in den geschätzten Aktivitätsdaten. Darüber hinaus fallen für das Jahr 2022 neben dem bereits genannten Punkt der Aufteilung der Brennstoffabsätze insbesondere zwei weitere kritische Punkte bei der Schätzung der Emissionswerte auf (siehe ERK 2023, Kapitel 4.4): 1. Im Rahmen der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz erfolgte keine direkte Berücksichtigung der Einsparappelle (insbesondere Absenkung der Raumtemperatur) im Erklärungsansatz des verwendeten Modells. Seitens der AGEB wurde jedoch darauf hingewiesen, dass die im Modell enthaltenen Preiseffekte vermutlich auch dazu geführt haben dürften, dass Teilflächen in gasbeheizten Wohnungen in eingeschränkterer Weise beheizt wurden. Studien gehen von temperaturbereinigten Einsparungen im Gasverbrauch durch angepasstes Heizverhalten privater Haushalte und GHD von 5,6 bis 8,1 Mt CO₂-Äq. aus (siehe ERK 2023, Kapitel 6.1.3). Möglicherweise wurden diese Einspareffekte bei privaten Haushalten in der Schätzung der AGEB daher unterschätzt, sodass der tatsächliche Erdgasverbrauch eventuell niedriger ausfiel als in der Frühschätzung der Energiebilanz ausgewiesen. In diesem Fall läge eine Überschätzung der Emissionshöhe vor. 2. Veränderungen in den Lagerbeständen von leichtem Heizöl wirken sich stark auf die Emissionen im Gebäudesektor aus. Der durch das Energiebilanzprognosemodell ermittelte Verbrauchswert wird mit prognostizierten Lagerbestandsbewegungen verrechnet, um Absatzmengen von Heizöl zu bestimmen. Für das Jahr 2022 ist jedoch unklar, ob ein Auf- oder ein Abbau der Lagerbestände erfolgte. Aufgrund der Energiekrise bzw. der damit verbundenen Unsicherheit über Energieträgerverfügbarkeit und -preisentwicklung bestehen Hinweise, dass trotz gestiegener Heizölpreise und milder Temperaturen Vorratskäufe bei leichtem Heizöl getätigt wurden. Nach Aussage der AGEB wurde dieser Umstand bei der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz jedoch nicht berücksichtigt. Die Schätzung des Heizölabsatzes basiert auf einer Regressionsgleichung, die auf Monatsdaten der Füllstände privater Heizöltanks der Jahre 2004–2015 sowie der Energiepreisentwicklung und Witterung beruht. Dabei resultierte laut AGEB ein durch das Modell geschätzter Rückgang des Tankfüllstandes von rund 80 % (Dezember 2021) auf 72 % (Dezember 2022). Dies entspricht einer Menge von 117 PJ bzw. Treibhausgasemissionen von rund 8,7 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022. Wenn in der Realität nun, wie beschrieben, gar kein Abbau, sondern ein Aufbau des Lagerbestands erfolgte, deutet dies auf eine Unterschätzung der Treibhausgasemissionen um mindestens 8,7 Mt CO₂-Äq. (plus den unbekannten Wert des Lagerbestandsaufbaus) nach Absatzprinzip hin.
Gesamtfazit	• Insgesamt kann bestätigt werden, dass richtig gerechnet wurde. Die Datengrundlage für die Aktivitätsdaten erscheint (unter Berücksichtigung der eingeschränkten Datenlage im Gebäudesektor) plausibel. Bei Betrachtung der genannten kritischen Aspekte und der damit verbundenen möglichen Über- bzw. Unterschätzungen der Aktivitätsdaten kann jedoch keine eindeutige Aussage bzgl. der Plausibilität der Emissionswerte getroffen werden.

A.5 Literaturverzeichnis

AGEB (2023a): Blocker: Energiebilanz der Bundesrepublik 2021. Stand 31.01.2023. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023b): Frühschätzung der Energiebilanz der Bundesrepublik 2022 (unveröffentlicht). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023c): Internsetseite. Daten und Fakten. Primärenergieverbrauch. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/primaerenergieverbrauch/> (03.04.2023).

AGEB (2022): Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von natürlichen Einheiten in Energieeinheiten zur Energiebilanz 2020.: Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/04/Heizwerte2005bis2020.pdf> (23.03.2023).

