

Unterrichtung

durch den Expertenrat für Klimafragen

**Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen
für das Jahr 2021 – Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten**



Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021

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





13. April 2022

Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021

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

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

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 des ERK.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär)

Iska Brunzema

Dr. Christopher Hedemann

Dr. Katrin Kohnert

Nicole Niesler

Simon Schnier

Charlotte Senkpiel

Dr. Jan Stede

Dr. Annette Steingrube

Marie-Louise Zeller

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	11
Zusammenfassung und Kernaussagen	13
1 Auftrag und Herangehensweise.....	19
Teil I: Prüfung und Bewertung der Berechnung der Vorjahresemissionen	23
2 Die Nationale Berichterstattung der Treibhausgasemissionen.....	23
2.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung.....	23
2.2 Daten und Methoden zur Berechnung der Vorjahresemissionen.....	24
2.3 Fazit zur Emissionsberichterstattung	35
3 Prüfung.....	37
3.1 Vorgehensweise bei der Prüfung der Berechnung der Vorjahresemissionen.....	37
3.2 Stichprobenhafte Prüfung einzelner CRF-Kategorien	38
3.2.1 Prüfungen im Industriesektor (CRF-Kategorien 1.A.2).....	38
3.2.2 Prüfungen im Gebäudesektor (CRF-Kategorien 1.A.4.a.i und 1.A.4.b.i).....	38
3.2.3 Prüfungen im Verkehrssektor (CRF-Kategorien 1.A.3.b)	39
3.2.4 Prüfungen im Landwirtschaftssektor (CRF Kategorien 3.A, 3.B, 3.D)	39
3.3 Prüfung der iterativen Fehlerkorrektur impliziter brennstoffbezogener Emissionsfaktoren	40
3.4 Fazit zur Prüfung	41
4 Gütebetrachtung.....	43
4.1 Allgemeine Überlegungen.....	43
4.2 Korrekturbedarfe	43
4.2.1 Zielsetzung und Betrachtung historischer Korrekturbedarfe	43
4.2.2 Korrekturbedarf für das Emissionsjahr 2020	45
4.3 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Emissionsberechnung 2021	47
4.4 Einordnung und Vergleich von Unsicherheiten und Korrekturbedarfen	49
4.5 Fazit zur Güte	53
5 Feststellung zur Berechnung der Vorjahresemissionen.....	55
5.1 Feststellungen zur Zielerreichung.....	55
5.2 Aktualisierung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen aufgrund des Ausgleichsmechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes (§ 4 Abs. 3 KSG).....	60
5.3 Fazit zur Feststellung.....	62
Teil II: Weiterführende Betrachtungen	65

6	Entwicklung der Treibhausgasemissionen.....	65
6.1	Sektorenübergreifende Dekompositionsanalyse der Entwicklung der Treibhausgasemissionen	65
6.2	Sektorale Betrachtungen für das Emissionsjahr 2021	67
6.2.1	Gebäude.....	67
6.2.2	Verkehr	69
6.2.3	Industrie	71
7	Ansätze zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes	72
7.1	Bedarf für eine Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes	73
7.2	Die Bedeutung und Rolle von Sektoren.....	75
7.3	Optionen zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	78
7.3.1	Weiterentwicklung der Nachsteuerung auf Basis vergangener Zielverfehlungen (ex-post Betrachtung).....	80
7.3.2	Weiterentwicklung der Nachsteuerung auf Basis möglicher künftiger Zielverfehlungen (ex-ante Betrachtung)	82
7.3.3	Weiterentwicklung des Monitorings und weitere Klärungsbedarfe	84
7.4	Fazit zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	85
8	Literaturverzeichnis.....	87

Abbildungen

Abbildung Z-1: Zielwertvergleich Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes	15
Abbildung Z-2: Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr	16
Abbildung 1: Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz.....	20
Abbildung 2: Nomenklatur der CRF-Kategorien nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	24
Abbildung 3: Relative Korrekturbedarfe (der Beträge) der Emissionsdaten gegenüber der jeweils vorgegangenen Emissionsschätzung der Emissionsjahre 2010–2020.....	45
Abbildung 4: Absolute und relative Korrektur der Emissionsdaten zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen (t+1) und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+2) für das Emissionsjahr 2020	47
Abbildung 5: Vergleich zwischen den historischen Korrekturbedarfen und den durch das Umweltbundesamt übermittelten Unsicherheiten	51
Abbildung 6: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes	64
Abbildung 7 Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr	66
Abbildung 8: Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt - Änderungen im Vergleich zu 1990.....	67
Abbildung 9: Abdeckung der Treibhausgasemissionen der Emissionsberechnung 2021 durch den europäischen Emissionshandel (EU-ETS) und dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)	75
Abbildung 10: Berichtspflichten der Bundesregierung auf nationaler und europäischer Ebene.....	83

Tabellen

Tabelle 1: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Energiewirtschaftssektor	26
Tabelle 2: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Industriesektor	27
Tabelle 3: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Gebäudesektor	29
Tabelle 4: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Verkehrssektor	30
Tabelle 5: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Landwirtschaftssektor	32
Tabelle 6: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges	33
Tabelle 7: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Sektor LULUCF	34
Tabelle 8 : Unsicherheit der sektoralen und aggregierten Emissionsschätzungen nach Angaben des Umweltbundesamtes	48
Tabelle 9: Unsicherheitsangabe des Umweltbundesamtes im Vergleich zu durchschnittlichen jährlichen Minderungszielen gemäß der zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes	52
Tabelle 10: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Vorjahresemissionen (BVE) des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)	56
Tabelle 11: Angepasste sektorspezifische Jahresemissionsmengen für die Jahre 2022–2030 (in kt CO ₂ -Äq.)	61
Tabelle 12: Jährliche Anpassung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen im Verhältnis zur sektorspezifischen Jahresemissionsmenge in 2030	62
Tabelle 13: Systematisierung von grundlegenden klimapolitischen Instrumenten (generisch)	78
Tabelle 14: Systematisierung von Optionen zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Sektoren bzw. Sektoranteilen, die nicht durch ein Handelssystem mit fixer Mengengrenzung abgedeckt sind	80

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEHG	Bundesemissionshandelsgesetz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (ehem. BMU)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (ehem. BMWi)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BVE	Berechnung der Vorjahresemissionen
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
CRF	Common Reporting Format der Europäischen Klimaberichtserstattung
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
ERK	Expertenrat für Klimafragen
ESR	Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation)
EU-ETS	Europäisches-Emissionshandelssystem (EU Emissions Trading System)
F-Gase	fluorierte Treibhausgase
FKWs	Fluorkohlenwasserstoffe
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
IPCC	Weltklimarat oder Intergovernmental Panel on Climate Change
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
N ₂ O	Lachgas
NF ₃	Stickstofffluorid
PEV	Primärenergieverbrauch
PFCs	Perfluorcarbone
SF ₆	Schwefelhexafluorid
THG	Treibhausgas
TI	Treibhausgasinventar
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
VCI	Verband der Chemischen Industrie e. V.
VDKI	Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V.
ZSE	Zentrales System Emissionen

Kurzzusammenfassung

In diesem gemäß § 12 Bundes-Klimaschutzgesetz erstellten Bericht prüft und bewertet der Expertenrat für Klimafragen (ERK) die am 15. März 2022 vom Umweltbundesamt nach sieben Sektoren gegliederte Berechnung der Vorjahres-Treibhausgasemissionen von Deutschland. Kernstück des Berichts ist die Prüfung der komplexen Methodik der Berechnung der Vorjahresemissionen. Der Expertenrat hat sowohl umfassend als auch stichprobenartig die Zahlen nachvollzogen und findet keinen Anhaltspunkt dafür, dass das Umweltbundesamt bei den Punktwertschätzungen zu anderen Ergebnissen hätte kommen müssen. Die berichteten Emissionswerte lagen 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.

Im Jahr 2021 haben die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) gegenüber dem Jahr 2020 um rund 4,5 % – von 729 auf 762 Mt CO₂-Äq. – zugenommen, nachdem im Jahr 2020 ein Rückgang gegenüber dem Jahr 2019 um knapp 9 % zu verzeichnen war. Dieser Anstieg im Vergleich zum Vorjahr stellt damit die größte prozentuale Zunahme der Treibhausgasemissionen seit 1990 dar. Dazu hat neben dem wieder gewachsenen Bruttoinlandsprodukt auch der erstmals seit dem Jahr 2013 wieder beobachtete Anstieg der Emissionsintensität, d. h. die auf das Bruttoinlandsprodukt bezogenen Treibhausgasemissionen, beigetragen. Mit Blick auf die Erreichung der mittel- bis langfristigen Treibhausgasminderungsziele ist daher zu prüfen, inwieweit sich diese Zunahme der Emissionsintensität, die über den gesamten Zeitraum seit 1990 einen substantziellen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen leistete, als kritisch erweisen könnte.

Die Betrachtung von Sondereffekten im Jahr 2021 (wie Preis- und Witterungseffekten, Lagereffekten von Heizöl oder den Auswirkungen der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie) zeigt, dass die Werte der Vorjahresemissionen immer nur eine Momentaufnahme darstellen. Im Gebäudesektor spielen Lagerhaltungs- und Witterungseffekte, die von Jahr zu Jahr großen Schwankungen unterliegen, eine große Rolle. Dies erschwert die Interpretation des Punktwertes der Berechnung der Vorjahresemissionen. Im Verkehrssektor wäre die Zielüberschreitung ohne die Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie wahrscheinlich noch höher ausgefallen. Im Industriesektor, der sein Ziel nur knapp erreicht hat, ist der Einfluss der Sondereffekte weniger eindeutig.

Anknüpfend an die Prüfberichte dieses und des vergangenen Jahres, sowie den Bericht zum Sofortprogramm für den Gebäudesektor im vergangenen Jahr sieht der Expertenrat eine Reihe von Handlungsfeldern zur Weiterentwicklung des Klimaschutzgesetzes. Diese beziehen sich beispielsweise auf die Interaktion mit der europäischen Ebene und den übergeordneten Instrumenten des europäischen und des nationalen Emissionshandels, die Aufteilung der Sektoren, sowie auf den Mechanismus der Auslösung und der Nachsteuerung über Sofortprogramme. Es werden eine Reihe von Gestaltungsoptionen aufgezeigt, wie auf Basis der beobachteten Daten der Mechanismus verbessert werden kann, beispielsweise über die Betrachtung längerer Zeiträume oder eine automatisierte Nachsteuerung über eine Preisanhebung im nationalen Emissionshandel. Zudem fehlt im Klimaschutzgesetz bisher eine vorausschauende Steuerung bei antizipierter Zielverfehlung. Auch hierzu werden Optionen für eine Erweiterung vorgelegt. Zudem wird die zusätzliche Betrachtung von weiteren Schlüsselindikatoren angeregt, um ein besseres Gesamtbild hinsichtlich der Entwicklung des Emissionsgeschehens zu erhalten. Im Kontext dieser Weiterentwicklung könnte zugleich eine Reihe technischer Verbesserungen erfolgen.

Zusammenfassung und Kernaussagen

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG, letzte Novelle am 18. August 2021) hat Deutschland seine Klimaziele auf sieben Sektoren heruntergebrochen, von denen fünf mit verbindlichen jährlichen Sektorzielen bis einschließlich des Jahres 2030 für die Absenkung der Treibhausgasemissionen versehen sind (zusätzlich Energiewirtschaft: 2022, 2030; LULUCF: 2030), sowie einen gesetzlichen Rahmen festgelegt, der das Erreichen dieser Ziele sicherstellen soll. Dafür ist im Gesetz ein Mechanismus mit einer genauen zeitlichen Abfolge definiert: Jeweils am 15. März des dem Berichtsjahr folgenden Jahres veröffentlicht das Umweltbundesamt die Emissionsdaten des Vorjahres¹ und übersendet diese an den Expertenrat für Klimafragen (§ 5 Abs. 1 KSG). Innerhalb eines Monats nach Übersendung legt der Expertenrat für Klimafragen eine Bewertung der veröffentlichten Daten vor (§ 12 Abs. 1 KSG). Weisen die Emissionsdaten eine Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmenge in einem Sektor aus, so legt das zuständige Ministerium innerhalb von drei Monaten nach der Bewertung durch den Expertenrat für Klimafragen ein Sofortprogramm für den jeweiligen Sektor vor, mit dem die Einhaltung der Ziele für die folgenden Jahre sichergestellt werden soll (§ 8 Abs. 1 KSG).

Für das Jahr 2021 legt der Expertenrat für Klimafragen mit diesem Prüfbericht zum zweiten Mal eine Prüfung und Bewertung der vom Umweltbundesamt übermittelten Emissionsdaten entsprechend § 12 Abs. 1 KSG vor. Der vorliegende Bericht bietet im ersten Teil eine detaillierte Analyse der Datenbasis und der Methode der Berechnung der Vorjahresemissionen sowie eine Einordnung. Darüber hinaus werden im zweiten Teil weiterführende Analysen zur Treibhausgasentwicklung in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie erbracht, sowie Vorschläge zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vorgestellt. Der Bericht lässt sich anhand der nachstehenden Kernaussagen zusammenfassen.

Teil I: Prüfung und Bewertung der Berechnung der Vorjahresemissionen

Z1 Bei der Prüfung und Bewertung der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 ist der Expertenrat für Klimafragen wie im vergangenen Jahr vorgegangen und gelangt im Hinblick auf das methodische Vorgehen und dessen Randbedingungen zu grundsätzlich gleichen Erkenntnissen wie im Vorjahr:

- Das methodische Vorgehen des Umweltbundesamtes zur Ermittlung der Emissionsdaten für die Berechnung der Vorjahresemissionen ist konsistent mit der Inventarberichterstattung der Treibhausgase.
- Die Aussagekraft der Berechnung der Vorjahresemissionen ist durch die mangelnde Verfügbarkeit von Datenquellen zum frühen Zeitpunkt ihrer Erarbeitung gegenüber späteren Versionen des Treibhausgasinventars grundsätzlich eingeschränkt.
- Die relativen Korrekturen der gesamten Treibhausgasemissionen in Summe über die Sektoren (Korrekturbedarf von der Berechnung der Vorjahresemissionen zu nachfolgenden Treibhausgasinventaren) waren über die Jahre gering (< 3 %). In einzelnen Sektoren lagen sie

¹ Bezeichnet als „Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz“; im Weiteren dieses Berichts wird dafür die Bezeichnung „Berechnung der Vorjahresemissionen“ verwendet

allerdings teilweise in der Größenordnung der jährlichen im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Minderungsmengen oder darüber.

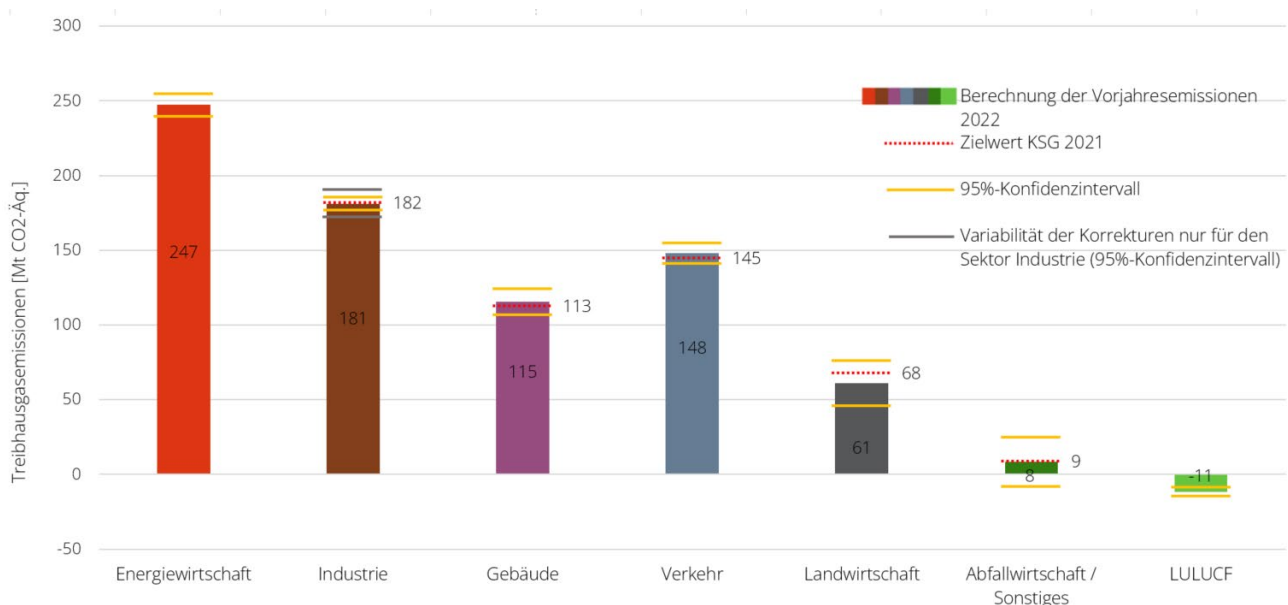
- Der Korrekturbedarf für das erste vom Expertenrat für Klimafragen geprüfte Jahr 2020 hat sich im Folgejahr 2021 mit -10,8 Mt CO₂-Äq. (-1,5%) in diesen allgemeinen Befund eingeordnet. Einen besonders großen Korrekturbedarf gab es in den Sektoren Industrie und Landwirtschaft.

- Z2 Die Auseinandersetzung mit der komplexen Methodik zur Erstellung der Berechnung der Vorjahresemissionen, einschließlich einer stichprobenartigen Prüfung, hat auf keine grundsätzlichen Konsistenzprobleme hingedeutet. Eine detaillierte Prüfung der Daten und Methoden erfolgte zum einem in dem Sektor, der im Jahr 2020 das im Bundes-Klimaschutzgesetz gesetzte Emissionsziel nicht erreicht hat (Sektor Gebäude), zum anderen in den Sektoren, die im Vorjahres-Prüfbericht für das Jahr 2020 noch nicht eingehend geprüft wurden (Landwirtschaft und Industrie), sowie dem Verkehrssektor. Des Weiteren wurde das iterative Vorgehen zur sektoralen Aufteilung der Primärenergienmengen und die darauffolgende Anpassung der brennstoffbedingten Emissionsfaktoren überprüft. Zur stichprobenartigen Prüfung der Treibhausgasemissionen wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt. Das Vorgehen des Umweltbundesamtes konnte in allen Fällen grundsätzlich nachvollzogen werden. Insbesondere ergeben sich bezüglich der Setzungen, die vom Umweltbundesamt im Rahmen der Schätzungen vorgenommen wurden, keine Anhaltspunkte für eine bewusste systematische Verzerrung. Allerdings basieren die Abschätzungen auf unterschiedlichen Datenquellen und -ständen, in die zusätzlich Erfahrungswissen eingeht, für das keine vollständige Dokumentation vorliegt.
- Z3 In Summe liefert die Prüfung und Bewertung der in der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 nach § 5 Abs. 1 KSG bereitgestellten Daten keinen Anhaltspunkt dafür, dass das Umweltbundesamt bei seiner Berechnung der Vorjahresemissionen zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen. Es zeigt sich zugleich, dass die Unsicherheit, die mit dieser Berechnung verbunden ist, in einigen Sektoren groß ist.
- Z4 Die durch das Umweltbundesamt für den Industriesektor ausgewiesenen Unsicherheiten werden auf Basis einer statistischen Prüfung als zu niedrig erachtet. Das Umweltbundesamt weist im Einklang mit internationalen Standards, wie bereits in der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2020, Konfidenzintervalle für die tatsächlichen Emissionsdaten in den einzelnen Sektoren aus. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten erfolgt im Einklang mit den IPCC-Richtlinien.² Es konnte durch die Gegenüberstellung der historischen Korrekturbedarfe mit den Konfidenzintervallen der ausgewiesenen sektorspezifischen Unsicherheit des Umweltbundesamtes auf Ebene der Gesamtemissionen sowie in allen Sektoren außer der Industrie keine Inkonsistenz festgestellt werden. Für den Sektor Industrie sind jedoch die historischen Korrekturbedarfe statistisch gesehen größer als das entsprechende Konfidenzintervall. Dies deutet darauf hin, dass die Unsicherheit der Emissionen des Industriesektors im Rahmen der Emissionsberechnung des Vorjahres zu niedrig eingeschätzt wird.
- Z5 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. Der Gebäudesektor lag 2,5 Mt CO₂-Äq. über dem

² IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

Sektorziel, der Verkehrssektor überschritt das Sektorziel mit 3,1 Mt CO₂-Äq. Daraus leitet sich für beide Sektoren die Notwendigkeit zur Vorlage eines Sofortprogramms ab.

Abbildung Z-1: Zielwertvergleich Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes



Eigene Darstellung basierend auf der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 des Umweltbundesamtes und den ausgewiesenen Unsicherheiten, sowie eigenen Berechnungen bezüglich der Variabilität der Korrekturbedarfe für die Industrie für die Emissionsjahre 2010–2021 (siehe Kapitel 4.4).