AGEB (2021): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. Daten für die Jahre von 1990 bis 2021. Hg. v. AG Energiebilanzen e.V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/09/awt_2021_d.pdf (27.10.2022).

Ang, B. W. (2005): The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. Energy Policy 33 (7), S. 867-871.

Ang, B. W. (2004): Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? Energy Policy 32 (9), S. 1131-1139.

Ang, B. W., Zhang, F. Q., Choib, K.-H. (1998): Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. Energy 23 (6), S. 489-495.

BAFA (2023): Information. Mineralöl-INFO Dezember 2022 (Mineralölabsatz). Hg. v. Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Online verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Mineraloel/2022_12_mineraloelinfo.html (23.03.2023).

BASt (2022): Internetseite. Verkehrsbarometer. Monatliche Entwicklung des Straßenverkehrs auf Bundesfernstraßen und Auswirkungen der Corona-Pandemie. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Online verfügbar unter: <https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer.html> (03.04.2023).

BKG Digitales Basis-Landschaftsmodell (Ebenen) (Basis-DLM). Hg. v. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). Online verfügbar unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-basis-landschaftsmodell-ebenen-basis-dlm-ebenen.html>.

BMWK (2022): Jahreswirtschaftsbericht 2022. Für eine Sozial-ökologische Marktwirtschaft – Transformation innovativ gestalten. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/jahreswirtschaftsbericht-2022.html> (16.03.2023).

Böttcher, C. (2022): Aktualisierung der Emissionsfaktoren für Methan für die Erdgasbereitstellung. Gegenüberstellung der bisherigen Methoden unter der Treibhausgasberichterstattung mit neuen Erkenntnissen aus Emissionsmessungen in Deutschland. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_159-2022_aktualisierung_der_emissionsfaktoren_fuer_methan_fuer_die_erdgasbereitstellung.pdf (23.03.2023).

De Boer, P., Rodrigues, J. F. D. (2020): Decomposition analysis - when to use which method? Economic Systems Research 31 (1), S. 1-28.

Deichnik, K. (2019): Aktualisierung und Revision des Modells zur Berechnung der spezifischen Verbräuche und Emissionen des von Deutschland ausgehenden Seeverkehrs. Hg. v. Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie.

Destatis (2023a): 42131-0002: Produktionswert und Unternehmen der Vierteljährlichen. Produktionserhebung: Deutschland, Quartale, Güterverzeichnis (2-/4-Steller). Vierteljährliche Produktionserhebung i.Verarb.Gew.: Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=42131-0002&bypass=true&levelindex=0&levelid=1679750907692#abreadcrumb> (23.03.2023).

Destatis (2023b): Internetseite. Fachserie 8 - Verkehr. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-8.html#641082 (04.04.2023).

Destatis (2023c): Internetseite. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Feldfrüchte und Grünland. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/inhalt.html#tzleeajy4> (23.03.2023).

Destatis (2023d): Internetseite. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Tiere und tierische Erzeugung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/inhalt.html#jfk1tbtt> (23.03.2023).

Destatis (2023e): Pressemitteilung. Bevölkerung im Jahr 2022 auf 84,3 Millionen gewachsen. Nettozuwanderung auf Rekordniveau sorgt für Höchststand der Bevölkerungszahl. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/01/PD23_026_124.html (30.03.2023).

Destatis (2023f): Statistiken. 32111. Erhebung der Abfallentsorgung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=32111*#abreadcrumb (25.03.2023).

Destatis (2023g): Statistiken. 42131. Vierteljährliche Produktionserhebung i.Verarb.Gew. (GP 2019). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&code=42131&levelindex=0&levelid=1680160252365#abreadcrumb> (30.03.2023) - URL eventuell löschen.

Destatis (2023h): Statistiken. 43321. Monatserhebung über die Gasversorgung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=0&step=0&titel=Statistik+%28Tabellen%29&levelid=1679953554576&acceptcookies=false#abreadcrumb> (27.03.2023).

Destatis (2023i): Statistiken. 43351. Erhebung über Elektrizitäts- und Wärmeenergieerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&code=43351&levelindex=0&levelid=1680680659964#abreadcrumb> (05.04.2023).

Destatis (2023j): Statistiken. 43351. Erhebung über Elektrizitäts- und Wärmeenergieerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1575886925403&code=43351#abreadcrumb> (27.03.2023).

Destatis (2023k): Statistiken. 51000. Außenhandel. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=51000&option=table&info=off#abreadcrumb> (05.04.2023).