Teil II: Weiterführende Betrachtungen

- Z6** Im Jahr 2021 sind die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) gegenüber 2020 um 4,5 % (33 Mt CO₂-Äq.) angestiegen. Dies stellt den höchsten prozentualen Anstieg gegenüber dem Vorjahr seit 1990 dar. Im Jahr 2020 war noch ein Rückgang um 9 % zu verzeichnen. Eine vergleichbare Entwicklung trat nur noch im Jahr 2010 auf, als die Emissionen in der Folge der Finanzkrise im Jahr 2009 zunächst deutlich zurückgingen, um im Folgejahr um 3,7 % zu steigen. Im gesamten Zeitraum 1990 bis 2021 sind die Treibhausgasemissionen um knapp 39 % (487 Mt CO₂-Äq.) gesunken.
- Z7** Der Anstieg der Treibhausgasemissionen im Jahr 2021 um 33 Mt CO₂-Äq. gegenüber 2020 kann - basierend auf einer Komponentenzerlegung - zu rund 60 % (19,5 Mt CO₂-Äq.) der wieder angestiegenen Wirtschaftsleistung zugeordnet werden. Die übrige Zunahme ist durch den erstmals seit 2013 wieder beobachteten Anstieg der Emissionsintensität bedingt. Die Zunahme dieses Treibers im Jahr 2021 kann vor allem auf eine Erhöhung sowohl der Energieintensität (gemessen als Primärenergieverbrauch pro Einheit Bruttoinlandsprodukt) als auch der auf den Primärenergieverbrauch bezogenen Emissionen zurückgeführt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Jahr 2021 das Wachstum des Bruttoinlandsproduktes mit 2,7 % unter der Wachstumsrate des Primärenergieverbrauchs lag, der gegenüber 2020 um 3,1 % zunahm. Außerdem ist es in der Zusammensetzung der Primärenergieträger zu Verschiebungen gekommen, die zu höheren Emissionen je Einheit Primärenergie geführt haben, nämlich unter anderem zu einer Abnahme des Anteils der erneuerbaren Energien und einem Anstieg

der Kohleverstromung im Vergleich zum Vorjahr. Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, inwieweit sich dieser im Jahr 2021 beobachtete Anstieg der Emissionsintensität, die über den gesamten Zeitraum seit 1990 einen substanziellen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen leistete, als kritisch für die mittel- bis langfristige Erreichung der Treibhausgasminderungsziele erweisen könnte.

Abbildung Z-2: Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der Änderung der gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (gemessen als Zahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (gemessen als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf) und Emissionsintensität (gemessen als Treibhausgasemissionen pro Einheit Bruttoinlandsprodukt) in Bezug auf das jeweils vorhergehende Jahr.

Eigene Darstellung.

- 28 Bei der Betrachtung der Treibhausgasemissionen in einzelnen Sektoren unter Berücksichtigung von Sondereffekten wird deutlich, dass die Berechnung der Vorjahresemissionen nur eine Momentaufnahme darstellt. Die Betrachtung von Sondereffekten kann einen ersten Anhaltspunkt für eine qualifizierte Einordnung der Zielerreichung bzw. Zielverfehlung in den Sektoren liefern. Diese Betrachtung ist wichtig, um ein besseres Bild zu bekommen, wie die Politik auf mögliche Zielverfehlungen reagieren kann. Dabei müssen zwei Arten von Sondereffekten unterschieden werden: zum einen Effekte mit stochastischen Schwankungen rund um einen Mittelwert, wie es beispielsweise beim Einfluss der Lagerhaltung und Witterung der Fall ist. Und zum anderen Sondereffekte aufgrund von menschlichem oder wirtschaftlichem Einfluss, wie die Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie und Konjunkturentwicklungen. Insbesondere im Gebäudesektor spielen Lagerhaltungs- und Witterungseffekte eine große Rolle, die von Jahr zu Jahr großen Schwankungen unterliegen. Dies erschwert die Interpretation des Punktwertes der Berechnung der Vorjahresemissionen. Zudem hängt die Betrachtung vom gewählten Bezugsjahr bzw. der Berechnungsmethode ab. Beim Sondereffekt in Bezug auf die Covid-19-Pandemie stellt sich mit Blick auf die nächsten Jahre die Frage, welche dieser Effekte sich möglicherweise verstetigen (z. B. die Zunahme des Homeoffice) und welche lediglich der Pandemie geschuldete Einmaleffekte bleiben.
- 29 Für die drei im Detail betrachteten Sektoren zeigt sich, dass vor allem der Gebäudesektor unter derartigen Sondereinflüssen stand, während solche Effekte im Verkehrs- und vor allem Industriesektor

weniger prononciert zu Tage getreten sind. Im Sektor **Gebäude** haben sowohl die Lagerhaltung als auch die Witterung einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der vom Umweltbundesamt berechneten Emissionen, der von Jahr zu Jahr unterschiedlich ausfallen kann. Im Jahr 2021 war eine gegenläufige Wirkung dieser beiden Effekte festzustellen. Während sich der Abbau der Lagerhaltung mindernd auf die berechneten Emissionen auswirkte, ging von der eher kalten Witterung ein emissionserhöhender Einfluss aus. Die Größenordnung dieser jährlich schwankenden Effekte lag im Jahr 2021 - wie auch schon im Jahr 2020 - über dem Wert der Überschreitung des jährlichen Emissionswertes im Gebäudesektor. Im Sektor **Verkehr** zeigt eine erste vorsichtige Abschätzung der emissionsmindernden Wirkung der Covid-19-Eindämmungsmaßnahmen auf den Treibstoffabsatz in den ersten zwei Monaten des Jahres, dass dieser Effekt im Jahr 2021 in der Größenordnung von mehreren Megatonnen CO₂-Äq. lag. Daraus lässt sich ableiten, dass ohne den Covid-19-Effekt die Zielverfehlung im Sektor Verkehr tendenziell noch höher ausgefallen wäre. Die Wirkung wichtiger treibender Faktoren auf die Emissionsentwicklung in der **Industrie**, die im Jahr 2021 ihr Sektorziel nur knapp erreicht hat, ist nicht eindeutig. Zwar wirkten tendenziell emissionsmindernde Sondereffekte als Folge der Covid-19-Pandemie weiter fort und wurden durch Liefer- und Ressourcenengpässen noch verstärkt. Allerdings verlief die Entwicklung je nach Branche sehr unterschiedlich. Einige Branchen erreichten auch wieder das Produktionsniveau von vor der Pandemie, darunter auch emissionsintensive wie die Stahlindustrie. Wie sich die Emissionen in der Industrie im Jahr 2021 ohne diese Sondereinflüsse entwickelt hätten, lässt sich daher an dieser Stelle nicht eindeutig bewerten.

- Z10 **Der Expertenrat für Klimafragen sieht den Bedarf einer wesentlichen Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.** Als wesentliche Handlungsfelder werden identifiziert: i) mangelnde Kongruenz zwischen dem Bundes-Klimaschutzgesetz und dem europäischen Emissionshandel (EU-ETS) sowie den europäischen Zielvorgaben im Rahmen der ESR; ii) mangelnde Kongruenz zwischen dem Bundes-Klimaschutzgesetz und dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG); iii) der Auslösemechanismus für Sofortprogramme u.a. in Bezug auf die Unsicherheit der Datengrundlage, die Nichtberücksichtigung von jahresspezifischen Sondereffekten, die ausschließliche Betrachtung von Emissionswerten ohne Einbeziehung weiterer relevanter Entwicklungen; iv) die ausschließliche Berücksichtigung vergangener Entwicklungen (ex-post) und entsprechend keine vorausschauende Perspektive (ex-ante) sowie v) Klärungsbedarf bei den Handlungsanforderungen, die sich aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz ergeben im Hinblick auf die in § 8 Abs. 1 KSG formulierte Anforderung an ein Sofortprogramm zur Einhaltung der künftigen Jahresemissionsmengen.
- Z11 **Der Tatbestand zur Auslösung eines Sofortprogrammes weist auf Seiten des Steuerungssignals Mängel auf und ist zu mechanistisch in seiner Anwendung. Der Expertenrat für Klimafragen sieht zahlreiche Optionen zur Verbesserung des Steuerungsmechanismus.** Dafür werden eine Reihe von Gestaltungsoptionen aufgezeigt, wie auf Basis der beobachteten Daten der Mechanismus verbessert werden kann, beispielsweise über die Betrachtung längerer Zeiträume oder eine automatisierte Nachsteuerung über eine Preisanhebung im nationalen Emissionshandel. Eine grundsätzliche Alternative zu einem regelbasierten Mechanismus, der eine Rechtsfolge bei gegebenem Auslösetatbestand impliziert, wäre eine Beurteilung auf Basis einer qualifizierten Bewertung der Emissionsdaten. Dabei könnten zugleich weitere Indikatoren einbezogen werden, die weitergehenden Aufschluss über zugrundliegende Entwicklungen geben. Zudem könnte eine Betrachtung im Rückblick (ex-post), die sich auf Werte in der Vergangenheit stützt, durch eine Betrachtung in der Projektion (ex-ante) ergänzt oder auch ersetzt werden. Darüber hinaus werden eine Reihe konkreter Optionen zur Verbesserung der Monitoring-Funktion des Bundes-Klimaschutzgesetzes aufgezeigt.

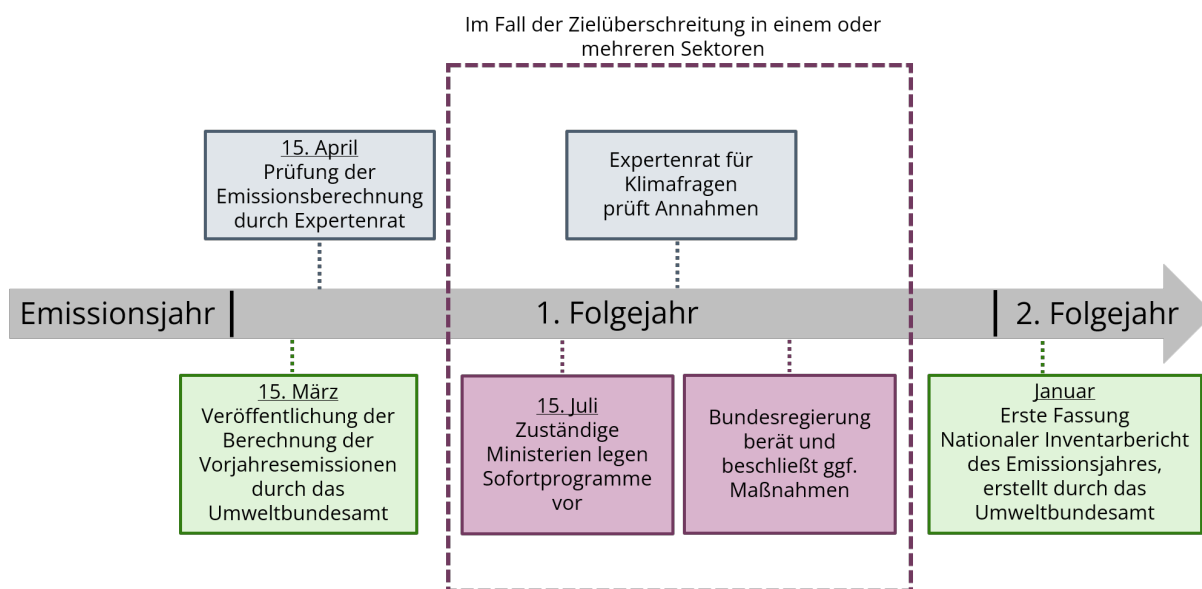
- Z12 Für die jährlich stattfindende Aktualisierung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen (Anlage 2 KSG) aufgrund von Über- und Unterschreitungen sollte das angewandte Verfahren eindeutig geklärt und nachvollziehbar geregelt werden. Bei dieser Aktualisierung der Sektorziele, die aufgrund der Berechnung der Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt jährlich erforderlich ist, sollte immer auf die jüngsten verfügbaren Emissionsdaten aller Vorjahre zurückgegriffen werden.
- Z13 Der Expertenrat für Klimafragen empfiehlt einen koordinierten Prozess zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im laufenden Jahr. Damit sollte minimal der Anspruch verfolgt werden, den derzeitigen Handlungsmechanismus durch Nutzung zusätzlicher bzw. angepasster Steuerungssignale zu verbessern. Im Kontext dieser Weiterentwicklung könnte zugleich eine Reihe weiterer technischer Verbesserungen und Ergänzungen im Bereich der betrachteten Sektoren und Daten erfolgen. Zudem gibt es erheblichen Spielraum für eine grundsätzliche Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes mit dem Ziel, dass i) das Bundes-Klimaschutzgesetz passgenau in den europäischen Rahmen eingebettet wird, ii) sich das Bundes-Klimaschutzgesetz sowohl im Hinblick auf das Monitoring der Zielerreichung als auch auf die Steuerungslogik zusätzlich an den übergeordneten, mehrere Sektoren betreffenden Instrumenten des EU-ETS, und Brennstoffemissionshandelsgesetz orientiert und iii) die grundlegenden Fragen zur Zielstellung und der Rolle des intertemporalen Ausgleichsmechanismus geklärt werden.

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 des 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, sowie das Bekenntnis der Bundesrepublik Deutschland auf dem Klimagipfel der Vereinten Nationen am 23. September 2019 in New York, Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel zu verfolgen.“ (KSG 2019).
- 2 Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz hat Deutschland seine Klimaziele auf sechs verbindliche jährliche Sektorziele bis einschließlich des Jahres 2030 für die Absenkung der Treibhausgasemissionen heruntergebrochen sowie einen gesetzlichen Rahmen festgelegt, der das Erreichen dieser Ziele sicherstellen soll. Für die Jahre 2031 bis 2040 wurden jährliche Minderungsziele festgelegt. Das Bundes-Klimaschutzgesetz definiert des Weiteren die Rolle des unabhängigen Expertenrates für Klimafragen, der seit dem Jahr 2021 die jährlich durch das Umweltbundesamt berichteten Emissionsdaten prüft. Diese Prüfung findet im vorliegenden Bericht zum zweiten 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):
 - i) Jeweils am 15. März des dem Emissionsjahr folgenden Jahres veröffentlicht das Umweltbundesamt die Emissionsdaten des Vorjahres (§ 5 Abs. 1 KSG). Aus dieser zeitnahen Berichterstattung resultiert eine schnelle Erkennung von Abweichungen zwischen den sektorenscharfen Berichtswerten des Umweltbundesamtes und den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten zulässigen Jahresemissionsmengen für die einzelnen Sektoren. Erstmals enthält diese Tabelle auch gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Abs. 2 eine Auflistung der Emissionsanteile, die der Europäischen Klimaschutzverordnung unterliegen.
 - ii) Innerhalb von einem Monat nach Übersendung durch das Umweltbundesamt, zum 15. April, legt der Expertenrat für Klimafragen eine Bewertung der veröffentlichten Daten vor (§ 12 Abs. 1 KSG). Bestätigt der Expertenrat für Klimafragen die Überschreitung der zulässigen Emissionsmenge in einem oder mehreren Sektoren, greifen Punkte iii und iv.
 - iii) „Weisen die Emissionsdaten eine Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmenge für einen Sektor in einem Berichtsjahr aus, so legt das [...] zuständige Bundesministerium der Bundesregierung innerhalb von drei Monaten nach der Vorlage der Bewertung der Emissionsdaten durch den Expertenrat für Klimafragen [...] ein Sofortprogramm für den jeweiligen Sektor vor, dass die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors für die folgenden Jahre sicherstellt“ (§ 8 Abs. 1 KSG).
 - iv) „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 für Klimafragen 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.

- 3 Der vorliegende Bericht nimmt eine Bewertung der am 15. März 2022 durch das Umweltbundesamt vorgelegten und veröffentlichten Daten der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 vor (UBA 2022d).
- 4 Dem Expertenrat für Klimafragen wurden am 15. März 2022 die folgenden Unterlagen durch das Umweltbundesamt übermittelt:
 - Zeitreihen der Emissionsdaten von 1990 bis 2021, 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. Erstmals enthält diese Tabelle auch gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Abs. 2 eine Auflistung der Emissionsanteile, die der Europäischen Klimaschutzverordnung unterliegen (UBA 2022d).
 - Eine bisher unveröffentlichte Version der Trendtabelle mit Auszügen der Daten der CRF-Kategorien des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change, and Forestry/LULUCF), aus der die Quellen und Senken des Sektors hervorgehen. Diese Information ist ab dem Emissionsjahr 2021 laut Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Abs. 2 vorgeschrieben.
 - Ein begleitender Bericht mit dem Titel »Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2021 gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz« (UBA 2022b).

- Ein unveröffentlichter Methodenbericht mit dem Titel »Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz, allgemeiner Methodenband« (UBA 2022a).
 - Der finale Entwurf (Stand 14.03.2022) des Nationalen Inventarberichts zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2020 (UBA 2022c).
 - Weitere sektorspezifische Informationen, die auf Anfrage zur Verfügung gestellt wurden und zur Prüfung und Plausibilisierung genutzt wurden.
- 5 Zusätzlich standen Mitarbeitende des Umweltbundesamtes, des Thünen-Instituts und des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) für ausführliche Gespräche und Rückfragen zur Emissionsberechnung in den Sektoren Landwirtschaft, LULUCF und Verkehr zur Verfügung. Der Expertenrat für Klimafragen dankt für die wertvollen Diskussionen. Des Weiteren bedankt sich der Expertenrat für Klimafragen bei Sabine Gores (Öko-Institut e.V.), Hans Georg Buttermann (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.), Dr. Thorsten Müller und Hannah Scheuing (beide Stiftung Umweltenergierecht), die während der Erstellung dieses Prüfberichts für Fachfragen zur Verfügung standen.
- 6 Der vorliegende Prüfbericht ist wie folgt aufgebaut:
- Teil I dieses Berichts enthält die Prüfung und Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten. 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 Vorjahresemissionen für das Jahr 2020 werden in Kapitel 2 dargestellt. Dabei wird erstmals detailliert auf den Sektor LULUCF eingegangen, da für diesen laut Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Abs. 2 ab dem Emissionsjahr 2021 die Treibhausgasquellen und -senken ausgewiesen werden sollen. Für die Sektoren Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Industrie wurde zusätzlich eine Prüfung der Berechnung der Vorjahresemissionen einzelner CRF-Kategorien durchgeführt (Kapitel 3). In den Sektoren Gebäude und Verkehr wurde dafür eine eigene Nachrechnung gemäß der Methode des Umweltbundesamtes vorgenommen, während in den Sektoren Industrie und Landwirtschaft ein gemeinsamer Nachvollzug mit den Expert:innen des Umweltbundesamtes und des Thünen-Institutes erfolgte. Das Vorgehen bei der iterativen Fehlerkorrektur impliziter brennstoffbedingter Emissionsfaktoren wurde gemeinsam mit den Expert:innen des Umweltbundesamtes nachvollzogen. Eine Aussage zur Güte (Kapitel 4) der Berechnung der Vorjahresemissionen erfolgt einerseits auf Basis der durch das Umweltbundesamt übermittelten Angabe zur Unsicherheit der vorgelegten Daten. Außerdem basiert die Aussage zur Güte wie im Prüfbericht des Vorjahrs (ERK 2021b) auf einer aktualisierten Analyse der nachträglichen historischen Korrekturbedarfe, einschließlich der neuen Korrekturen für das Emissionsjahr 2020. 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 7).
 - Teil II dieses Berichts enthält weiterführende Betrachtungen, die unter anderem einer Einordnung der vorgelegten Emissionsdaten dienen. In Kapitel 6 wird eine erste qualifizierte Einschätzung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2021 vorgenommen. Diese basiert auf einer Dekomposition auf sektorenübergreifender Ebene Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie hinsichtlich besonderer Effekte wie Lagerhaltung, Witterung oder der Covid-19-Pandemie im Jahr 2021. Anschließend werden

verschiedene Treiber dieser Entwicklung diskutiert, getrennt nach strukturellen Entwicklungen wie Lagereffekten oder Effekten ausgelöst durch die Covid-19-Pandemie. In Kapitel 7 werden Ansätze zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vorgestellt und diskutiert.

- 7 Als Ergänzung zu diesem Prüfbericht wird ein Technisches Begleitdokument (ERK 2022) veröffentlicht, welches 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 Vorjahresemissionen

2 Die Nationale Berichterstattung der Treibhausgasemissionen

2.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung

- 8 In der Emissionsberechnung für die Nationalen Treibhausgasinventare berichtet das Umweltbundesamt für zahlreiche Quellgruppen die Höhe der Emissionen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O), Methan (CH₄) sowie die fluorierten Treibhausgase (F-Gase) Perfluorcarbone (PFCs), Fluorkohlenwasserstoffe (FKWs), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃). Diese ergeben sich aus dem Common Reporting Format (CRF), der nach UNFCCC etablierten Systematik der Klimaberichterstattung (siehe Abbildung 2). Die Berechnung der Emissionen erfolgt für jede CRF-Kategorie nach dem Grundprinzip **Aktivitätsdaten*Emissionsfaktor = Emissionen**. Dabei bezeichnen Aktivitätsdaten die jeweils relevante Größe, die zu den damit verbundenen Emissionen als proportional vermutet werden kann, z. B. die Anzahl der Energieeinheiten für Wärme-Emissionswerte und Brennstoff-Emissionswerte (DEHSt 2019). Der Emissionsfaktor wiederum ist ein Proportionalitätsfaktor. Er drückt aus, wie viel Menge Treibhausgas in CO₂-Äquivalenten pro emissionserzeugende Größe in die Atmosphäre freigesetzt wird, also z. B. die ausgestoßene Menge an CO₂ pro Liter Kraftstoff. Die in den Treibhausgasinventaren ausgewiesenen Emissionen sind also grundsätzlich keine gemessenen Größen, sondern werden anhand der Aktivitätsdaten und der zugehörigen Emissionsfaktoren hochgerechnet. Die Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren beruhen teilweise auf Berechnungen, teilweise auf Schätzungen. Die Treibhausgasinventare werden jeweils für das Vorvorjahr am 15. Januar veröffentlicht. Die beschriebene Methodik zur Berechnung der Nationalen Treibhausgasinventare stellt auch die Grundlage für die Berechnung der Vorjahresemissionen dar, welche jedes Jahr am 15. März veröffentlicht und im Rahmen dieses Berichtes geprüft wird.
- 9 Die Summe der Emissionen aller Treibhausgase werden in CO₂-Äquivalenten (CO₂-Äq.) angegeben. Zur Ermittlung der jeweiligen Emissionsfaktoren werden die ermittelten Emissionen je Treibhausgas (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas und fluorierte Treibhausgase) mit den jeweiligen Treibhausgaspotenzialen, basierend auf ihrer Wirkung auf die Emissionsentwicklung über einen Zeithorizont von 100 Jahren, multipliziert. Das Treibhausgaspotenzial von CO₂ ist definitionsgemäß eins. Die übrigen derzeit verwendeten Treibhausgaspotenziale sind im Vierten Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht (UNFCCC 2014). Treibhausgaspotenziale werden bei neuen Erkenntnissen oder auf Basis sich ändernder Definition des Zeitintervalls³ angepasst. Nach dem Übereinkommen von Paris werden für Veröffentlichungen ab dem Jahr 2023 die Treibhausgaspotenziale auf Basis des Fünften Sachstandsberichts des IPCC berechnet (IPCC 2014). Der Wert des Treibhausgaspotenzials für Methan steigt durch diese Anpassung um 12 %, wohingegen der Wert für Lachgas um 11 % sinkt. Diese

³ Das Treibhausgaspotenzial der einzelnen Treibhausgase im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid hängt vom Zeithorizont ab. Würde statt des 100-jährigen Zeithorizonts ein kürzerer oder längerer Zeithorizont verwendet, würde dies auch die Treibhausgaspotenziale von Methan, Lachgas und F-Gasen beeinflussen.