Destatis (2023l): Tabelle. 41254-0001: Erzeugter Wein: Deutschland, Jahre, Rebsorte, Weinkategorien. Erhebung der Weinerzeugung Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=41254-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1679505502178#abreadcrumb> (23.03.2023).

Destatis (2023m): Tabelle. 43311-0002: Elektrizitätserzeugung, Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz: Deutschland, Monate, Energieträger. Monatserhebung ü. Elektrizitäts- u. Wärmeezeugung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=43311-0002#astucture> (23.03.2023).

Destatis (2023n): Tabelle. 81000-0001. VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=81000-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1680177981540#abreadcrumb> (04.04.2023).

Destatis (2023o): Tabelle. Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz, -bezug, -bestand der Heizwerke: Deutschland, Jahre, Energieträger. Erhebung über Erzeugung und Verwendung von Wärme. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=43411-0001#abreadcrumb> (27.03.2023).

Destatis (2022a): Daten. Sondererhebung: Proteineinsatz in der Schweinemast im Zeitraum 1. November 2020 bis 31. Oktober 2021. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen->

[Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Tabellen/sonderauswertung-schweinemast.html](#) (23.03.2023).

Destatis (2022b): Fachserie 3 Reihe 3.3.1. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung - Holzeinschlagsstatistik -. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/Publikationen/Downloads-Wald-und-Holz/holzeinschlag-2030331217004.pdf?__blob=publicationFile (23.03.2023).

Destatis (2022c): Statistik. 42321. Düngemittelstatistik. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=42321#abreadcrumb> (23.03.2023).

Destatis (2022d): Tabelle. 12111-0001. Bevölkerung (Zensus): Deutschland, Stichtag, Nationalität, Geschlecht. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=12111-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1666791425471#abreadcrumb> (28.10.2022).

Destatis (2019): Fachserie 19 Reihe 1 – Umwelt. Abfallentsorgung. 2017. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100177004.pdf?__blob=publicationFile.

Destatis (2018a): Fachserie 19 Reihe 2.1.2 – Abwasserbehandlung und -entsorgung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/abwasser-oeffentlich-2190212169004.pdf;jsessionid=184FF51B2E394DC1E0C3E7C5B820E42C.live741?__blob=publicationFile.

Destatis (2018b): Fachserie 19 Reihe 2.1.3 – Strukturdaten zur Wasserwirtschaft. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/wasserwirtschaft-2190213169004.pdf;jsessionid=184FF51B2E394DC1E0C3E7C5B820E42C.live741?__blob=publicationFile.

Dickey, D. A., Fuller, W. A. (1979): Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. Journal of the American Statistical Association 74 (366a), S. 427-431.

ERK (2023): Prüfbericht zur Emissionsberechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022 Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

ERK (2022a): Prüfbericht zur Emissionsberechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 - Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/05/ERK2022_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2021.pdf (19.08.2022).

ERK (2022b): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/05/ERK2022_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2021_Technisches-Begleitdokument.pdf (01.11.2022).

Fezzigna, P., Borghesi, S., Caro, D. (2019): Revising Emission Responsibilities through Consumption-Based Accounting: A European and Post-Brexit Perspective. Sustainability 11 (2), S. 488.

Förster, H., Emele, L., Graichen, J., Loreck, C., Fehrenbach, H., Abdalla, N., Knörr, W. (2018): Komponentenzerlegung energiebedingter Treibhausgasemissionen mit Fokus auf dem Ausbau erneuerbarer Energien. Teilbericht 3: Dekomposition der energiebedingten THG-Emissionen Deutschlands. Dessau-Roßlau: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/komponentenzerlegung-energiebedingter> (08.04.2022).

Goh, T., Ang, B. W. (2019): Tracking economy-wide energy efficiency using LMDI: approach and practices. Energy Efficiency 12, S. 829–847.

IEA (2020): World Energy Outlook 2020. Hg. v. Internationale Energieagentur (IEA) Online verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

IPCC (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Schweiz: Hg. v. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G.

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hg. v. Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe. Veröffentlicht vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

Karstensen, J., Peters, G. P., Andrew, R. M. (2018): Trends of the EU's territorial and consumption-based emissions from 1990 to 2016. Climatic Change 151 (2), S. 131-142.