Veränderungen wirken sich auf die gesamte Zeitreihe der Emissionsdaten seit 1990 aus, einschließlich der in diesem Bericht geprüften Emissionsberechnung. Die größten Änderungen ergeben sich hierdurch in Sektoren mit einem hohen Anteil an Methan- und Lachgas-Emissionen (z. B. Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges). Weiterführende Ausführungen zu den Prinzipien der Emissionsberichterstattung können dem Technischen Begleitdokument, Kapitel A.1.2, entnommen werden (ERK 2022).

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

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

Eigene Darstellung (LULUCF = Land Use, Land Use Change and Forestry).

2.2 Daten und Methoden zur Berechnung der Vorjahresemissionen

- 10 Die verwendeten Daten für die Emissionsberichterstattung lassen sich in zwei Kategorien aufteilen: Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten (siehe RZ 9). Die Emissionsfaktoren werden für die Berechnung der Vorjahresemissionen aus der vorgelagerten Inventarberichterstattung der Treibhausgase übernommen (siehe Technisches Begleitdokument, Kapitel A.1.2.1). Die Quellen der Aktivitätsdaten sind zum Teil ebenfalls dieselben, welche auch für die Erstellung des Nationalen Treibhausgasinventars genutzt werden. Viele Aktivitätsdaten, welche für das Nationale Treibhausgasinventar genutzt werden, stehen jedoch zum frühen Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen noch nicht (oder nur vorläufig) zur Verfügung, weswegen auf andere Datenquellen zurückgegriffen wird oder die Aktivitätsdaten des Vorjahres oder einzelner Monate fortgeschrieben oder geschätzt werden. Manche Datenquellen werden in mehreren Sektoren genutzt, da sie übergreifende Informationen über genutzte Brennstoffmengen enthalten (Amtliche Mineralölstatistik, Primärenergieverbrauch der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) und sektorale Energiebilanz (siehe Technisches Begleitdokument, Kapitel A.1.2.2)). Neben Destatis-Daten werden in manchen Sektoren zusätzlich

Verbandsdaten und Herstellerangaben genutzt. Ferner verwendet das Umweltbundesamt weitere Datenquellen wie beispielsweise wissenschaftliche Studien, aus denen Werte entnommen werden, die über Jahre hinweg konstant bleiben oder lediglich fortgeschrieben werden. Auf derartige Primärdaten geht der Prüfbericht nicht näher ein. Eine ausführlichere Darstellung aller Datenquellen für die Aktivitätsdaten ist im Technischen Begleitdokument in Kapitel A.1.2.3 (ERK 2022) aufgeführt.

- 11 In den folgenden Abschnitten werden für alle Sektoren die genutzten Datenquellen und Methoden für die Aktivitätsdaten kurz tabellarisch dargestellt (Tabelle 1 – Tabelle 7). Die genutzten Datenquellen werden allgemein für die Sektoren genannt, die Methoden werden zusätzlich nach CRF-Kategorien aufgeschlüsselt dargestellt. Dafür werden die Methoden zu sechs wesentlichen Vorgehensweisen aggregiert. Zum einen werden Werte aus dem aktuellen Treibhausgasinventar (Emissionsjahr 2020) übernommen und fortgeschrieben, dies wird vor allem für emissionstechnisch weniger relevante CRF-(Sub)Kategorien getan. Wo es möglich ist, werden Daten aus dem Emissionsjahr 2021 direkt verwendet. Außerdem werden Modelle zur Berechnung von Aktivitätsdaten genutzt, Korrelationen zu anderen Aktivitätsdaten hergestellt, für die Daten für das Emissionsjahr 2021 vorliegen, oder es erfolgen Extrapolationen auf Basis von Daten bis zum Jahr 2020. Zusätzlich stellen die Tabellen die Änderungen der Methoden und Datenquellen für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Emissionsjahr 2020 dar, welche in den Abschnitten weiter erläutert werden. Für detaillierte Informationen zu den genutzten Daten und Methoden in allen Sektoren wird auf das Technische Begleitdokument Kapitel A.1.2 verwiesen.
- 12 Tabelle 1 zeigt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Energiewirtschaftssektor**. Im Sektor Energiewirtschaft gab es keine Änderungen in den genutzten Daten und Methoden gegenüber dem Vorjahr.

Tabelle 1: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Energiewirtschaftssektor

Energiewirtschaftssektor 			
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF-Kategorien	
Bafa	Amtl. Mineralölzeiten (BAFA 2022)	Entnahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres	CRF 1.A.1
Destatis	Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2021c)	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 1.B
Verbände, Hersteller, Sonstiges	Statistik der Kohlenwirtschaft – Braunkohle Informationen (Kohlenstatistik e.V. 2022)	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 1.A.1
	Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Stahl (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022)	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 1.B
		Modellberechnung	CRF 1.B
		Korrelation mit anderen Aktivitätsdaten	CRF 1.A.3.e
			CRF 1.B
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)	
Keine Änderungen		Keine Änderungen	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

- 13 Tabelle 2 stellt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Industriesektor** dar, sowie die Änderungen, welche sich in Methoden und Daten in der Berechnung der Vorjahresemissionen gegenüber dem Emissionsjahr 2020 ergeben haben. Aus dem begleitenden Bericht des Umweltbundesamtes (UBA 2022b) ergaben sich folgende Änderungen in den Datenquellen zur Bestimmung der Emissionsmengen des Industriesektors für das Jahr 2021. Für die Aluminiumproduktion wurden Verbandszahlen genutzt und nicht wie üblich Prognoseanalysen. Für die Adipinsäureproduktion wurden statt Expertenschätzungen Herstellerangaben verwendet. Wie sich diese umfangreichere Datengrundlage im Vergleich zum Vorjahr auf die Güte der Berechnung der Vorjahresemissionen auswirkt, kann an dieser Stelle nicht bewertet werden. Für petrochemische Produkte konnte für die Emissionsdaten 2021 kein (qualitativer) Vergleich zwischen der amtlichen Statistik für petrochemische Produkte mit der Veröffentlichung des Verbandes der Chemischen Industrie durchgeführt werden, da die Daten des Verbandes der Chemischen Industrie erst zum 16.03.2022 veröffentlicht wurden. Welchen Einfluss das auf die Berechnung hat kann an dieser Stelle nicht bewertet werden. Dieses Jahr wurden die spezifischen Verbräuche von Harnstoff in SCR Katalysatoren der Euro 6 Fahrzeuge durch das Modell TREMOD quantifiziert.

Tabelle 2: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Industriesektor

Industriesektor 			
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF-Kategorien	
Bafa	Amtliche Mineralölzeiten (BAFA 2022)	Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres	CRF 2.C
			CRF 2.D
AGEB	Sektorale Energiebilanz 2020 (AGEB 2022a)		CRF 1.A.2
Destatis	Destatis Vierteljährliche Produktionserhebung i.Verarb.Gew. (GP 2019) (Destatis 2022a)	Expert:innenschätzung	CRF 2.E/F/G
			CRF 2.A
	Verbandsdaten Stahl/Metalle/Chemie (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022)		CRF 2.B
			CRF 1.A.2
Verbände, Hersteller, Sonstiges	Herstellerangaben	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 1.A.2
			CRF 2.B
			CRF 2.C
			CRF 2.D
	Gasabsatz sektoren-spezifisch (BDEW) (BDEW 2022)	Extrapolation historischer Daten	CRF 2.D
		Korrelation mit anderen Aktivitätsdaten	CRF 1.A.2
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)	
• Verbandszahlen Aluminiumproduktion • Herstellerangaben Adipinsäureproduktion • Übernahme der Schmierstoffe aus amtlichen Mineralölzeiten • Daten des Verbandes der chemischen Industrie lagen noch nicht vor • Spezifizierung der Harnstoffmengen in SCR Katalysatoren der Euro 6 Fahrzeuge durch TREMOD		• Direkte Verwendung der BDEW-Daten des Gasverbrauchs	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

- 14 In der Methodik der Berechnung der Vorjahresemissionen gab es eine Abweichung vom Vorgehen im Vergleich zum letzten Bericht. Generell ist anzumerken, dass nach Aussage des Umweltbundesamtes die Methode je nach Datenverfügbarkeit angepasst wird und es kein definiertes „Standardvorgehen“

gibt (siehe Kapitel 3.2.1). In den Berechnungen der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2020 wurde die prozentuale Änderung des Verbrauchs von Erdgas in der Industrie vom Vorjahr zum aktuellen Emissionsjahr aus den Daten des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (BDEW 2022) auf den Gasabsatz aus dem Nationalen Treibhausgasinventar für das Vorjahr übertragen. Für die Berechnung der Emissionsdaten des Jahres 2021 wurden hingegen die absoluten Werte der Erdgasabsätze an die Industrie des BDEW (BDEW 2022) direkt übernommen. Dieses Vorgehen ist begründet in Rückrechnungen zwischen der vorläufigen und der finalen sektoralen Energiebilanz der AGEB für das Jahr 2020. Diese resultieren daraus, dass der tatsächliche Gasabsatz im Jahr 2020 im Industriesektor deutlich oberhalb des Wertes der vorläufigen Bilanz lag (siehe Kapitel 4.2.2). Diese großen Abweichungen zwischen vorläufiger und endgültiger Energiebilanz 2020 können durch Sondereffekte in diesem Jahr erklärt werden, die eine Zuordnung der Energiemengen zu den einzelnen Sektoren erschweren. Da die vorläufige Energiebilanz für das Jahr 2020 jedoch Grundlage für das Nationale Treibhausgasinventar 2022 (Emissionsjahr 2020) war und der Korrekturbedarf zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 bekannt war, wäre die reine prozentuale Übertragung der BDEW-Werte (BDEW 2022) auf die Energiebilanz nicht sinnvoll gewesen. Denn es war bereits bekannt, dass die absolute Höhe zu niedrig war.⁴ Diese Änderung ist nachvollziehbar und plausibel unter den spezifischen Bedingungen der zum Berichtsdatum vorliegenden Primärdaten. Aufgrund der geringen Änderungen zwischen vorläufiger und endgültiger Energiebilanz für das Jahr 2019 haben letztes Jahr beide Methoden ein sehr ähnliches Ergebnis erzielt und können deswegen in Jahren mit geringer Änderung zwischen vorläufiger und endgültiger Energiebilanz als gleichwertig angesehen werden.

- 15 Tabelle 3 zeigt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Gebäudesektor** sowie die Änderungen, welche sich in Methoden und Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr 2020 ergeben haben. Im Gebäudesektor gab es keine Änderungen bei den genutzten Datenquellen und kleinere methodische Anpassungen. Zum einen wurden die Gasabsätze für Haushalte direkt aus dem BDEW-Jahresbericht (BDEW 2022) übernommen. Zuvor wurde die Änderungsrate aus dem BDEW-Jahresbericht gegenüber dem Vorjahr übernommen und auf die Gasabsätze aus dem aktuellen Treibhausgasinventar für das Emissionsjahr 2020 angewendet. Dies ist kongruent zum Vorgehen zur Bestimmung des Gasabsatzes in der Industrie und wird auch hier mit Änderungen zwischen vorläufiger und finaler Energiebilanz für das Jahr 2020 begründet (siehe dazu RZ 14). Für Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) wurde die Änderungsrate des Gasabsatzes aus dem BDEW-Jahresbericht auf den Gasabsatz im Jahr 2020 aus einer Bilanz des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung⁵ übertragen.
- 16 Die Änderung der Mineralölabsätze für Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung wurde nicht wie sonst üblich zwischen Vorjahr und aktuellem Jahr bestimmt, sondern aufgrund von Bunkereffekten in den Jahren 2019 und 2020 wurde das Jahr 2018 als Basisjahr gewählt. Das bedeutet, dass das Verhältnis von abgesetztem Heizöl zwischen Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung für das

⁴ Für das Emissionsjahr 2019 lag der Unterschied im Gasabsatz an die Industrie zwischen vorläufiger und endgültiger sektoraler Energiebilanz bei -1,6 %, für das Emissionsjahr 2020 lag die Änderung des Gasabsatzes zwischen vorläufiger und endgültiger Energiebilanz bei 8 %.

⁵ Die Bilanz des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung wurde nach der Methode berechnet, welche bis Mitte des Jahres 2021 auch für die sektorale Energiebilanz der AGEB angewendet wurde. Durch einen Mitarbeiterwechsel wird für die sektorale Energiebilanz der AGEB seit Mitte des Jahres 2021 eine neue Methode verwendet, wodurch der Gasabsatz sich in den beiden Datenquellen leicht unterscheidet.

Emissionsjahr 2021 gleich zum Emissionsjahr 2018 gesetzt wurde und nicht wie sonst üblich zum Vorjahr (2020).

Tabelle 3: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Gebäudesektor

Gebäudesektor			
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF- Kategorien	
Bafa	Amtliche Mineralölkosten (BAFA 2022)	Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres	CRF 1.A.4 a/b i
AGEB	Sektorale Energiebilanz 2020 (AGEB 2022a)		CRF 1.A.4 a/b ii
Verbände, Hersteller, Sonstiges	BDEW-Jahresbericht (BDEW 2022)	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 1.A.4 a/b i
			CRF 1.A.5
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)	
Keine Änderungen		• Direkte Übernahme der Gasabsätze aus dem BDEW-Jahresbericht für Haushalte • Änderung Mineralölabsatz für Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung zwischen 2018 und 2021 bestimmt und darüber Absätze für 2021 berechnet	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

- 17 Tabelle 4 zeigt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Verkehrssektor**, sowie die Änderungen, welche sich in Methoden und Daten im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr 2021 ergeben haben. Im Verkehrssektor gingen im Vergleich zum Vorjahr einige neue Datensätze in die Berechnung der Emissionen für 2021 ein. Die Gesamtbilanz basiert allerdings weiterhin auf dem innerdeutschen Kraftstoffabsatz gemäß der Amtlichen Mineralölstatistik. Im Flugverkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.a) konnten dieses Jahr, analog zum Vorgehen des Nationalen Treibhausgasinventars, erstmals jahresspezifische Flugbewegungsdaten von Destatis (Destatis 2022g) verwendet werden. Im Straßenverkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.b) wurden für die Aufteilung auf die einzelnen Verkehrsträger im Modell TREMOD zusätzliche Realdaten verwendet. Diese umfassen Daten zu Kfz-Neuzulassungen (Kraftfahrtbundesamt) (Kraftfahrtbundesamt 2022), zur Effizienzentwicklung im Pkw-Bereich, das Verkehrsbarometer der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt 2022), die Mautstatistik des Bundesamts für Güterverkehr (BAG 2022) und Daten der Flixbus GmbH. Darüber hinaus wurden zu Verifikationszwecken und zur Plausibilisierung weitere Daten herangezogen (Mobilfunkdaten von Inrix, Unfallstatistik von Destatis, Deutsches Mobilitätspanel). Diese Neuerungen spielen für die Treibhausgasemissionsbilanz des Straßenverkehrs jedoch eine geringe Rolle, da von der Modellierung und Aufteilung innerhalb des TREMOD Modells nur die geringfügigen Mengen der Methan- und Lachgasemissionen beeinflusst werden. Im Schienenverkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.c) wurden die in

historischen Dampfbahnen eingesetzten Festbrennstoff-Mengen anhand einer Betreiberbefragung korrigiert. Da der weit überwiegende Teil der Emissionen hier aber aus der Dieseltraktion resultiert, ist der Einfluss dieser Korrektur vernachlässigbar gering. Bei der Schifffahrt (CRF-Kategorie 1.A.3.d) wurden Inventar-seitig sowohl die der Binnenschifffahrt als auch die dem nationalen Seeverkehr (Modellrevision beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)) zugewiesenen Energieeinsätze korrigiert. Somit wurde jeweils die Berechnungsgrundlage für 2021 verändert.

Tabelle 4: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Verkehrssektor

Verkehrssektor 			
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF- Kategorien	
Bafa	Amtl. Mineralölkosten	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 1.A.3.b (Indirekt als Restmenge)
Destatis	Sonderauswertung Flugbewegungsdaten		CRF 1.A.3.a
		Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres	CRF 1.A.3.d
			CRF 1.A.3.c
Verbände, Hersteller, Sonstiges	Diverse Realdatenquellen	Expert:innenschätzung	CRF 1.A.3.b
			CRF 1.A.3.c
			CRF 1.A.3.d
		Modellberechnung	CRF 1.A.3.a
			CRF 1.A.3.b
			CRF 1.A.3.d
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)	
- Neue Realdaten wurden verwendet, um die Aktivitätsdaten nach Verkehrsträger im Modell TREMOD einzuordnen und die Berechnungen zu verifizieren und zu plausibilisieren. - Nutzung aktueller Flugbewegungsdaten (Destatis 2022g)		Keine Änderungen	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

- 18 Es gab keine grundlegenden Änderungen der Methode gegenüber dem Vorjahr. Während die Emissionen im Schienenverkehr für die Berechnung der Emissionen des Jahres 2020 auf Basis von Expert:innenschätzungen angepasst wurden, erfolgte für das Jahr 2021 eine vollständige Übernahme der Energiemengen aus dem aktuellen Treibhausgasinventar.
- 19 Insgesamt waren die Änderungen der Datenquellen und Methoden im Verkehrssektor im Vergleich zum Vorjahr gering. Die zusätzlichen Datenquellen, die vor allem zu Verifikationszwecken herangezogen wurden, und die methodische Anpassung im Schiffsverkehr führen zu einer weiteren Angleichung der Methodik der Berechnung der Vorjahresemissionen an die Methodik in der nationalen Inventarberichterstattung der Treibhausgase und verringern somit tendenziell die Unsicherheit der Berechnung der Vorjahresemissionen im Verkehrssektor.
- 20 Tabelle 5 zeigt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Landwirtschaftssektor**, sowie die Änderungen, welche sich in Methoden und Daten in der Emissionsberichterstattung des Jahres 2022 gegenüber dem Vorjahr 2021 ergeben haben. Im Landwirtschaftssektor gingen einige aktualisierte Datensätze erstmals in die Berechnung der Emissionen des Vorjahres ein. Diese betreffen die CRF-Kategorien 3.A, 3.B und 3.D. Die größte Änderung entstand durch die Verwendung von nationalen Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen aus der Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm und Gärresten aus Ernterückständen (Mathivanan et al. 2021), die nun für Deutschland im Mittel bei 0,62 % anstelle des zuvor genutzten Default-Werts von 1 % (IPCC 2006) liegen. Auch wurden zum ersten Mal die Daten der Landwirtschaftszählung 2020 (Destatis 2021b) verwendet. Da diese Daten nicht jährlich erhoben werden, wurden zuvor Zahlen aus der Agrarstrukturhebung 2016 verwendet. Weitere Aktualisierungen in den Daten sind in Tabelle 5 aufgeführt. Insgesamt sind die Aktualisierungen als Verbesserung der Datenlage einzuordnen.
- 21 Die größte methodische Änderung stellt die Umstellung der Modellierung des Energiebedarfs und der Futteraufnahme der Mutterkühe dar, die basierend auf Empfehlungen von Expert:innen gegenüber dem Vorjahr für Deutschland angepasst wurde. Weitere Änderungen in der Methodik sind Tabelle 5 zu entnehmen.
- 22 Die Änderungen der Datenquellen und Methoden im Landwirtschaftssektor waren im Vergleich zum Vorjahr in Bezug auf die Datenlage umfangreich und lassen sich auf die neuen Daten der Landwirtschaftszählung des Jahres 2020 zurückführen. Diese Aktualisierungen der Daten tragen zu Verbesserungen der Berechnung der Vorjahresemissionen bei. Auch die methodischen Anpassungen in der Modellierung sowie die Anbringung neuer nationaler Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen führt zu einer verbesserten Berichterstattung der nationalen Emissionen in der Landwirtschaft.

Tabelle 5: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Landwirtschaftssektor

Landwirtschaftssektor 			
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF-Kategorien	
Destatis	FS 3 R 4.1 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand	Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres	CRF 1.A.4.c (Gesamtenergiemengen)
	FS 4 R 8.2 Produzierendes Gewerbe. Düngemittelversorgung	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 3
	FS 3 R 3.2.1 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Wachstum und Ernte - Feldfrüchte	Modellberechnung	CRF 3
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)	
• Verwendung von Daten aus der Landwirtschaftszählung 2020 für die Verteilung von Haltungs-, Lagerungs-, und Ausbringungsverfahren in der Tierhaltung, zum Weidegang bei Rindern, sowie für die Tierzahlen von Geflügel, Pferden und Ziegen (3.A, 3.B, 3.D) • Mutterkühe: Anpassung von Anfangsgewicht, Energiebedarf und Fütterung (3.A, 3.B, 3.D) • Neue Daten mit Bezug zum Futter für Färsen, Mastschweine und Masthähnchen (3.A, 3.B, 3.D) • Puten: Aktualisierung Schlachtgewicht, Gewichtszunahme und Futterverwertungskoeffizienten (3.A, 3.B, 3.D) • Jung und Legehennen: Revision Start- und Endgewichte (3.A, 3.B, 3.D) • Neue nationale Emissionsfaktoren für direkte N₂O-Emissionen aus Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm und Gärresten und aus Ernterückständen (3.D) • Vergärung von Wirtschaftsdünger: Revision Aktivitätsdaten (3.B, 3.D) • Mineralisierung organischer Bodensubstanz (Ackerland): Aktualisierung N-Mengen (3.D) • Bewirtschaftete organische Böden: Aktualisierung Flächen u. Emissionen (3.D) • Gänse: Anpassungen N-Ausscheidung (3.A, 3.B, 3.D)		• Für Mutterkühe Anpassung der Modellierung des Energiebedarfs und der Futteraufnahme basierend auf Empfehlungen von Expert:innen • Anpassung der Methode zur nun zeitlich gewichteten Mittelung der Daten zur Ausbringung von synthetischem Dünger, Kalkung und Harnstoffanwendung.	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

- 23 Tabelle 6 zeigt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges**, sowie die Änderungen, welche sich in Methoden und Daten in der Emissionsberichterstattung im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr 2021 ergeben haben. Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ergaben sich gegenüber dem Vorjahr keine Änderungen der genutzten Datenquellen. Im Vergleich zum Vorjahr haben sich nur geringfügige methodische Änderungen ergeben. Bei der Abfalldeponierung (CRF-Kategorie 5.A) wurde die Gaserfassungsrate fortgeschrieben statt extrapoliert, was mit geringeren Fehlern begründet wird. Auch wurde die Methandichte konsolidiert. Bei der kommunalen Abwasserversorgung (CRF-Kategorie 5.D.1) wurde für die Methodik zur Ermittlung der Proteinmengen die Proteinversorgung an den tatsächlichen Proteinverbrauch angepasst. Aufgrund von aktuelleren Daten fand eine Anpassung des Anteils von mitbehandelten industriellen Abwässern statt. Die Änderungen haben nur geringe Auswirkungen auf die Berechnung der Vorjahresemissionen.

Tabelle 6: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

Abfallwirtschaft und Sonstiges				
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF- Kategorien		
Destatis	FS 19, R 1 Umwelt, Abfallentsorgung	Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres	CRF 5.A	
	FS 19, R 2.1.2 Umwelt, Abwasserbehandlung und -entsorgung		CRF 5.D.1	
	FS 19, R 2.1.3 Umwelt, Wasserwirtschaft		CRF 5.D.2	
	FS 1, R. 1.3 Bevölkerungsfortschreibung	Extrapolation aus historischen Daten	CRF 5.A	
Verbände, Hersteller, Sonstiges	CRF 5.B			
	CRF 5.D.1			
		Modellberechnung	CRF 5.E.1	
			CRF 5.A	
			CRF 5.D.2	
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		
Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ergaben sich gegenüber dem Vorjahr keine Änderungen der genutzten Datenquellen.		- Bei der Abfalldeponierung (CRF 5.A) wurde die Gaserfassungsrate nur fortgeschrieben statt extrapoliert. - Die Methandichte wurde konsolidiert (CRF 5.A). - Bei der kommunalen Abwasserversorgung (CRF 5.D.1) wurde für die Methodik zur Ermittlung der Proteinmengen die Proteinversorgung an den tatsächlichen Proteinverbrauch angepasst. - Aufgrund von aktuelleren Daten fand eine Anpassung des Anteils von mitbehandelten industriellen Abwässern statt (CRF 5.D.1).		

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

Tabelle 7: Genutzte Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten sowie Zusammenfassung der Änderungen der Daten und Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr im Sektor LULUCF

LULUCF				
Datenquellen für die Aktivitätsdaten		Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die verschiedenen CRF- Kategorien		
Destatis	FS 4 R 3.1 Produktionsmengen für Torf aus industriellem Torfabbau	Verwendung von Daten aus 2021	CRF 4.A	
	FS 3 R 3.3.1 Nationale Holzeinschlagstatistik		CRF 4.B	
	FS 3 R 3.2.2 Weinerzeugung		CRF 4.C	
Verbände, Hersteller, Sonstiges	Düngeverordnung		CRF 4.D	
	Kartenmaterial		CRF 4.E	
	Waldstatistiken	Extrapolation aus historischen Daten	CRF 4.A	
	CRF 4.B			
	CRF 4.D			
	CRF 4.G			
Wesentliche Änderungen in Daten für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		Wesentliche Änderungen in Methoden für das Emissionsjahr 2021 gegenüber dem Vorjahr (2020)		
• Aktualisierte Kartengrundlage und Landnutzungsmatrix • Neuer Wert für Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen • Neue Emissionsfaktoren für ober- und unterirdische Waldphytobiomasse, Totholz, die Biomasse bei Landnutzungsänderung der Kategorie Gehölze zu Wald, Lachgasemissionen aus organischen Böden unter Siedlung		• Neuer Algorithmus zur Berechnung der Methanemissionen aus der Kategorie Gewässer • Neue Modelle zur Berechnung und Nachverfolgung des Kohlenstoffvorrats in der Biomasse von perennierenden Pflanzen außerhalb des Waldes		

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

24 Tabelle 7 zeigt die wesentlichen genutzten Daten und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im Sektor **LULUCF**, sowie die Änderungen, welche sich in Methoden und Daten in der Emissionsberichterstattung im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr 2021 ergeben haben.⁶ Im Sektor LULUCF wurde die Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten und die Landnutzungsmatrix aktualisiert. Der Wert für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen wurde korrigiert. Des Weiteren wurden neue Emissionsfaktoren für die ober- und unterirdische Waldphytobiomasse, für Totholz, für die Biomasse bei Landnutzungsänderung der Kategorie Gehölze zu Wald und für Lachgasemissionen aus organischen Böden unter Siedlung verwendet. Der Algorithmus zur Berechnung der Methan-Emissionen aus der CRF-Subkategorie

⁶ Die Daten und Methoden, die im Sektor LULUCF genutzt werden, wurden im Prüfbericht 2021 (ERK 2021b) noch nicht betrachtet. Eine allgemeine Beschreibung dazu ist im Technischen Begleitdokument (ERK 2022, , Kap.A2.2) zu finden.

Gewässer wurde korrigiert. Des Weiteren wurden Modelle zur Berechnung und Nachverfolgung des Kohlenstoffvorrats in der Biomasse von perennierenden Pflanzen außerhalb des Waldes implementiert. Abgesehen von dieser kontinuierlichen Aktualisierung der Kartengrundlage und der Landnutzungsmatrix waren die Änderungen im Sektor LULUCF gering. Dies entsprach dem Vorgehen, das im Nationalen Inventarbericht beschrieben wird (UBA 2022c).

2.3 Fazit zur Emissionsberichterstattung

- 25 Änderungen gegenüber der Berechnung der Vorjahresemissionen haben sich in allen Sektoren außer der Energiewirtschaft in der genutzten Methodik und bis auf den Energiewirtschafts- und Gebäudesektor auch bei den genutzten Daten ergeben. Diese Änderungen sind zum einen auf nicht immer gleichbleibende Veröffentlichungszeitpunkte von Hersteller- und Verbandsdaten zurückzuführen, die für die Berechnungen für den Industriesektor verwendet werden. Dadurch sind die Datengrundlage und somit auch die Berechnungsmethode jedes Jahr davon abhängig, welche Daten bereits vorliegen. In der Berichterstattung für das Jahr 2021 war die Datengrundlage im Industriesektor umfangreicher als für das Jahr 2020. Im Industrie- und Gebäudesektor gab es zudem methodische Anpassungen, welche auf große Änderungen in den Absätzen an Gas und Mineralöl zwischen vorläufiger und endgültiger Energiebilanz der AGEB für das Jahr 2020 zurückzuführen sind. Die vorläufige Energiebilanz ist Grundlage für das Nationale Treibhausgasinventar, welches letztes Jahr als Grundlage für die Berechnung der Absätze an Gas und Mineralöl gedient hat. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 war bereits bekannt, dass die Inventardaten veraltet sind und nicht genutzt werden sollten. Die methodischen Änderungen sind deswegen als nachvollziehbar und plausibel einzuschätzen (siehe RZ 14 für mehr Details). In einigen Sektoren konnte die Methode verbessert werden, u. a. indem zusätzliche oder aktualisierte Modellrechnungen genutzt wurden. Dies trifft vor allem auf den Verkehrs- und Landwirtschaftssektor zu, während die Modelländerungen im Sektor LULUCF eher geringe Auswirkungen auf das Ergebnis hatten. Im Landwirtschaftssektor gab es durch die Verwendung des neuen nationalen Emissionsfaktors für Lachgasemissionen in Folge der Ausbringung stickstoffhaltiger Substrate anstelle des Default-Emissionsfaktors eine Verbesserung der Berechnung der Vorjahresemissionen.
- 26 Insgesamt hat sich an der Aussage des Fazits gegenüber dem Prüfbericht 2021 nichts geändert (ERK 2021b). Nur ein Teil der für die Berechnung der Vorjahresemissionen herangezogenen Daten beruht auf statistischen Daten und auch diese haben teilweise noch einen vorläufigen Charakter. Insbesondere bei der Aufteilung sektorenübergreifender Primärdaten auf einzelne im Bundes-Klimaschutzgesetz definierte Sektoren müssen in vielfältiger Form Annahmen getroffen werden. Das methodische Vorgehen des Umweltbundesamtes zur Ermittlung der Emissionsdaten für die Berechnung der Vorjahresemissionen ist konsistent mit der Inventarberichterstattung der Treibhausgase. Aufgrund des vorläufigen Charakters der genutzten Datenquellen sind allerdings zusätzliche methodische Anpassungen bei der Bearbeitung der Daten gegenüber dem Nationalen Treibhausgasinventar erforderlich.
- 27 Die Aussagekraft der Berechnung der Vorjahresemissionen ist durch die mangelnde Verfügbarkeit von Datenquellen zum frühen Zeitpunkt ihrer Erarbeitung gegenüber späteren Versionen der Nationalen Treibhausgasinventare grundsätzlich eingeschränkt. Die vom Umweltbundesamt veröffentlichten Emissionsdaten für das Jahr 2021 müssen in allen Sektoren und in der Summe als vorläufig betrachtet

werden. Auf Grundlage der bisherigen Erfahrungen kann erwartet werden, dass es mindestens bis zur ersten Berichterstattung im Rahmen der Nationalen Treibhausgasinventare über das Jahr 2021 im Jahr 2023 noch zu Anpassungsbedarf an den in der Berechnung der Vorjahresemissionen genannten Zahlen kommen wird (siehe Kapitel 4.1).

- 28 Insgesamt erscheint das Vorgehen des Umweltbundesamtes vor dem Hintergrund der Rahmenbedingungen bei der Erstellung der Berechnung der Vorjahresemissionen sowie der eingeschränkten Datenlage der Aufgabenstellung angemessen. Nach derzeitigem Kenntnisstand nutzt das Umweltbundesamt alle dem Expertenrat für Klimafragen bekannten, relevanten und zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen verfügbaren Daten.

3 Prüfung

3.1 Vorgehensweise bei der Prüfung der Berechnung der Vorjahresemissionen

- 29 In der Berechnung der Vorjahresemissionen weist das Umweltbundesamt Emissionen für Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄) für zahlreiche Quellgruppen aus. Zusätzlich sind energiebedingte, brennstoffspezifische CO₂-Emissionen sowie die Emissionen aus fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) angegeben. In Summe enthält die Berechnung der Vorjahresemissionen Emissionsangaben zu 92 Einzelkategorien. Die verwendeten Daten und Methoden unterscheiden sich dabei je Treibhausgas und Quellgruppe. Für viele Quellgruppen werden zudem eine Vielzahl von Datenquellen und komplexe Modelle genutzt, um die Emissionen zu bestimmen. In den Kapitel A.1 des Technischen Begleitdokuments (ERK 2022) wird das Vorgehen des Umweltbundesamtes bei der Berechnung der Emissionsdaten beschrieben. Wesentliche Aspekte davon, insbesondere die Änderungen gegenüber dem Vorjahr in Bezug auf verwendete Datenquellen sowie der Vorgehensweise bei der Berechnung der Vorjahresemissionen sind in Kapitel 2.2 dargestellt. Eine vollständige, systematische Dokumentation aller Datenquellen und Rechenschritte für den komplexen Vorgang der Vorjahresberichtserstellung ist nicht leistbar. Vor dem Hintergrund der begrenzten Zeit für die Erstellung dieses Prüfberichts sowie der beschriebenen Komplexität ist eine eingehende Prüfung der gesamten Berechnung der Vorjahresemissionen nicht möglich.
- 30 Zur Erhärtung der in Kapitel 2 beschriebenen Gesamteinschätzung wurden stichprobenartige Detailprüfungen für einzelne Sektoren und Quellkategorien vorgenommen: Zum einen in dem Sektor, der auch im Jahr 2020 das im Bundes-Klimaschutzgesetz gesetzte Emissionsziel nicht erreicht hat (Sektor Gebäude), zum anderen in den Sektoren, die für 2020 noch nicht eingehend geprüft wurden (Landwirtschaft und Industrie), sowie im Verkehrssektor. Des Weiteren wurde mit der Hilfe des Umweltbundesamtes die Plausibilisierung der Bottom-up-Emissionsberechnungen anhand einer Top-down-Betrachtung über den Primärenergieverbrauch nachvollzogen.
- 31 Zur stichprobenartigen Prüfung der Treibhausgasemissionen wurden zwei unterschiedliche Ansätze genutzt. In den Sektoren Industrie (CRF-Kategorie 1.A.2), Gebäude (CRF-Kategorien 1.A.4.a i, 1.A.4.b i,) und Verkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.b) wurde die Rechnung im persönlichen Austausch mit dem Umweltbundesamt nachvollzogen und im Nachgang anhand vonseiten des Umweltbundesamtes bereitgestellten Unterlagen die Berechnung schrittweise nachvollzogen und nachgerechnet. Eine methodische Anpassung hinsichtlich des Erdgasabsatzes, die die Sektoren Gebäude und Industrie betrifft, wurde ebenfalls umfassend erklärt und ist in Kapitel 2.2, insbesondere RZ 14, ausführlich dargestellt. Die eingehende Prüfung der Sektoren hat keine darüber hinausgehenden Erkenntnisse erbracht. Für den Sektor Landwirtschaft (CRF-Kategorien 3.A, 3.B, 3.D) erfolgte die Überprüfung im persönlichen Austausch mit dem Thünen-Institut für Agrarklimaschutz und dem Umweltbundesamt. Im Gebäude-, Verkehrs- und Industriesektor wurde die Berechnung der CO₂ Emissionen geprüft. Im Landwirtschaftssektor lag der Fokus auf Methan und Lachgas, da CO₂ hier nur eine untergeordnete Rolle in Bezug auf die Emissionshöhe spielt. Das Ziel der stichprobenartigen Prüfung bestand jeweils darin, die korrekte Verwendung der Primärdaten sowie eine fehlerfreie Rechenlogik festzustellen. Im Landwirtschaftssektor wurde zudem vertiefend das System zum Qualitätsmanagement der Berechnung

der Vorjahresemissionen begutachtet. Für eine Diskussion der vom Umweltbundesamt angewendeten Methode zur Berechnung der Emissionen des jeweiligen Sektors sowie der Neuerungen in Daten und Methoden im Emissionsjahr 2021 wird auf Kapitel 2.2 in diesem Dokument und Kapitel A.1 im Technischen Begleitdokument verwiesen. Ausführliche Prüfschemata für die geprüften Sektoren sind zusätzlich in Kapitel A.4 des Technischen Begleitdokumentes zu finden.

3.2 Stichprobenhafte Prüfung einzelner CRF-Kategorien

3.2.1 Prüfungen im Industriesektor (CRF-Kategorien 1.A.2)

32 Die Prüfung im Industriesektor umfasste die CO₂-Emissionen aus Verarbeitendem Gewerbe und Industriellen Feuerungen (CRF-Kategorie 1.A.2). Diese entsprechen 68 % der Gesamtemissionen des Sektors. Zunächst wurde die Berechnung in einem Termin mit dem Umweltbundesamt gemeinsam nachvollzogen. Anschließend wurden die Berechnungen in der Excel-Datei, in der diese vorgenommen wurden, im Detail geprüft. Soweit möglich wurde der richtige Übertrag der Primärdaten bestätigt. Alle Berechnungen, die vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt wurden, konnten direkt nachgerechnet werden, sodass bestätigt werden kann, dass die Berechnungen keine relevanten Fehler beinhalten. Zudem wurde die Einschätzung aus Kapitel 2 bestätigt, dass das Vorgehen des Umweltbundesamtes als sinnvoll eingestuft werden kann, da alle bekannten Daten in ihrer aktuellsten verfügbaren Form genutzt wurden und zur Plausibilisierung der Aktivitätsdaten der Brennstoffmengen oder Emissionsfaktoren Berücksichtigung fanden. Freiheitsgrade in der Berechnung bestehen unter anderem durch Anpassungen der Aktivitätsdaten, die vorgenommen wurden, um unplausible Daten zu korrigieren. In diesen Fällen wurden Korrekturen basierend auf weiteren Datenquellen sowie Zeitreihenanalysen durchgeführt (ausführliche Erläuterungen zur Methodik sind in Kapitel 2.2 nachzulesen). Hätte man die Korrekturen nicht oder anders vorgenommen, hätte man zu einem anderen Ergebnis kommen können. Allerdings wurden sie schlüssig begründet und sind nachvollziehbar. Der Expertenrat für Klimafragen kommt nicht zu der Einschätzung, dass ein anderes Vorgehen sinnvoller gewesen wäre. Tabelle 3 im technischen Begleitdokument zeigt eine zusammenfassende Übersicht der Prüfung der CRF-Kategorie 1.A.2.

3.2.2 Prüfungen im Gebäudesektor (CRF-Kategorien 1.A.4.a.i und 1.A.4.b.i)

33 Die Prüfung der Emissionen im Gebäudesektor umfasste die CO₂-Emissionen aus stationären Feuerungsanlagen in Haushalten sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD). Diese entsprechen 98 % der Gesamtemissionen dieses Sektors. Die Prüfung erfolgte in zwei Schritten. In einem Prüftermin, welcher als Videokonferenz stattfand, wurde die Berechnung der Emissionen Schritt für Schritt erklärt. Im Anschluss wurde die Excel-Tabelle zur Berechnung zur Verfügung gestellt und konnte nachvollzogen werden. Auch der richtige Übertrag der Primärdaten wurde überprüft. Insgesamt kann bestätigt werden, dass richtig gerechnet wurde, und dass, wie in Kapitel 2 dargelegt, die genutzten Methoden einschließlich der methodischen Änderungen plausibel sind und alle bekannten Daten genutzt wurden (siehe Kapitel 2.2, RZ 15 und 16). Tabelle 4 im Technischen Begleitdokument zeigt eine zusammenfassende Übersicht der Prüfung der CRF-Kategorie 1.A.4 a/b i.

3.2.3 Prüfungen im Verkehrssektor (CRF-Kategorien 1.A.3.b)

- 34 Die stichprobenhafte Prüfung im Verkehrssektor umfasste die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs. Diese entsprechen 97 % der Gesamtemissionen im Verkehrssektor. Die Emissionen wurden auf Basis der Absatzzahlen der Mineralölstatistik nachvollzogen und nachgerechnet. Der Straßenverkehr stellt, nach Abzug der Treibstoffmengen, die den anderen relevanten Verbrauchern im Verkehrssektor (Schienen- und Schiffsverkehr) sowie derjenigen Treibstoffmengen, die dem Industrie-, Landwirtschafts- und Gebäudesektor zugeordnet werden, einen Restposten dar. Die Treibstoffmengen, die anderen Sektoren zugeordnet werden (3 % der sektorspezifischen Treibhausgasemissionen), wurden innerhalb des Prüfprozesses keiner eingehenden Prüfung unterzogen. Die angewendete Methode ist hinsichtlich der Datenverfügbarkeit als sinnvoll einzuschätzen. Die größte Unsicherheit der Berechnung liegt folglich in der Vorläufigkeit der Amtlichen Mineralöldata. Auf dieser Basis konnten 99 % der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr nachvollzogen und bestätigt werden. Tabelle 5 im Technischen Begleitdokument zeigt eine zusammenfassende Übersicht der Prüfung der CRF-Kategorie 1.A.3.b.