KBA (2023): Daten. Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb im Februar 2023 (FZ 28). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Nachrichten/2023/Statistik/fz_28_02_2023.html (27.03.2023).

Kohlenstatistik e.V. (2022): Statistik der Kohlewirtschaft. Braunkohle. Hg. v. Kohlenstatistik. Online verfügbar unter: <https://kohlenstatistik.de/downloads/braunkohle/> (08.04.2022).

KSG (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513).

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., Shin, Y. (1992): Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. Journal of Econometrics 54 (1-3), S. 159-178.

Mathivanan, G. P., Eysholdt, M., Zinnbauer, M., Rösemann, C., Fuß, R. (2021): New N2O emission factors for crop residues and fertiliser inputs to agricultural soils in Germany. Agriculture, Ecosystems & Environment 322, S. 107640.

Mellwig, P., Blauert, M., Kohen, J., Pehnt, M., Schütze, F., Stede, J. (2022): Klimaschutz im Gebäudebereich: Erklärungen für stagnierende CO₂-Emissionen trotz erfolgreicher Sanierungsmaßnahmen. Kurzstudie im Auftrag von Agora Energiewende. Ifeu, Technopolis, DIW Berlin. Im Erscheinen.: Kurzstudie im Auftrag von Agora Energiewende. Ifeu, Technopolis, DIW Berlin. Im Erscheinen.

OpenStreetMap contributors OpenStreetMap. Online verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.de/>.

Rentz, O., Karl, U., Peter, H. (2002): Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010.

Reuter, M., Narula, K., Patel, M. K., Eichhammer, W. (2021): Linking energy efficiency indicators with policy evaluation – A combined top-down and bottom-up analysis of space heating consumption in residential buildings. Energy and Buildings 244.

Roßkopf, N., Fell, H., Zeitz, J. (2015): Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. CATENA 133, S. 157-170.

Roux, N., Plank, B. (2022): The misinterpretation of structure effects of the LMDI and an alternative index decomposition. MethodsX 9.

Shammugam, S., Schleich, J., Schlomann, B., Montrone, L. (2022): Did Germany reach its 2020 climate targets thanks to the COVID-19 pandemic? Climate Policy. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2063247>

Statistik der Kohlewirtschaft e.V. (2023): Daten. Braunkohle. Hg. v. Statistik der Kohlewirtschaft e.V. Online verfügbar unter: <https://kohlenstatistik.de/downloads/braunkohle/> (03.04.2023).

UBA (2023a): Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Klimaschutzgesetz, allgemeiner Methodenband. Unveröffentlicht.: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2023b): Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2022 gemäß Bundesklimaschutzgesetz. Begleitender Bericht.: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2023c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2023. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2021. Unveröffentlicht. . Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2023d): Internetseite. Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990 - 2022. Stand: 15.03.2023.: Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (23.03.2023).

UBA (2023e): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. Gekürzte Version zur EU-Submission. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envy8fz9q/DE_EU-NIR_2023_DE.pdf (16.03.2023).

UBA (2023f): Pilotprojekt zur Frühschätzung der Energiebilanz 2020 und Vergleich zu späteren definierten Datenständen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_18-2023_pilotprojekt_zur_fruehschaetzung_der_energiebilanz_2020.pdf (03.02.2023).

UNFCCC (2014): Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session. FCCC/CP/2013/10/Add.3.

VCI (2022): Pressemitteilung. Bericht des VCI. Chemie-Kennzahlen 2022. Indikatoren der deutschen chemisch-pharmazeutischen Industrie. Hg. v. Verband der Chemischen Industrie (VCI). Online verfügbar unter: <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/20221202-kennzahlen-jahres-pk-2022.pdf> (23.03.2023).

Vos, C., Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., Fuß, R. (2022): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2020: Report on methods and data (RMD) Submission 2022. Online verfügbar unter: https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_91.pdf.

Wirtschaftsvereinigung Stahl (2022): Rohstahlproduktion in Deutschland – Jahresbilanz 2021. Online verfügbar unter: <https://www.stahl-online.de/medieninformationen/rohstahlproduktion-in-deutschland-jahresbilanz-2021/> (08.04.2022).

WV Stahl (2023): Pressemitteilung. Rohstahlproduktion in Deutschland im Jahr 2022. Hg. v. Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl). Online verfügbar unter: <https://www.stahl-online.de/medieninformationen/rohstahlproduktion-in-deutschland-im-jahr-2022/> (30.03.2023).