3.2.4 Prüfungen im Landwirtschaftssektor (CRF Kategorien 3.A, 3.B, 3.D)

- 35 Die Prüfung im Landwirtschaftssektor umfasste die Methan- und Lachgas-Emissionen dieses Sektors. Im Landwirtschaftssektor werden die Emissionen mit Ausnahme der CRF-Kategorie 1.A.4.c (stationäre und mobile Feuerung in der Landwirtschaft) am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz mithilfe des institutseigenen, nicht öffentlichen Modells Py-GAS-EM berechnet und die Ergebnisse an das Umweltbundesamt übergeben. In Gesprächen mit dem Thünen-Institut für Agrarklimaschutz und dem Umweltbundesamt wurde das Vorgehen bei der Berechnung der Vorjahresemissionen nachvollzogen. Zusätzlich zu den vom Umweltbundesamt bereitgestellten Dokumenten lag dafür der Thünen-Report 91 (Vos et al. 2022) vor, der die Vorgehensweise für die Berechnung der Emissionen des Nationalen Treibhausgasinventars sowie die Änderungen zum Vorjahr detailliert beschreibt. Des Weiteren wurde in einem Vor-Ort-Termin Einblick in die Datenbank des Umweltbundesamtes „Zentrales System Emissionen“ mit Bezug auf den Landwirtschaftssektor gewährt.
- 36 Der Fokus der Prüfung lag auf den CRF Kategorien Fermentation bei der Verdauung (3.A), Wirtschaftsdünger-Management (3.B) und landwirtschaftliche Böden (3.D). Gemeinsam machen diese drei Kategorien rund 83 % der Emissionen im Landwirtschaftssektor aus. In die Berechnung der Emissionen für das Jahr 2021 geht eine Vielzahl der vom Statistischen Bundesamt erfassten Statistiken ein, die öffentlich verfügbar sind (siehe Tabelle 5).
- 37 In Gesprächen hat das Thünen-Institut die Änderungen in der Methodik und in den zugrundeliegenden Datensätzen erläutert. Zusätzlich sind diese Aktualisierungen ausführlich im Thünen-Report 91 (Vos et al. 2022) und im Nationalen Inventarbericht (UBA 2022c) beschrieben. Bei den Änderungen handelt es sich um nachvollziehbare und sinnvolle Verbesserungen, die auf aktualisierten Daten und auf neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen (Mathivanan et al. 2021) basieren. Für diesen Prüfbericht wurde kein Einblick in das Py-Gas-EM Modell genommen, mit dem das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz die Emissionen berechnet, weswegen die konkreten Rechenschritte nicht geprüft werden konnten.
- 38 Im Rahmen der Prüfung wurde die zukünftige Nutzung von alternativen Vergleichsdaten wie von deutschlandweiten, unabhängigen Treibhausgasmessnetzwerken oder Fernerkundungsprodukten besprochen. Zur Verbesserung der Emissionsberechnung wird laut Thünen-Institut für

Agrarklimaschutz die Nutzung solcher unabhängig erhobenen Daten mittelfristig mit konkreten Forschungsprojekten angestrebt.

- 39 Für das Qualitätsmanagement gibt es sowohl am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz als auch am Umweltbundesamt festgelegte und intern dokumentierte Vorgehensweisen. Am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz wird mit dem Vier-Augen-Prinzip an dem Modell und mit Checklisten zur Qualitätssicherung gearbeitet. Nach Übergabe der Daten in die Datenbank des Umweltbundesamtes (Zentrales System Emissionen) wird ein Plausibilitätscheck durchgeführt. Des Weiteren werden Berechnungen der Emissionen sowohl am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz als auch am Umweltbundesamt mit den Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren im Zentralen System Emissionen durchgeführt und abgeglichen. Die Trendtabellen der Treibhausgasemissionen (UBA 2022d) werden direkt vom Zentralen System Emissionen ausgegeben.
- 40 Der Landwirtschaftssektor zeichnet sich durch eine hohe Unsicherheit der sektoralen Treibhausgasemissionen von rund 25 % ($\pm 15,1$ Mt CO₂-Äq.) aus, aufgeteilt in Unsicherheiten der Emissionsfaktoren (24 %) und der Aktivitätsdaten (5 %). Hinzu kommt ein im Vergleich mit den übrigen Sektoren hoher durchschnittlicher Korrekturbedarf in Höhe von rund 5 %⁷ (Kapitel 4.2 & Kapitel 4.3). Den größten Einfluss auf den Korrekturbedarf hatten dabei methodische Änderungen der Annahmen hinter relevanten Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten der Nicht-CO₂-Emissionen. Zudem werden im Jahr 2023 die Treibhausgaspotenziale der Nicht-CO₂-Emissionen an die des Fünften Sachstandsberichts (IPCC 2014) angepasst (RZ 9). Vor diesem Hintergrund muss der im Bundes-Klimaschutzgesetz (§ 4 Abs. 5 KSG) definierte Ausgleichsmechanismus über eine Zielwertanpassung der zulässigen Jahresemissionsmengen bewertet werden (Kapitel 5.2 & Kapitel 6.2.3). Die vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz durchgeführten Änderungen in den Daten und in der Methodik konnten nachvollzogen werden und werden als sinnvoll erachtet. Das Qualitätsmanagement konnte ebenfalls nachvollzogen werden und wird als wirksam erachtet. Tabelle 6 im Technischen Begleitdokument zeigt eine Zusammenfassung der Prüfung im Landwirtschaftssektor.

3.3 Prüfung der iterativen Fehlerkorrektur impliziter brennstoffbezogener Emissionsfaktoren

- 41 Das Umweltbundesamt berichtet die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (1.A) auf Basis der Bottom-Up ermittelten sektorspezifischen Aktivitätsdaten, welche anhand der Primärdaten validiert wurden. Die für die Bottom-up-Schätzung verwendeten impliziten Emissionsfaktoren entsprechen den Emissionsfaktoren des vorangegangenen Nationalen Treibhausgasinventars. Es liegen keine Erkenntnisse vor, dass von diesen abgewichen werden sollte.
- 42 Zur Prüfung und Plausibilisierung der Bottom-up-Schätzungen nutzt das Umweltbundesamt eine Top-down-Berechnung der impliziten Emissionsfaktoren auf Basis der im März herausgegebenen Energiebilanz (AGEB 2021b; 2022b). Aus den Abweichungen zwischen den impliziten Emissionsfaktoren

⁷Der durchschnittliche Korrekturbedarf bezieht sich auf die Emissionsjahre 2010–2020 und ist definiert als die durchschnittliche betragliche Korrektur zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen und der ersten stabilen Schätzung. Nähere Ausführungen zu Methode und Zielsetzung der Analyse der historischen Korrekturbedarfe sowie zur Feststellung der ersten stabilen Schätzung (das zweite auf die Berechnung der Vorjahresemissionen nachfolgende Treibhausgasinventar (t+3)) sind in Kapitel 4.1 sowie in (ERK 2022, Kapitel A.2) enthalten.

auf Basis der Bottom-up- und der Top-down-Berechnungen lassen sich zusätzliche Implikationen und Auffälligkeiten einzelner Brennstoffe ableiten. Diese können darauf hindeuten, dass es noch zu weiteren Anpassungen der Aktivitätsdaten und folglich zu höheren, nachträglichen Korrekturen in nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventaren kommen kann. Diese treten vornehmlich aufgrund von Abgrenzungsproblemen in den Sektoren Industrie und Gebäude auf (ERK 2022, Kap.3.2.1). Dennoch hat das Umweltbundesamt anders als in den Vorjahren keine Korrekturen auf Basis der Top-down-Berechnung in Verbindung mit Expert:innenwissen bezüglich der Bottom-up-Schätzung vorgenommen. Dieses Vorgehen erhöht zwar die Konsistenz der vorgelegten Daten, allerdings auf Kosten eines eventuellen höheren nachträglichen Korrekturbedarfs zum nachfolgenden Treibhausgasinventar (Kapitel 4.1)

- 43 Die Plausibilisierung der Bottom-up-Daten der diesjährigen Berechnung der Vorjahresemissionen weist Auffälligkeiten des impliziten Emissionsfaktors in Bezug auf den Mineralölverbrauch auf, da dieser Faktor unter dem Minimum der Jahre 2009 bis 2019 liegt. Ein vergleichbarer impliziter Emissionsfaktor trat laut Umweltbundesamt im Jahr 2007 auf, welcher auf einen deutlichen Heizölrückgang durch die Erhöhung der Mehrwertsteuer zurückzuführen ist. Auch scheint laut Expert:inneninterview der implizite Emissionsfaktor für Erdgas auffällig zu sein. Dies weist mitunter auf eine statistische Differenz zwischen Bottom-up-Daten und dem Primärenergieverbrauch hin, die zu nachträglichen Korrekturen der Emissionswerte führt. Hiervon sind insbesondere die Bereiche Industrie, Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen betroffen, bei denen aufgrund der zum Zeitpunkt der Erstellung vorherrschenden Datenlage Schwierigkeiten in der sektoralen Abgrenzung bestehen.
- 44 Da die Feststellung zur Zielerreichung durch den Expertenrat für Klimafragen auf Basis der vorläufigen Daten erfolgt, haben anschließende Korrekturen keine direkte Implikation auf die Zielverfehlung bzw. -erreichung des Emissionsjahres, aber können gegebenenfalls die Zielwerte für künftige Jahre nach dem im Bundes-Klimaschutzgesetz (§ 4 Abs. 5 KSG) definierten Ausgleichsmechanismus beeinflussen.

3.4 Fazit zur Prüfung

- 45 Im Rahmen der stichprobenartigen Auseinandersetzung mit der komplexen Methodik zur Erstellung der Berechnung der Vorjahresemissionen wurde deutlich, dass bei der Erstellung der Emissionsdaten teilweise Freiheitsgrade bei einzelnen Prozessschritten bestehen. Die Setzungen beruhen bisweilen auf langjährigem Expert:innenwissen der verschiedenen Mitarbeitenden des Umweltbundesamtes und werden auf vielfältige Weise durch zusätzliche Datenquellen und den Vergleich mit Daten aus vorherigen Jahren plausibilisiert. Die getroffenen Annahmen, die Vorgehensweise und die Methodik wurden dem Expertenrat für Klimafragen auf Nachfrage an verschiedenen Beispielen ausführlich und transparent erläutert. Insgesamt kann bestätigt werden, dass das Umweltbundesamt zu keinem anderen Ergebnis hätte kommen müssen.

4 Gütebetrachtung

4.1 Allgemeine Überlegungen

- 46 Die sektoralen Emissionen im Nationalen Treibhausgasinventar und insbesondere in der Berechnung der Vorjahresemissionen stellen keine Messwerte dar, sondern Schätzungen, die vielfach auf vorläufigen Datenquellen basieren. Dabei stellt die fehlende Kenntnis des wahren Wertes einer Variable ihre Gesamtunsicherheit dar. Dabei kann die Genauigkeit der Schätzung sowohl durch zufällige Fehler als auch durch systematische Verzerrungen beeinflusst werden. Diese beiden Konzepte sind unabhängig voneinander zu betrachten. Der Umfang der Stichprobe ist an die Datenverfügbarkeit gekoppelt. Somit führt eine geringe Datenverfügbarkeit zu höherer Ungenauigkeit der Schätzung, also zu einer Zunahme an zufälligen Fehlern. Im Gegensatz dazu können systematische Verzerrungen aufgrund von Instrumentenfehlern auftreten oder wenn nicht alle relevanten Prozesse in Bezug auf räumliche oder zeitliche Abdeckung erfasst werden (IPCC 2006).
- 47 Daraus ergeben sich zwei wichtige Fragen an die Güte der in der Berechnung der Vorjahresemissionen ausgewiesenen Emissionsdaten für die einzelnen Sektoren: (1) In welchem Umfang muss mit nachträglichen Korrekturen der Emissionsschätzungen gerechnet werden, sofern zu einem späteren Zeitpunkt detailliertere und präzisere Ausgangsdaten für das Jahr 2021 vorliegen? und (2) Wie präzise trifft die Berechnung der Vorjahresemissionen den wahren, unbeobachteten Emissionswert? Einer Antwort auf die erstgenannte Frage wird sich in Kapitel 4.2 genähert. Zunächst werden die bisherigen Korrekturbedarfe der Berechnungen der Vorjahresemissionen im Längsschnitt statistisch analysiert. Des Weiteren werden die Korrekturen zwischen den Emissionsschätzungen im Rahmen der Berechnung der Vorjahresemissionen und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar für das Emissionsjahr 2020 analysiert. Für die Beantwortung der zweiten Frage erfolgt eine Analyse der Angaben zu sektorspezifischen und sektorenübergreifenden Unsicherheiten des Umweltbundesamtes (UBA 2022c) (Kapitel 4.3) sowie ein statistischer Vergleich der Unsicherheiten mit dem beobachteten historischen Korrekturbedarf (Kapitel 4.4).

4.2 Korrekturbedarfe

4.2.1 Zielsetzung und Betrachtung historischer Korrekturbedarfe

- 48 Die Qualität der berichteten Emissionsdaten nimmt im Zeitverlauf ausgehend von der Berechnung der Vorjahresemissionen (t+1)⁸ als erster Wert der Emissionsdaten hin zu den nachfolgenden Treibhausgasinventaren aufgrund der zunehmenden Verfügbarkeit aktueller Daten zu. Daraus ergeben sich im Vergleich der Emissionsdaten zur Berechnung der Vorjahresemissionen regelmäßig signifikante Korrekturbedarfe. Dabei berichtet die Berechnung der Vorjahresemissionen nur die

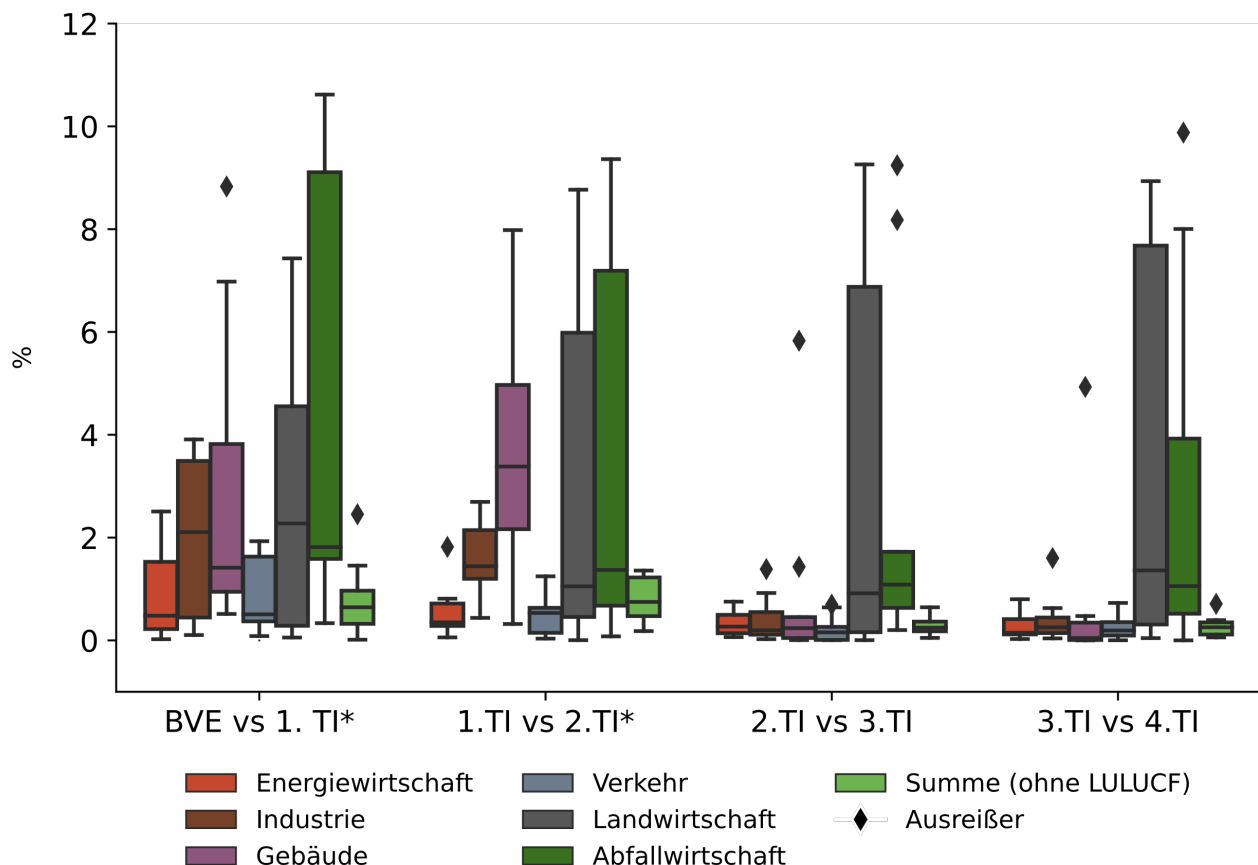
⁸ Die Berechnung der Vorjahresemissionen wird, wie in Kapitel 2 dargestellt, zum 15.03. des dem Emissionsjahr folgenden Jahres veröffentlicht (t+1). Das zum Emissionsjahr korrespondierende Nationale Treibhausgasinventar wird jedoch erst mit einem zeitlichen Versatz von 2 Jahren (t+2) veröffentlicht. Im Rahmen der nachfolgenden Analyse wird das Treibhausgasinventar, welches drei Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert wird (t+3), als erste stabile Schätzung und als zweites nachfolgendes Treibhausgasinventar bezeichnet.

Treibhausgasemissionen des zurückliegenden Jahres, wohingegen die Nationalen Treibhausgasinventare Emissionsdaten für die komplette Zeitreihe der Jahre ab 1990 bis zum aktuellen Emissionsjahr 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 Emissionen im Zeitverlauf erhöht und somit eine spätere Emissionsschätzung für dasselbe Emissionsjahr ein Gütekriterium darstellt (ERK 2022, Kapitel A.2).

- 49 Um die Güte der Berechnung der Vorjahresemissionen zu bewerten, wurde im Rahmen des letzten Prüfberichts des Expertenrats für Klimafragen 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. Die Korrekturen aufeinanderfolgender Treibhausgasinventare sowie die Korrekturen von der Berechnung der Vorjahresemissionen zur ersten stabilen Schätzung (t+3) werden dabei sowohl auf sektoraler Ebene als auch aggregiert ab dem Emissionsjahr 2010 analysiert. Für den aktuellen Bericht wurde eine Aktualisierung und Ergänzung um das Emissionsjahr 2020 vorgenommen (siehe (ERK 2022, Kapitel A.2.1))
- 50 Wie bereits im Prüfbericht 2021 (ERK 2021b) festgestellt, gibt die Betrachtung der historischen sektoralen Erhöhungen und Reduktionen der Treibhausgasemissionen durch nachträgliche Korrekturen im Rahmen der Inventarberichterstattung der Treibhausgase keinen Anlass zur Annahme einer systematischen Über- oder Unterschätzung der Treibhausgasemissionen (ERK 2021b, RZ79). In den Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft besteht ein nahezu gleichmäßiges Verhältnis von Emissionserhöhungen und -reduktionen, wohingegen für die Sektoren Gebäude und Industrie die historischen Emissionsmengen häufiger nach unten korrigiert wurden. Weiter unterscheidet sich in jedem Sektor die Höhe der relativen Korrekturbedarfe sowie deren Richtung im zeitlichen Verlauf (ERK 2022, Kapitel A.2.1.1).
- 51 Die Korrekturbedarfe nehmen in der Regel historisch ab, je weiter die berichteten Emissionsdaten und das Emissionsjahr auseinander liegen (siehe Abbildung 3). Sowohl die sektoralen als auch die Gesamtemissionen wurden nach dem zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) im Regelfall nur noch geringfügig nachträglich korrigiert. Für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr betragen die mittleren Korrekturen unter 0,5 %, im Gebäudesektor 1 % und in der Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges unter 3 % (UBA 2022a) (ERK 2021b).
- 52 Das Nationale Treibhausgasinventar, welches drei Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert wird (t+3), kann somit erneut als erste stabile Emissionsschätzung ausgewiesen werden. Diese Feststellung durch den Expertenrat für Klimafragen im Prüfbericht 2021 wird bestätigt (ERK 2021b). Folglich sollten alle vorherigen Emissionsdaten aufgrund vorläufiger, maßgeblicher Datenquellen unter dieser Prämisse bewertet werden. Diese Erkenntnisse sind auch auf die Berechnung der Vorjahresemissionen 2022 übertragbar. Daher kann für die sektoralen Emissionsdaten mindestens bis zum zweiten auf das Emissionsjahr folgenden Nationalen Treibhausgasinventar (t+3) für das Jahr 2021 mit nachträglichen Korrekturen gerechnet werden. Dieses wird im Jahr 2024 zur Verfügung stehen.
- 53 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 (Methan-, Lachgasemissionen) sowie eine zum Teil mit großer Zeitverzögerung berichtete Datenlage (Destatis

2021a; 2019; 2018). Es kann daher gerade in diesen Sektoren auch nach dem zweiten nachfolgenden Nationalen Treibhausgasinventar (t+3) zu substantziellen Korrekturen der Nicht-CO₂-Emissionen und somit auch der CO₂-äquivalenten Emissionen kommen.

Abbildung 3: Relative Korrekturbedarfe (der Beträge) der Emissionsdaten gegenüber der jeweils vorgegangenen Emissionsschätzung der Emissionsjahre 2010–2020



*Für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges sind einzelne Ausreißer über 25 % durch die gewählte Skalierung abgeschnitten.

Eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen (BVE) und der Treibhausgasinventare (TI) des Umweltbundesamtes der Emissionsjahre 2010–2021.

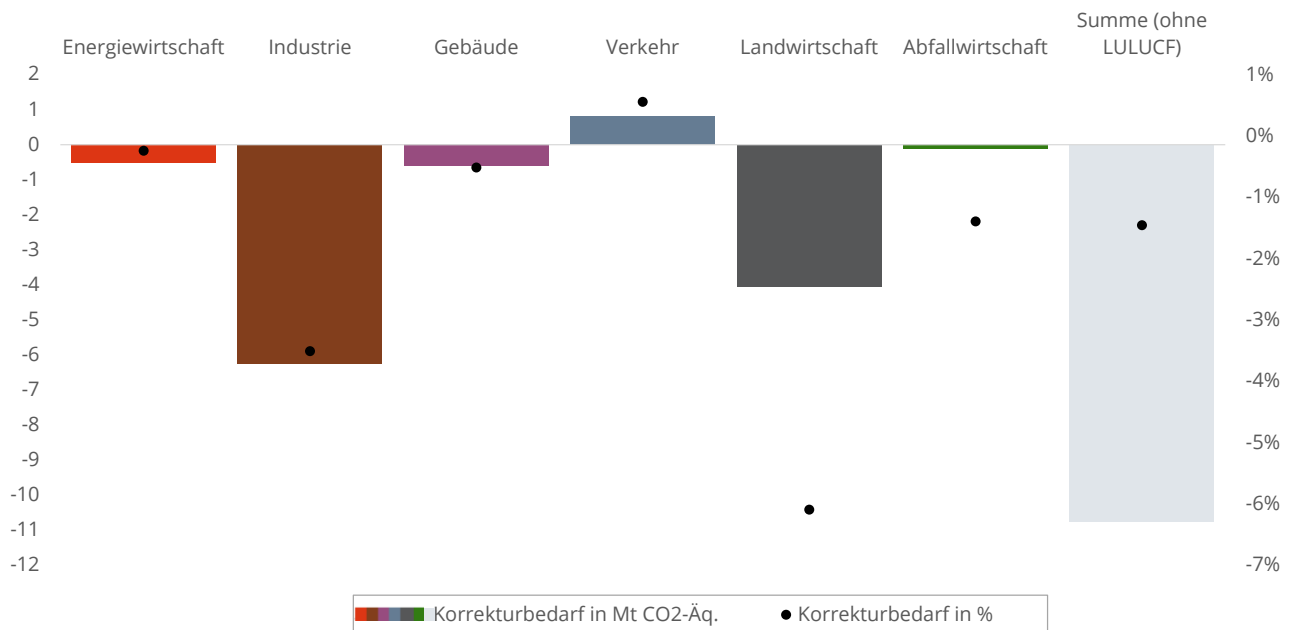
4.2.2 Korrekturbedarf für das Emissionsjahr 2020

54 Der nachträgliche Korrekturbedarf für das Emissionsjahr 2020 zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen 2021 und dem Nationalen Treibhausgasinventar 2022 ist in Abbildung 4 dargestellt. Die ausgewiesenen Gesamtemissionen zwischen den beiden Emissionsberechnungen wurden mit Veröffentlichung des nachfolgenden Treibhausgasinventars (t+2) um 10,8 Mt CO₂-Äq. reduziert, was eine Verringerung der Gesamtemissionen um 1,5 % bedeutet. Die sektoralen Korrekturen teilen sich dabei wie folgt auf die verschiedenen Sektoren auf: Eine Reduzierung der ausgewiesenen Emissionen in der Energiewirtschaft um 0,5 Mt CO₂-Äq. (0,2 %); eine Reduzierung der Emissionen im Industriesektor in Höhe von 6,2 Mt CO₂-Äq. (3,5 %); eine Reduzierung der Emissionshöhe für den Sektor

Gebäude um 0,6 Mt CO₂-Äq. (0,5 %); eine Erhöhung der Emissionen im Sektor Verkehr um 0,8 Mt CO₂-Äq. (0,6 %); eine Reduktion der Emissionen in der Landwirtschaft um 4,1 Mt CO₂-Äq. (6,1 %) und eine Reduktion der Emissionen in der Abfallwirtschaft und Sonstiges in Höhe von 0,1 Mt CO₂-Äq. (1,4 %). Hierbei lassen sich die nachträglichen sektoralen Korrekturen auf unterschiedliche Gründe zurückführen.

- 55 Der größte Einfluss auf die nachträglichen Korrekturen in der Industrie war laut Umweltbundesamt eine negative Differenz (59 PJ) in der ausgewiesenen Erdgasmenge zwischen vorläufiger und endgültiger Energiebilanz der AGEB für das Jahr 2020. Diese lässt sich unter anderem auf Sondereffekte und eine erschwerte Zuordnung der Energiemengen zu den einzelnen Sektoren zurückführen und hat zu einer Rückrechnung in Höhe von 3,6 Mt CO₂-Äq. in der Kategorie Verarbeitendes Gewerbe des Industriesektors und zu weiteren Rückrechnungen im Gebäudesektor geführt (siehe Kapitel 2.2, 3.2.1 und 3.2.2). Die methodische Änderung zur Abschätzung der Erdgasabsätze auf Basis der BDEW-Daten, wie in RZ 14 und RZ 15) beschrieben, lässt sich auf diese statistische Abweichung zurückführen. Des Weiteren kam es zu einer nachträglichen Korrektur und Verringerung der Emissionen um rund 1,4 Mt CO₂-Äq. in der Metallindustrie durch eine Verschiebung in der Produktion von Roheisen zu Sintern, welche im Rahmen der Berechnung der Vorjahresemissionen aufgrund der noch unvollständigen Daten unterschätzt worden war. Korrekturen in den übrigen CRF-Kategorien haben zusätzlich zu weiterer Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Industriesektor in Höhe von 1,3 Mt CO₂-Äq. geführt.
- 56 Im Sektor Landwirtschaft lassen sich die nachträglichen Korrekturen auf zwei unterschiedliche Gründe zurückführen. Die Anwendung neuer nationaler Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen führte, im Rahmen der Rückrechnung der Emissionen, zu einer Minderung von 5,7 Mt CO₂-Äq. in der Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm und Gärresten und aus Ernterückständen in der CRF-Kategorie Landwirtschaftliche Böden (3.D) (Mathivanan et al. 2021) (RZ 22, Kapitel 2.2 und RZ 39, Kapitel 3.2.4). Es kam allerdings auch zu einer Erhöhung der berechneten Emissionen im Landwirtschaftssektor um rund 1,7 Mt CO₂-Äq., welche sich nach Erkenntnissen des Umweltbundesamtes auf höhere als die angenommenen Tierzahlen zurückführen lassen (Destatis 2021b).
- 57 Die Erhöhung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor lässt sich laut Umweltbundesamt auf ein höheres als das angenommene Verkehrsaufkommen im Emissionsjahr und somit auf die Vorläufigkeit der Amtlichen Mineralölzeiten zurückführen (siehe RZ 34; Kapitel 3.2.3). Die nachträgliche Korrektur im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges lässt sich durch geänderte Annahmen bezüglich der sektorspezifischen Konsolidierung der Dichte von Methan sowie einer Aktualisierung statistischer Daten erklären (UBA 2022c).
- 58 Die wesentlichen Gründe für die hier berichteten Korrekturbedarfe sind vor allem in der Vorläufigkeit der zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionen des Vorjahres vorliegenden Datenquellen (Energiebilanz der AGEB, Produktionszahlen der Industrieverbände, Tierzahlen) begründet. Zusätzlich bedingte die methodische Änderung des Emissionsfaktors für Lachgasemissionen weitere signifikante Korrekturen, die in der Landwirtschaft die Anpassungen der Treibhausgasemissionen aufgrund der Tierbestände überkompensierte, und in Summe zu einer deutlichen Korrektur nach unten führte. Bis zur ersten stabilen Schätzung für das Emissionsjahr 2020 im Jahr 2023 kann mit weiteren sektoralen Korrekturen gerechnet werden.

Abbildung 4: Absolute und relative Korrektur der Emissionsdaten zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen (t+1) und dem nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+2) für das Emissionsjahr 2020



Eigene Darstellung auf Basis eigener Berechnungen zu der Berechnung der Vorjahresemissionen 2021 und des Nationalen Treibhausgasinventars 2022 des Umweltbundesamtes. Korrekturen werden in Einheiten von Mt CO₂-Äq. (linke Achse, Balken) und als Prozentanteil der sektorspezifischen Emissionen (rechte Achse, Punkte) dargestellt.

4.3 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Emissionsberechnung 2021

59 Zusätzlich zu den Emissionsdaten identifiziert das Umweltbundesamt sektorspezifische und sektorenübergreifende Unsicherheitsbereiche der Treibhausgasemissionen. Das Umweltbundesamt führt dementsprechend Unsicherheitsschätzungen aller Quellgruppen und Senken im Rahmen der Nationalen Inventarberichterstattung durch (UBA 2022c).⁹

60 In Tabelle 8 sind die vom Umweltbundesamt angegebenen sektorspezifischen Unsicherheiten dargestellt, aufgeteilt nach Unsicherheiten bei den Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und auf Ebene der Gesamtemissionen. Die größten relativen Unsicherheiten (bezogen auf die Emissionsmengen) gibt es in den Sektoren Landwirtschaft (24,7 %), LULUCF (25,1 %) und, mit deutlichem Abstand, in dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges (196,9 %). In dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist das

⁹ 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 Vorjahresemissionen wurde die Approach-1-Methode (Fehlerfortpflanzung) angewendet. Eine genauere Erläuterung dieses Vorgehens findet sich in (ERK 2022, Kap.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 2022c).

Konfidenzintervall um ein Vielfaches größer als der geschätzte sektorale Emissionswert. Diese große Unsicherheit ist durch die Vielzahl und Heterogenität an Abfallarten zu erklären, die sich negativ auf die Datensicherheit auswirken (UBA 2022c, S. 130). Den Hauptbeitrag zur hohen Unsicherheit im Landwirtschaftssektor leisten die Nicht-CO₂-Emissionen, insbesondere die Lachgasemissionen aus den CRF-Kategorien 3.B Düngermanagement und 3.D landwirtschaftliche Böden (UBA 2022c, S. 130). Die hohe sektorspezifische Unsicherheit im Sektor LULUCF ist auf die zum Zeitpunkt der Berechnung noch nicht vorliegenden Daten zurückzuführen (UBA 2022b).

- 61 Die geringsten Konfidenzintervalle sowohl bei den Aktivitätsdaten als auch bei den Emissionsfaktoren werden in der Industrie und der Energiewirtschaft berichtet. Die niedrige sektorale Unsicherheit in der Energiewirtschaft lässt sich durch die frühe Verfügbarkeit zuverlässiger Daten erklären (UBA 2022b). Die niedrige sektorale Unsicherheit im Industriesektor lässt sich nach Angaben des Umweltbundesamtes auf die hohe Korrelation zwischen verfügbaren Produktionsdaten und dem Brennstoffeinsatz zurückführen (UBA 2022b). Dennoch sei hier darauf hingewiesen, dass der Industriesektor in der Vergangenheit hohen nachträglichen Korrekturen unterlag (siehe Kapitel 4.3).
- 62 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 mithilfe des Umweltbundesamtes nachvollzogen (ERK 2022). Der vorläufige Charakter der Berechnung der Vorjahresemissionen wird zum einen durch die zur Unsicherheitsberechnung verwendete Methode, zum anderen bei der Anwendung des Experten-Boosters deutlich (ERK 2022). Nach Einschätzungen des Umweltbundesamtes sollen die Unsicherheiten als qualitative Orientierungsgröße und nicht als trennungsscharfes Unsicherheitsband dienen. Dieser Charakter der Unsicherheitsberechnung konnte vonseiten des Expertenrats für Klimafragen nachvollzogen werden. Alle vom Umweltbundesamt zugrunde gelegten Annahmen und Berechnungen konnten nachvollzogen werden und werden für plausibel erachtet.

Tabelle 8 : Unsicherheit der sektoralen und aggregierten Emissionsschätzungen nach Angaben des Umweltbundesamtes

Sektor nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)	Emissionsschätzung [Mt CO ₂ -Äq.]	Unsicherheiten			
		Aktivitätsdaten [%]	Emissionsfaktoren [%]	Emissionen [±Mt CO ₂ -Äq.]	Emissionen [%]
Energiewirtschaft	247,3	2,3	2,1	7,7	3,1
Industrie	181,3	1,6	1,8	4,4	2,4
Gebäude	115,5	4,5	6,0	8,7	7,5
Verkehr	148,1	2,3	4,1	7,0	4,7
Landwirtschaft	61,1	5,3	24,1	15,1	24,7
Abfallwirtschaft und Sonstiges	8,4	42,3	192,3	16,5	196,9
LULUCF	-11,5	5,9	24,4	-2,9	25,1
Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	761,6			26,5	3,5

Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2022d).

4.4 Einordnung und Vergleich von Unsicherheiten und Korrekturbedarfen

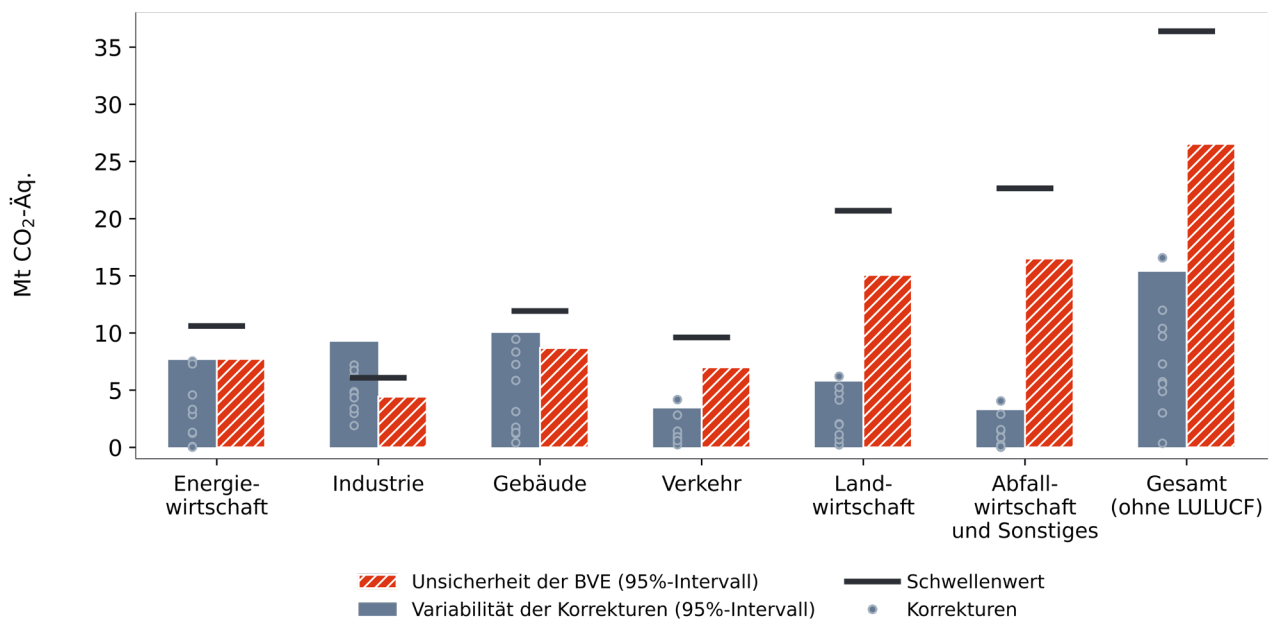
- 63 Emissionen werden mit statistischen Methoden berechnet (siehe Kapitel 2 sowie Kapitel 2 in (ERK 2022)). Bei diesen Berechnungen entstehen zwangsläufig statistische Differenzen zum nicht messbaren tatsächlichen Emissionswert, welche sowohl von Unschärfen in den verwendeten Primärdaten (Aktivitäten, Emissionsfaktoren, siehe Kapitel 2.2) als auch von Unschärfen in der Berechnungsmethode (nachfolgend *Schätzmethodik*) verursacht werden. Gemäß IPCC-Richtlinie werden derartige Differenzen als „Unsicherheiten“ der Emissionsberechnung bezeichnet und sollen gemeinsam mit der Punktberechnung der Emissionen ausgewiesen werden, welche im Rahmen der Inventarberichterstattung der Treibhausgase erfolgt (siehe Kapitel 4.3). Aufgrund des frühen Zeitpunkts der Datenerhebung sind die Unsicherheiten der Emissionsdaten in der Berechnung der Vorjahresemissionen höher als für die Emissionsdaten der späteren Treibhausgasinventare (ERK 2022, Kapitel 3.2.2).
- 64 Während die Unsicherheiten keinen Einfluss auf das in § 8 Abs. 1 KSG vorgesehene Steuerungssignal zum Auslösemechanismus eines Sofortprogramms haben, führen die Unsicherheiten dennoch dazu, dass die Feststellungen zur Über- oder Unterschreitung nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit getroffen werden können (siehe Tabelle 6). Insbesondere für die in § 8 Abs. 2 KSG vorgesehenen Beratungen der Bundesregierung stellen sie daher eine wichtige zusätzliche Information für die politische Entscheidungsfindung dar.
- 65 Erkenntnisfortschritt in Bezug auf Primärdaten für weiter zurückliegende Zeiträume sowie Verbesserungen in der Berechnungsmethode führen regelmäßig zu nachträglichen Korrekturbedarfen in den Jahresemissionsmengen (siehe Kapitel 4.2). Statistisch können diese nachträglichen Korrekturen in der Regel als nachträgliche Auflösung eines Teils der zuvor festgestellten Unsicherheit interpretiert werden, insbesondere wenn sie auf spätere Verbesserungen der Primärdatenbasis zurückzuführen sind und keine substanziellen Methodenwechsel vorgenommen worden sind. Das Ausmaß der historisch tatsächlich beobachteten Korrekturen ist nach Ansicht des Expertenrats für Klimafragen ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Bewertung der berichteten Emissionsdaten des Vorjahres im Hinblick auf deren Validität.
- 66 In Abbildung 5 wird das vom Umweltbundesamt angegebene Konfidenzintervall für die Unsicherheiten in jedem Sektor mit einem entsprechenden Konfidenzintervall verglichen, das aus der Variabilität der Korrekturbedarfe von den Emissionsjahren 2010-2019 abgeleitet wird. Die Korrekturbedarfe werden zwischen den Berechnungen der Vorjahresemissionen und dem zweiten darauffolgenden Treibhausgasinventar berechnet, da dieses als erste stabile Schätzung definiert wurde (siehe Kapitel 4.2.1). Somit werden methodische Änderungen ausgeschlossen, die zwei Jahre nach der Berechnung der Vorjahresemissionen entstehen. Es wird also hauptsächlich die Varianz derjenigen Korrekturbedarfe analysiert, die durch die vorläufige Datenbasis und entsprechende Schätzmethodik in der gemäß § 5 Abs. 1 KSG vorgenommenen Berechnung der Vorjahresemissionen entstehen. Die Varianz aller Korrekturbedarfe wäre entsprechend höher. Die Informationen sowohl zu den Unsicherheiten als auch zu den Korrekturbedarfen könnten – wie erläutert – bei der politischen Entscheidungsfindung Berücksichtigung finden.
- 67 Beim Vergleich der beiden Konfidenzintervalle zeigt sich für die Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges ebenso wie für die Gesamtemissionen, dass die historischen Korrekturbedarfe nicht statistisch größer als die Konfidenzintervalle des

Umweltbundesamtes sind (Abbildung 5). Für den Industriesektor sind die historischen Korrekturen dagegen statistisch größer als das Unsicherheitsintervall. Das angegebene 95 %-Konfidenzintervall für die Unsicherheiten im Industriesektor beträgt $\pm 4,4$ Mt CO₂-Äq., wohingegen das abgeleitete Konfidenzintervall für den Korrekturbedarf $\pm 9,2$ Mt CO₂-Äq. beträgt und damit mehr als dem Doppelten des Konfidenzintervalls der sektorspezifischen Unsicherheiten entspricht.

- 68 Die Berechnung der Unsicherheiten stellt eine Ex-ante-Schätzung dar, die ihrerseits wiederum mit Unsicherheiten behaftet ist. Da die tatsächlichen Emissionen zu keinem Zeitpunkt beobachtet werden können, kann die Güte der Unsicherheitsschätzung nicht direkt überprüft werden. Eine Prüfung ist allerdings näherungsweise durch Vergleich mit den historischen Korrekturbedarfen möglich. Dieses Vorgehen wird auch in den IPCC-Richtlinien vorgeschlagen. (IPCC 2006, Kapitel 3.1.5). Damit dieser Prüfansatz valide Ergebnisse liefert, müssen jedoch wichtige Voraussetzungen gegeben sein: Erstens müssen historische Korrekturen eine repräsentative Datenbasis für die zukünftigen Korrekturbedarfe darstellen, es darf also beispielsweise nicht zu tiefgreifenden Änderungen in der Datenbasis oder der Schätzmethodik für die Emissionsberechnung gekommen sein. Zweitens muss man davon ausgehen können, dass nachträglich durchgeführte Korrekturen die Emissionsberechnungen stets näher an den unbeobachteten tatsächlichen Wert heranführen.
- 69 Ferner kann dieser Prüfansatz, selbst unter den beiden genannten Voraussetzungen, nur eingeschränkte Hinweise liefern, da auch die korrigierten Werte noch nicht sicher dem tatsächlichen Wert entsprechen. Die Streuung der beobachteten Korrekturbedarfe kann also selbst im besten Fall nicht die gesamte Bandbreite der Unsicherheiten abdecken. Insbesondere kann daher aus dem hier angestellten Vergleich keine Schlussfolgerung für die Bewertung der Güte der ausgewiesenen Unsicherheiten in den Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges gezogen werden. Der Vergleich für den Sektor Industrie bekräftigt allerdings die Feststellung aus dem Prüfbericht 2021 (ERK 2021b, RZ101), dass die angegebenen Unsicherheiten für den Industriesektor zu niedrig geschätzt sein könnten.¹⁰ Es ist statistisch nicht plausibel, dass bereits die Varianz der Korrekturbedarfe, welche annahmegemäß nur einen Teil der statistischen Unsicherheit erfasst, deutlich höher ausfällt als die gesamte Varianz der Emissionsdatenschätzung.
- 70 Der Expertenrat für Klimafragen empfiehlt daher einerseits, die Berechnung der Unsicherheit für den Sektor Industrie zu überprüfen, und andererseits bei der politischen Bewertung der Zielerreichung dieses Sektors von einer höheren Varianz auszugehen als in der Berechnung der Vorjahresemissionen ausgewiesen (siehe dazu Kapitel 6).

¹⁰ Da im Industriesektor keine dem Expertenrat für Klimafragen bekannten tiefgreifenden Änderungen in der Schätzmethodik oder der Datenbasis für das Emissionsjahr 2021 vorliegen, erfüllt dieser Sektor die oben genannten Voraussetzungen.

Abbildung 5: Vergleich zwischen den historischen Korrekturbedarfen und den durch das Umweltbundesamt übermittelten Unsicherheiten



Das vom UBA angegebene Unsicherheitsintervall für die Berechnung der Vorjahresemissionen (rot, schraffiert) wird mit der Variabilität der Korrekturbedarfe (grau) verglichen. Beide Werte werden als 95 %-Konfidenzintervall angezeigt. Ein schwarzer Strich zeigt den Schwellenwert eines statistischen Tests: Wenn die Variabilität der Korrekturen oberhalb des Schwellenwerts liegt, ist die Variabilität der Korrekturen statistisch größer als die Unsicherheiten (mit 95 %-Konfidenzniveau, einseitiger Chi-Square-Test) (siehe dazu (ERK 2022, RZ51)). Korrekturbedarfe werden zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen und dem zweiten darauffolgenden Treibhausgasinventar für die Emissionsjahre 2010–2019 berechnet. Die einzelnen nachträglichen Korrekturen sind als graue Punkte für die jeweiligen Sektoren dargestellt.
 Eigene Darstellung.

71 Insgesamt liegen die vom Umweltbundesamt ausgewiesenen Unsicherheiten in den Sektoren Energiewirtschaft sowie Industrie und Verkehr unter den durchschnittlichen jährlichen Minderungsmengen dieser Sektoren gemäß § 4 Abs. 3 und § 4 Anlage 2 KSG (Tabelle 9). Die ausgewiesene Unsicherheit der Jahresemissionsmenge im Verkehr entspricht in etwa der durchschnittlichen jährlichen Minderung. Im Gebäudesektor liegt die vom Umweltbundesamt bezifferte Unsicherheit bei etwa dem Doppelten der durchschnittlichen jährlichen Minderungsmengen, im Landwirtschaftssektor sowie im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges sogar beim 12- beziehungsweise 30-fachen der jährlichen Minderungsmenge. Die entsprechenden Verhältnisse sind in Tabelle 9 dargestellt. Hieraus ergeben sich Fragen an die Treffgenauigkeit des im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanismus der Sofortprogramme (siehe dazu Kapitel 6.2.3).

Tabelle 9: Unsicherheitsangabe des Umweltbundesamtes im Vergleich zu durchschnittlichen jährlichen Minderungszielen gemäß der zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes

	UBA- Unsicherheit in Mt CO ₂ -Äq.	Durchschnittliche jährliche Minderung in Mt CO ₂ -Äq.	Verhältnis zwischen Unsicherheiten zu jährlichen Minderungen
Energiewirtschaft	7,7	17,8*	0,4
Industrie	4,4	7,1	0,6
Gebäude	8,7	5,1	1,7
Verkehr	7,0	6,7	1,0
Landwirtschaft	15,1	1,2	12,1
Abfallwirtschaft und Sonstiges	16,5	0,5	30,1
Gesamtemission (ohne LULUCF)	26,5	38,6*	0,7

* Für die Energiewirtschaft wurde ein extrapolierte Wert von 268,5 Mt CO₂-Äq. angenommen.

Eigene Darstellung auf Basis von ergänzenden Informationen des Umweltbundesamtes zu UBA (2022b) und des Bundes-Klimaschutzgesetzes.

- 72 Deutlich geringer als auf sektoraler Ebene fallen sowohl die Unsicherheiten als auch die nachträglichen Korrekturbedarfe auf der aggregierten Ebene der Gesamtemissionen aus. Das Umweltbundesamt gibt die Unsicherheit in Bezug auf die Gesamtemissionen mit $\pm 3,5\%$ an (95 %-Konfidenzintervall, $\pm 26,5$ Mt CO₂-Äq.). Die nachträglichen Korrekturen für die Emissionsjahre 2010-2019 liegen erkennbar in diesem Konfidenzintervall und liefern somit keinen Anlass, eine Unterschätzung der vom Umweltbundesamt ausgewiesenen Unsicherheit zu vermuten (siehe Abbildung 5).
- 73 In der Schätzung zur Unsicherheit nimmt das Umweltbundesamt jedoch an, dass die einzelnen sektoralen Unsicherheiten nicht miteinander korreliert und jeweils normalverteilt sind (siehe dazu IPCC 2006, Tier 1 (Fehlerfortpflanzung)). Sektorale Unsicherheiten wären insbesondere dann negativ korreliert, wenn sie sich durch Unsicherheiten bei der Zuordnung von Emissionen zu einzelnen Sektoren ergäben. Eine Prüfung der Korrekturbedarfe zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen und dem zweiten darauffolgenden Treibhausgasinventar für die Emissionsjahre 2010-2019 zeigt, dass die Korrekturen in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie mit 95 %-Konfidenzniveau negativ korreliert sind ($r = -0,69$). Falls die Unsicherheiten in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie ebenfalls negativ korreliert sind, könnten die Annahmen des Umweltbundesamtes zu einer Überschätzung der Unsicherheiten in den Gesamtemissionen führen. Der Expertenrat für Klimafragen empfiehlt eine Überprüfung der negativen Korrelation zwischen den Unsicherheiten in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie sowie die Anwendung von Methoden wie Monte-Carlo-Simulationen, die diese möglichen Korrelationen berücksichtigen können.

- 74 Für die Gesamtemissionen entspricht der durchschnittlich beobachtete nachträgliche Korrekturbedarf einer Senkung der Emissionen um 0,4 % (-4,0 Mt CO₂-Äq.). Diese durchschnittliche Korrektur ist allerdings nicht statistisch relevant. Es liegt daher kein Anhaltspunkt eines systematischen Fehlers in der Schätzung der Gesamtemissionen vor.

4.5 Fazit zur Güte

- 75 Die Emissionsdaten aus der Berechnung der Vorjahresemissionen und den Nationalen Treibhausgasinventare stellen zum überwiegenden Teil Schätzungen und keine Messungen dar. Auf Grundlage der bisherigen Erfahrungen kann erwartet werden, dass mindestens bis zur Inventarberichterstattung der Treibhausgase über das Jahr 2021 im Jahr 2024 noch weiterer Anpassungsbedarf an den in der Berechnung der Vorjahresemissionen genannten Emissionsdaten entsteht.
- 76 Von 2010-2019 betrug der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Berechnung der Vorjahresemissionen zum zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) für die aggregierte Gesamtsumme der Emissionen durchschnittlich 0,8 % (entsprechend 7,3 Mt CO₂-Äq.), unabhängig von der Richtung des Korrekturbedarfs. Die Werte lagen in einer Bandbreite von ungefähr 0,8 % (Energiewirtschaft und Verkehr), über 2,5 % (Industrie), 3,4 % (Gebäude), 4,5 % (Landwirtschaft) und bis zu 10,3 % (Abfallwirtschaft und Sonstiges). Ein Vergleich zeigt, dass der durchschnittliche historische Korrekturbedarf im Bereich Energiewirtschaft und Verkehr bei ungefähr einem Zehntel der jährlich festgeschriebenen Minderungsmengen der jeweiligen Sektoren liegt, bei Industrie bei der Hälfte und bei den Sektoren Gebäude, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstiges einem Mehrfachen der jährlichen Minderungsmengen entspricht.
- 77 Der Vergleich der historischen Korrekturbedarfe mit den jährlichen Minderungsmengen gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz zeigt, dass die Größenordnung des historischen Korrekturbedarfs in allen Sektoren relevant zu sein scheint im Kontext der Bewertung der vom Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Rechtsfolgen.
- 78 Das Umweltbundesamt weist im Einklang mit internationalen Standards Konfidenzintervalle für die jeweiligen Emissionsschätzungen aus. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten steht im Einklang mit IPCC-Richtlinien. Auf Basis der Gegenüberstellung der historischen Korrekturbedarfe mit den Konfidenzintervallen des Umweltbundesamtes empfiehlt der Expertenrat für Klimafragen zum einen eine Überprüfung der Berechnung der Unsicherheit im Sektor Industrie und zum anderen in der politischen Bewertung der Zielerreichung dieses Sektors von einer höheren Varianz als in der Berechnung der Vorjahresemissionen ausgewiesen auszugehen. Außerdem empfiehlt der Expertenrat für Klimafragen eine Überprüfung der möglichen Korrelation zwischen den Unsicherheiten der Sektoren Energiewirtschaft und Industrie, welche zu einer niedrigeren Unsicherheit in den sektorenübergreifenden Emissionen führen könnte.
- 79 Sowohl die zusätzliche Angabe der Unsicherheiten der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren durch das Umweltbundesamt als auch die Analyse der nachträglichen Korrekturbedarfe der Emissionsberechnungen im Zeitverlauf stellen eine wichtige zusätzliche Information für die politische Entscheidungsfindung dar.

5 Feststellung zur Berechnung der Vorjahresemissionen

5.1 Feststellungen zur Zielerreichung

- 80 Das Umweltbundesamt hat seinen Bericht zur Berechnung der Treibhausgasemissionen 2021 fristgerecht vorgelegt. Zur Überprüfung der Daten fanden zahlreiche Validierungsgespräche mit dem Umweltbundesamt statt, in denen einzelne CRF-Kategorien und die Verwendung der einfließenden statistischen Daten erörtert wurden. Zudem wurden eigene Recherchen und Berechnungen durchgeführt. Aufbauend auf den vom Umweltbundesamt bereitgestellten Daten wird im Folgenden die durch das Umweltbundesamt durchgeführte Berechnung der Treibhausgasemissionen 2021 mit den Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes nach Anlage 2 zu § 4 KSG verglichen. Die Zielerreichung wird nach den im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren aufgeschlüsselt und überprüft.
- 81 Die vom Umweltbundesamt bereitgestellten Daten bestehen einerseits aus einem geschätzten Punktwert für die in der Berechnung der Vorjahresemissionen ermittelten Jahrestreibhausgasemissionen. 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). Darüber hinaus stellt das Umweltbundesamt Unsicherheitsbandbreiten der Punktwertschätzungen bereit. In Tabelle 10 sind die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Zielwerte für die Jahresemissionsmenge, die berechneten Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 und die Bandbreite der Unsicherheiten in der Berechnung der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 aufgeführt. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2021 und sind für jeden Sektor aufgeschlüsselt.
- 82 Die Berechnungen des Umweltbundesamtes legen dar, dass in den Sektoren Industrie, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges die ermittelten Emissionspunktwerte unterhalb der im Bundes-Klimaschutzgesetz für das Jahr 2021 festgelegten Sektorziele liegen. Im Gebäudesektor und im Verkehrssektor liegt der für die Emissionsmenge berechnete Punktwert über dem festgeschriebenen Sektorziel für das Jahr 2021. Für die Sektoren Energiewirtschaft und LULUCF sind für das Jahr 2021 keine Ziele im Bundes-Klimaschutzgesetz angegeben.
- 83 Unter der Annahme, dass (1) die vom Umweltbundesamt vorgenommene Punktschätzung den Erwartungswert trifft und (2) die Fehler normalverteilt sind, können aus der Schätzung des Umweltbundesamtes die Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden, ob die einzelnen Sektoren tatsächlich das Sektorziel für 2021 erreicht haben (Tabelle 10). Danach kann für keinen Sektor¹¹ *praktisch sicher*¹² davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen Emissionen unter den Zielvorgaben gelegen haben. Im Sektor Landwirtschaft ist eine Zielerreichung als *sehr wahrscheinlich* einzustufen, in den Sektoren Industrie und Abfallwirtschaft und Sonstiges als *ebenso wahrscheinlich wie unwahrscheinlich*, während in den Sektoren Gebäude und Verkehr die Zielerreichung als *unwahrscheinlich* eingestuft wird.

¹¹Für den Energie- und den LULUCF-Sektor liegen für das Jahr 2021 keine Ziele nach Bundes-Klimaschutzgesetz Anlage 2 vor.

¹²Folgende 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 %. (Mastrandrea et al. 2010).

Tabelle 10: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Vorjahresemissionen (BVE) des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)

Sektor	Zielwert KSG 2021 [Mt CO ₂ - Äq.]	Berechnung UBA 2021 [Mt CO ₂ - Äq.]	Änderung in 2021 gegenüber 2020 [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 FN 12)
Energiewirtschaft	-	247,3	+27,3	-	240 - 255	-
Industrie	182,0	181,3	+9,4	-0,7	177 - 186	ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich
Gebäude	113,0	115,5	-3,9	2,5	107 - 124	unwahrscheinlich
Verkehr	145,0	148,1	+1,7	3,1	141 - 155	unwahrscheinlich
Landwirtschaft	68,0	61,1	-1,3	-6,9	46 - 76	sehr wahrscheinlich
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9,0	8,4	-0,4	-0,6	(-8) - 25	ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich
LULUCF	-	-11,5	-1	-	(-9) - (-14)	-
Gesamt (ohne LULUCF)	-	761,6		-	735 - 788	-

BVE: Berechnung der Vorjahresemissionen, UBA: Umweltbundesamt, KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz

Daten basierend auf Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 und den vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheiten der Schätzung.

Eigene Darstellung.

- 84 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 liegen die Emissionen im Sektor **Energiewirtschaft** bei 247,3 Mt CO₂-Äq. Für den Sektor Energiewirtschaft ist für das Jahr 2021 im Bundes-Klimaschutzgesetz kein Zielwert definiert, sondern erst wieder für das Jahr 2022.

Als Gründe für den Anstieg der Emissionen im Sektor Energiewirtschaft nennt das Umweltbundesamt zum einen eine verringerte Stromproduktion aus erneuerbaren Energien aufgrund der Witterung im Jahr 2021, welche größtenteils durch eine erhöhte Stromproduktion von Braun- und Steinkohlekraftwerken kompensiert wurde. Zusätzlich stieg der Stromverbrauch aufgrund voranschreitender Sektorenkopplung und der wirtschaftlichen Erholung gegenüber 2020. Außerdem nahm aufgrund steigender Preise der Einsatz von Erdgaskraftwerken in der zweiten Hälfte des Jahres 2021 ab und wurde zum Teil durch Kohlekraftwerke ersetzt.

Gütebetrachtung der Berechnung der Vorjahresemissionen: Im Sektor Energiewirtschaft entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen aus der CRF-Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ (97 %), für die Aktivitätsdaten größtenteils über die Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2022b) gegeben sind. Alle weiteren CRF-Kategorien haben einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtemissionen. Das Umweltbundesamt schätzt die

Zuverlässigkeit der Daten und der Methodik als sehr hoch ein (UBA 2022b, S. 17). Es gibt keine Hinweise dafür dies anders zu sehen. Da im Bundes-Klimaschutzgesetz für 2021 für den Energiesektor kein Emissionsziel angegeben ist, konnte für den Sektor keine Einordnung zur Zielerreichung vorgenommen werden.

- 85 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 hat der **Sektor Industrie** das Ziel von 182 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Der Punktwert liegt 0,7 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Industriesektor ist auf Basis der IPCC-Skala als **ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich** anzusehen.

Für energetische Emissionen ist der größte Zuwachs gegenüber 2020 zu verzeichnen (+7,5 Mt CO₂-Äq.). Die Prozessemissionen sind insgesamt um 3 Mt CO₂-Äq. gestiegen, insbesondere in der Metallindustrie, in der die Rohstahlproduktion um 12 % zugenommen hat. Die Roheisenproduktion stieg, nach Rückgängen in den Jahren 2019 und 2020, im Vergleich zum Vorjahr um 14 %. Durch konjunkturelle Erholung stiegen außerdem die Produktionsmengen. Zusätzlich entstand aufgrund kühler Witterung ein höherer Wärmebedarf. Im Bereich fluorierter Treibhausgase entstand ein deutlicher Beitrag zur Emissionsminderung (-8,3 %) durch den Rückgang der Emissionen aus Schallschutzscheiben sowie durch sinkende Bestands- und Befüllungsemissionen in Kälte- und Klimaanlage. Letztere Reduktion ist insbesondere auf den Rückgang der Pkw-Produktion zurückzuführen.

Gütebetrachtung der Berechnung der Vorjahresemissionen: Im Sektor Industrie entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen dem Einsatz fossiler Brennstoffe. Für die Brennstoffeinsätze der Industrie liegen zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres keine statistischen Daten vor, sodass teilweise auf Absatzzahlen (Brennstoffe) oder Produktionsdaten (unter der Annahme der Korrelation von Produktionsmenge und Brennstoffeinsatz) verschiedener Branchen zurückgegriffen wird. Effizienzsteigerungen oder Verschiebungen im Brennstoffmix werden daher nicht berücksichtigt. Für die mineralische und petrochemische Industrie werden amtliche Statistiken verwendet (jedoch muss hier das vierte Quartal geschätzt werden). In der chemischen Industrie und der Metallindustrie können Daten von Herstellern und Verbänden für das Vorjahr verwendet werden. Die Emissionen fluorierender Treibhausgase werden durch Expert:innen des Umweltbundesamtes ermittelt. Daten zu stationär eingesetzten Schmierstoffmengen werden der amtlichen Statistik entnommen, liegen jedoch für einzelne Schmierstoffe nicht endgültig vor. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Datengrundlage im Industriesektor heterogen ist und von unterschiedlicher Qualität.

Außerhalb der Beurteilung der Güte des Punktwerts bei der Berechnung der Vorjahresemissionen ist für den Sektor Industrie hervorzuheben, dass im Gegensatz zu allen anderen Sektoren die Variabilität der historischen Korrekturbedarfe in den Treibhausgasinventaren statistisch größer ist als das angegebene Konfidenzintervall. Daher wäre für die Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 im Sektor Industrie insbesondere aufgrund der vorläufigen Datenlage ein größerer Unsicherheitsbereich als der in der Berechnung der Vorjahresemissionen angegebene zu erwarten gewesen. Aufgrund der spezifischen Lage des Punktwerts im Vergleich zum Industrie-Zielwert würde ein solchermaßen erweiterter Unsicherheitsbereich in diesem Jahr nichts an der Feststellung zur Zielerreichung *ebenso wahrscheinlich wie unwahrscheinlich* ändern. Das Umweltbundesamt kommt, auf Grund der heterogenen Datenlage, hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Daten und Methodik zu keinem abschließenden branchenübergreifenden Ergebnis (UBA 2022b, S. 22). Es gibt keine Hinweise dafür, dies anders zu sehen.

- 86 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 hat der **Gebäudesektor** das Ziel von 113 Mt CO₂-Äq. mit einem Punktwert von 115,5 Mt CO₂-Äq. nicht eingehalten. Der Punktwert liegt damit 2,5 Mt CO₂-Äq. über dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Sektor Gebäude ist auf Basis der IPCC-Skala als **unwahrscheinlich** einzustufen.

Während im Jahr 2020 ein höherer Bezug als Verbrauch von Heizöl erfolgte, wird davon ausgegangen, dass der Rückgang des Mineralölabsatzes von 2020 auf 2021 zu großen Teilen auf das Aufbrauchen dieser Lagerbestände zurückzuführen ist. Der Verbrauch an Erdgas ist im Jahr 2021 gegenüber 2020 sogar angestiegen, weil 2021 ein vergleichsweise kälteres Jahr war (siehe auch Kapitel 6). Die Witterungsbedingungen spielen im Sinne der Grundprinzipien der Emissionsberichterstattung – also des Absatzprinzips – allerdings ebenso wenig eine Rolle für die Feststellung des Ergebnisses wie das Aufbrauchen von Lagerbeständen bei Heizöl.

Gütebetrachtung der Berechnung der Vorjahresemissionen: Im Gebäudesektor entstammt ein Großteil der Emissionen aus stationären Feuerungsanlagen in Haushalten sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD), welche leichtes Heizöl und Gas nutzen (93,5 % der Gesamtemissionen). Eine sektorale Aufteilung der Absätze an Gas und leichtem Heizöl zwischen Gebäude- und Industriesektor ist zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen nicht bekannt und wird deswegen für Heizöl aus einem vorherigen Jahr übernommen und für Gas aus Daten des BDEW abgeleitet. Deswegen schätzt das Umweltbundesamt selbst die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik als grundsätzlich mit hohen Unsicherheiten verbunden ein (UBA 2022b, S. 25). Es gibt keine Hinweise dafür, dies anders zu sehen.

Insgesamt konnte in der stichprobenartigen Überprüfung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor (siehe Kapitel 3.2.2) die Methodik des Umweltbundesamtes nachvollzogen werden. Im Gesamtergebnis liefert die durchgeführte Analyse für die Treibhausgasemissionen des Sektors Gebäude keinen Anhaltspunkt dafür, dass das Umweltbundesamt bei seiner Punktwertschätzung zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen.

- 87 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 hat der **Verkehrssektor** das Ziel von 145 Mt CO₂-Äq. überschritten. Der Punktwert liegt 3,1 Mt CO₂-Äq. über dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Sektor Verkehr ist auf Basis der IPCC-Skala als **unwahrscheinlich** einzustufen.

Vor allem am Jahresanfang 2021 wurden die Emissionen im Personenstraßenverkehr und im nationalen Flugverkehr weiterhin deutlich von den Eindämmungsmaßnahmen der Covid-19-Pandemie beeinflusst (siehe dazu Kapitel 6).

Gütebetrachtung der Berechnung der Vorjahresemissionen: Im Verkehrssektor entstammt ein Großteil der 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 zu zuordnen. Die restlichen 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 chemisch bedingt untergeordnete Rolle. Insgesamt konnten in der stichprobenartigen Überprüfung die CO₂-Emissionen im Straßenverkehr nachvollzogen werden. Das Umweltbundesamt schätzt die Datenlage für den Sektor Verkehr zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen als vergleichsweise gut ein (UBA 2022b, S. 29). Es gibt keine Hinweise dafür, dies anders zu sehen.

- 88 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 hat der **Landwirtschaftssektor** das Ziel von 68 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Der Punktwert liegt 6,9 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Sektor Landwirtschaft ist auf Basis der IPCC-Skala **als sehr wahrscheinlich** einzustufen.

Für die Berechnung der Emissionen im Landwirtschaftssektor wurde für das Jahr 2021 erstmals anstelle des Default-Werts (IPCC 2006) ein neuer nationaler Emissionsfaktor für Lachgasemissionen aus der Ausbringung von Düngern und Gärresten aus Ernterückständen (Mathivanan et al. 2021) verwendet, wodurch diese Emissionen um rund 40 % sanken.

Gütebetrachtung der Berechnung der Vorjahresemissionen: 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. Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik der Aktivitätsdaten als relativ zuverlässig ein (UBA 2022b, S. 34). Die Daten der im Jahr 2020 durchgeführten Landwirtschaftszählung gingen erstmals in die Berechnung der Emissionen des Vorjahres ein und haben teilweise zu großen Änderungen der Emissionswerte geführt, da zuvor Daten aus der Agrarstrukturerhebung 2016 genutzt worden waren. Durch die Nutzung des neuen nationalen Emissionsfaktors für Lachgasemissionen als Folge der Ausbringung von stickstoffhaltigen Substraten wie Ernterückständen (Mathivanan et al. 2021) wurde diese Berechnung zuverlässiger. Insgesamt konnte für den Landwirtschaftssektor die Methodik nachvollzogen werden (Kapitel 3.2.4) und es gibt keine Hinweise darauf, dass das Umweltbundesamt zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen.

- 89 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 hat der Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** das Ziel von 9 Mt CO₂-Äq. eingehalten. Der Punktwert liegt 0,61 Mt CO₂-Äq. unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Die Zielerreichung im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist auf Basis der IPCC-Skala als **ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich** einzustufen.

Gütebetrachtung der Berechnung der Vorjahresemissionen: Die Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden vor allem durch historische Deponierung bestimmt. 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. Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik der Aktivitätsdaten als vergleichsweise hoch ein (UBA 2022b, S. 39). Allerdings sind die sektoralen Emissionsfaktoren von einer vergleichsweise hohen Unsicherheit geprägt, da die Emissionen in diesem Sektor insbesondere aus biologisch dominierten Prozessen stammen. Auf Basis von Veränderungen des aktuellen Wissensstandes kann es zur Anpassung der Emissionsfaktoren kommen, was zu deutlichen Veränderungen der berichteten Emissionen führen kann. Es gibt keine Hinweise darauf, dass das Umweltbundesamt zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen.

- 90 Auf Basis der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 liegen die Emissionen im Sektor **LULUCF** bei -11,5 Mt CO₂-Äq. Für den Sektor LULUCF ist für das Jahr 2021 kein Zielwert definiert, sondern erstmalig für das Jahr 2030 mit -25 Mt CO₂-Äq. Die Senkenfunktion des LULUCF-Sektors ist wie im Vorjahr gering, was weiterhin größtenteils auf die durch Extremwetterereignisse verursachten Waldschäden der letzten Jahre zurückzuführen ist.

Gütebetrachtung des Sektors LULUCF: Da einige wesentliche Statistiken für das Jahr 2021 noch nicht vorliegen (Holzeinschlagstatistik, Produktionsstatistik für Holzhalbwaren, vollständige Erntestatistik, Torfproduktionsstatistik), muss die Berechnung der Vorjahresemissionen laut Umweltbundesamt als sehr unsicher angesehen werden. 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. Insgesamt schätzt das Umweltbundesamt (UBA 2022b, S. 46) die Emissionsdaten für den LULUCF-Sektor bezüglich der absoluten Größe der Nettoemission sowie des Trends als sehr unsicher ein. Es gibt keine Hinweise dafür, dies anders zu sehen.

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

- 91 Mit der Einführung sektorspezifischer Ziele im Bundes-Klimaschutzgesetz geht ein Mechanismus einher, der die in einem Emissionsjahr stattfindenden Abweichungen vom in Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetz 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 Emissionswerten für das Jahr 2021 kommt dieser Ausgleichsmechanismus erstmalig für die Folgejahre ab dem Jahr 2022 zum Tragen. Unter- und Überschreitungen der im Bundes-Klimaschutzgesetz ausgewiesenen Zielwerte in einem Sektor sind dem Mechanismus folgend ohne Verrechnung mit anderen Sektoren gleichmäßig auf die in der Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten sektorspezifischen Jahresemissionsmengen im verbleibenden Zeitraum bis zum Zieljahr 2030 anzurechnen. Entsprechend erhöhen (oder reduzieren) sich in den Folgejahren die angegebenen Ziele eines jeden betroffenen Sektors für den verbleibenden Zeitraum bis 2030. Die Anpassungen haben entsprechend auch Konsequenzen für den auf Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetz basierenden Auslösemechanismus für die Erstellung von Sofortprogrammen bei Zielwertüberschreitung (KSG § 8).
- 92 Das Umweltbundesamt hat basierend auf der Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes einen Bilanzbogen veröffentlicht, der die durch den Ausgleichsmechanismus angepassten sektorspezifischen Jahresemissionsmengen enthält. Abweichungen von weniger als 1000 Tonnen CO₂-Äq. wurden gerundet. Der vom Umweltbundesamt erstellte Bilanzbogen wurde vom Expertenrat für Klimafragen 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 Emissionsjahr 2030 um 0,3 Mt CO₂-Äq. (Tabelle 11).

Tabelle 11: Angepasste sektorspezifische Jahresemissionsmengen für die Jahre 2022–2030 (in kt CO₂-Äq.)

Sektor nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Energiewirtschaft	257.000	-	-	-	-	-	-	-	108.000
Industrie	177.078	172.078	165.078	157.078	149.078	140.078	132.078	125.078	118.078
Gebäude	107.727	101.727	96.727	91.727	86.727	81.727	76.727	71.727	66.727
Verkehr	138.660	133.660	127.660	122.660	116.660	111.660	104.660	95.660	84.660
Landwirtschaft	67.766	66.766	65.766	63.766	62.766	61.766	59.766	57.766	56.766
Abfallwirtschaft und Sonstiges	8.068	8.068	7.068	7.068	6.068	6.068	5.068	5.068	4.068
Summe Jahresemissionsmenge, angepasst	756.299	-	-	-	-	-	-	-	438.299
Summe Jahresemissionsmenge, Anlage 2 KSG	756.000	-	-	-	-	-	-	-	438.000

Tabelle 4 in (UBA 2022b, 234), eigene Berechnungen.

93 Tabelle 12 stellt die jährlichen Anpassungen der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen für 2022–2030 ins Verhältnis zu den ursprünglich in der Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes ausgewiesenen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen. Die Anpassungen durch den Ausgleichsmechanismus fallen im Vergleich zur Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes insgesamt relativ gering aus. Im Sektor **Landwirtschaft** erhöhen sich die jährlichen Ziele um 0,766 Mt CO₂-Äq. pro Jahr bis 2030. Dies ist in absoluten Treibhausgasemissionen die größte Anpassung des jährlichen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen für 2022–2030 und entspricht einem Anteil von rund 1,4 % des Sektorziels von 2030. Die im Absolutwert zweit- und dritthöchsten Anpassungen erfolgen in den Sektoren **Verkehr** (-0,340 Mt CO₂-Äq. jährlich) und **Gebäude** (-0,273 Mt CO₂ Äq., jährlich) und die sektorspezifischen Jahresemissionsmengen verringern sich dementsprechend bis 2030. Die Energiewirtschaft und LULUCF haben im Ausgleichsmechanismus eine Sonderrolle, da keine festen Jahresemissionsmengen (LULUCF) bzw. nur für das Jahr 2022 feste Jahresemissionsmengen (Energiewirtschaft) mit Ausnahme des Zielwertes für das Jahr 2030 festgelegt sind.¹³ Die ermittelten Werte für Energiewirtschaft und LULUCF für das Emissionsjahr 2021 führen daher zu keiner Anpassung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen in den Folgejahren.

¹³ Für den Sektor Energiewirtschaft sind für die Jahre 2022 und 2030 maximale sektorspezifischen Jahresemissionsmengen festgelegt worden, wohingegen für den LULUCF Sektor (nach §3a Abs. 1 KSG) mindestens eine Treibhausgasemissionssenkung von -25 Mt CO₂-Äq. bis zum Jahr 2030 erreicht werden soll.

Tabelle 12: Jährliche Anpassung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen im Verhältnis zur sektorspezifischen Jahresemissionsmenge in 2030

Sektor nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)	Jährliche Anpassung der sektorspezifischen Jahresemissionsmenge* (kt CO ₂ -Äq.)	Ursprüngliches Ziel 2030 (kt CO ₂ -Äq.)	Jährliche Anpassung relativ zum Ziel 2030 (%)
Energiewirtschaft	-	108.000	0 %
Industrie	78	118.000	0,1 %
Gebäude	-273	67.000	-0,4 %
Verkehr	-340	85.000	-0,4 %
Landwirtschaft	766	56.000	1,4 %
Abfallwirtschaft und Sonstiges	68	4.000	1,7 %
Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	299	438.000	0,1 %

*Abweichungen von weniger als 1000 Tonnen CO₂-Äq. werden gerundet. Negative (positive) Werte reduzieren (erhöhen) die sektorspezifischen Jahresemissionsmengen nach Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes in den verbleibenden Jahren bis 2030 anteilig je Jahr. Anlage 2 KSG, eigene Berechnungen.

94 In Summe führt die Anpassung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen durch den Ausgleichsmechanismus dazu, dass die sektorenübergreifende Jahresemissionsmenge für 2030 basierend auf den Emissionswerten für das Jahr 2021 um knapp 0,3 Mt CO₂-Äq. oberhalb des ursprünglich in Anlage 2 KSG definierten Jahresemissionsmenge von 438 Mt CO₂-Äq liegt (Tabelle 12). Dies entspricht einer Erhöhung des ursprünglichen Emissionszielwerts für das Jahr 2030 um weniger als 0,1 %.

95 Es besteht bei der Anwendung des Ausgleichsmechanismus zur Aktualisierung der sektorspezifischen Jahresemissionsmengen Klärungsbedarf zu der verwendeten Datengrundlage und der Regelung bei Nicht-Erreichung des Ziels in 2030 (siehe hierzu Kapitel 7.3.3).

5.3 Fazit zur Feststellung

96 Die Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 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 Vorjahresemissionen 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 Ausgleichsmechanismus (§ 4 Abs. 3 KSG) bildet. Zudem gibt das Umweltbundesamt Unsicherheitsbandbreiten der Punktwertschätzungen an.

Die wesentlichen Ergebnisse der Feststellung der Zielerreichung sind:

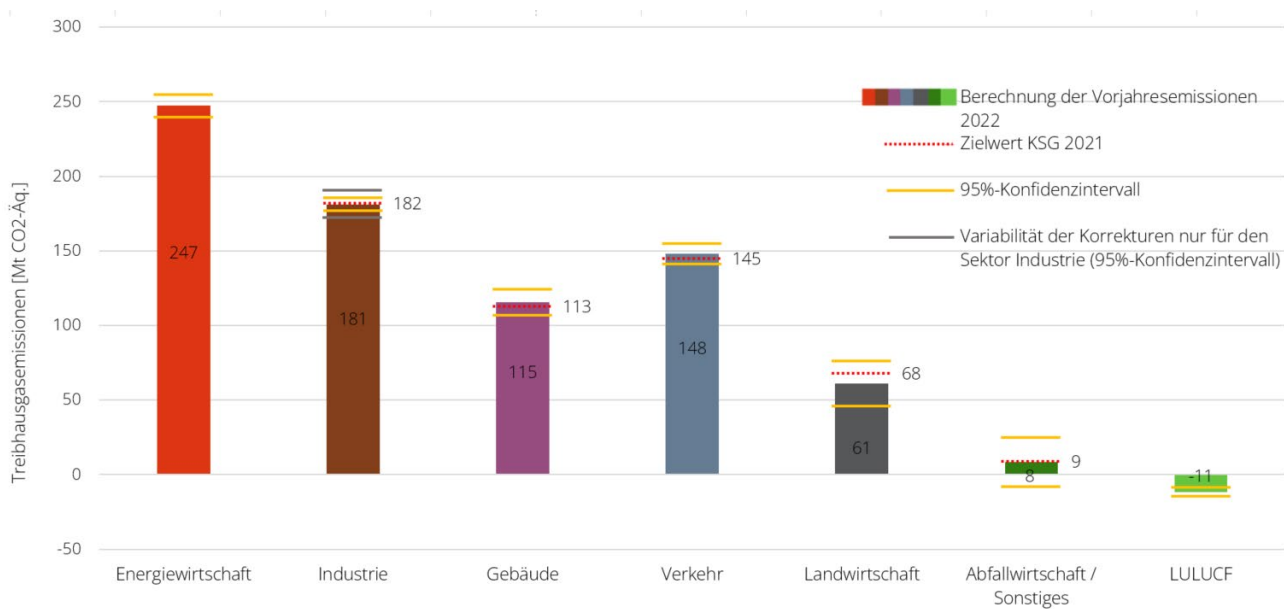
- i) Die sektorspezifischen Jahresemissionsmengen wurden basierend auf den derzeit vorhandenen Daten in den Sektoren Industrie (*ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich*), Landwirtschaft (*sehr wahrscheinlich*), Abfallwirtschaft und Sonstiges (*ebenso wahrscheinlich wie nicht*

wahrscheinlich) erreicht. In den Sektoren Gebäude und Verkehr wurden die Ziele nicht erreicht (Zielerreichung *unwahrscheinlich*). Für die Sektoren Energiewirtschaft und LULUCF sind im Bundes-Klimaschutzgesetz für das Jahr 2021 keine Zielwerte definiert.

- ii) In den Sektoren Gebäude und Verkehr kommt somit der Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes (§ 8 KSG) zum Tragen, demgemäß legen die zuständigen *Bundesministerien* innerhalb von drei Monaten nach Erscheinen dieser Bewertung der Emissionsdaten ein Sofortprogramm für die jeweiligen Sektoren vor, über das die Bundesregierung nach einer Prüfung durch den Expertenrat für Klimafragen entscheidet.
- iii) In allen Sektoren, für die eine zulässige Jahresemissionsmenge Emissionsziel für das Jahr 2021 festgelegt wurde, kommt auch erstmalig der in § 4 Abs. 3 KSG definierte Ausgleichmechanismus zum Tragen. Die mengenmäßigen Über- bzw. Unterschreitungen der im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten sektorspezifischen Jahresemissionsmengen führten lediglich in der Landwirtschaft zu einer sichtbaren Anpassung der festgelegten Jahresemissionsmengen.
- iv) In allen Sektoren, für welche ein Emissionsziel für 2021 im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt ist, liegt der jeweilige Zielwert innerhalb des 95 %-Unsicherheitsbereichs der Emissionsschätzung. Damit kann unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in allen Sektoren eine Zielverfehlung nicht ausgeschlossen werden. Im Gegensatz zum vergangenen Jahr, in dem die Zielerreichung für die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie als praktisch sicher eingestuft wurde, ist dies in diesem Jahr in keinem Sektor der Fall, für den die Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes einen Zielwert aufführt (ERK 2022).

97 In Abbildung 6 sind die Daten für alle Sektoren graphisch dargestellt. Die sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes werden mit den ermittelten Punktwerten der Berechnung der Vorjahresemissionen des Umweltbundesamtes für das Emissionsjahr 2021 verglichen. Zusätzlich verdeutlichen die gelben Linien das Maximum und Minimum des 95 %-Konfidenzintervalls der Sektoren, in dem die Jahresemissionen laut Berechnung der Vorjahresemissionen des Umweltbundesamtes liegen. Für den Sektor Industrie ist in der Abbildung zusätzlich das 95 %-Konfidenzintervall auf Basis der Variabilität der tatsächlich beobachteten Korrekturbedarfe der Emissionsjahre 2010 bis 2021 angezeigt (siehe Kapitel 4.4). Es wird ersichtlich, dass der obere Rand dieses Konfidenzintervalls höher ist als der Maximalwert des vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheitsbands.

Abbildung 6: Zielwertvergleich der Emissionswerte aus der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 mit den zulässigen sektorspezifischen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes



KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz

Eigene Darstellung basierend auf der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Emissionsjahr 2021 des Umweltbundesamtes und den ausgewiesenen Unsicherheiten, die 2021 Zielwerte des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG), sowie eigenen Berechnungen bezüglich der Variabilität der Korrekturbedarfe für die Industrie der Emissionsjahre 2010 bis 2019 (siehe Kapitel 4.4).

Teil II: Weiterführende Betrachtungen

6 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

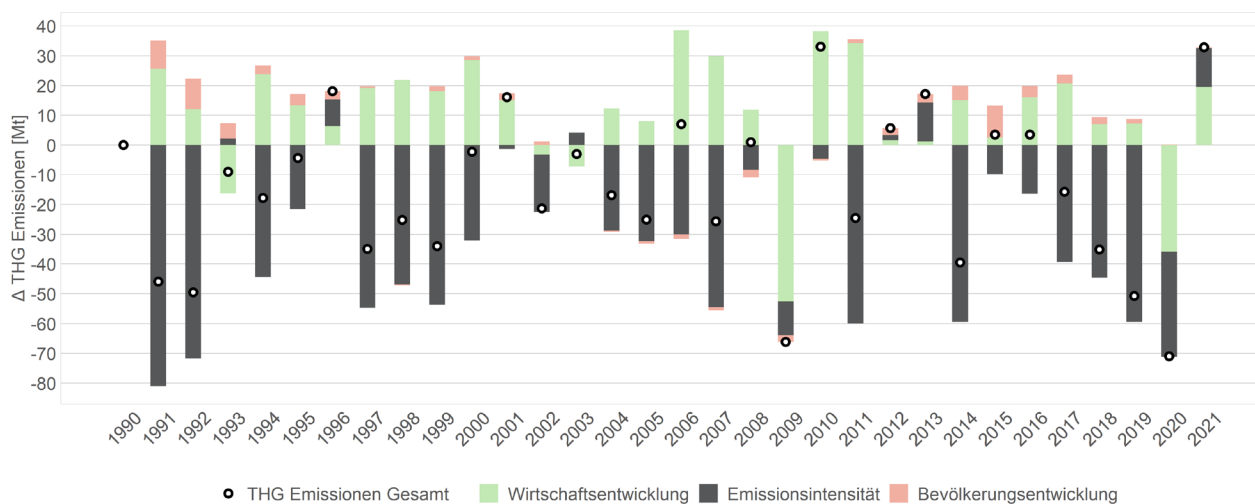
98 Im Bundes-Klimaschutzgesetz ist festgelegt, dass der Expertenrat für Klimafragen die durch das Umweltbundesamt vorgelegten Emissionsdaten prüft und der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag innerhalb von einem Monat nach Übersendung durch das Umweltbundesamt eine Bewertung der veröffentlichten Daten vorlegt (§ 12 Abs. 2 KSG). Diese Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten wird innerhalb dieses Kapitels um eine erste qualifizierte Einschätzung ergänzt, in der – wie im Prüfbericht des Vorjahres für das Jahr 2020 – eine genauere Betrachtung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2021 vorgenommen wird. Dabei wird zunächst eine Dekomposition der aggregierten, sektorenübergreifenden Emissionsdaten in wesentliche Treiber vorgenommen (Kapitel 6.1). Anschließend werden diejenigen Sektoren, die die jährlich zugelassene Emissionsmenge im Jahr 2021 überschritten (Gebäude, Verkehr) bzw. nur knapp eingehalten haben (Industrie), näher analysiert (Kapitel 6.2). Hierbei wird das Augenmerk auf solche Faktoren gelenkt, die die Emissionsentwicklung im Jahr 2021 in besonderem Maße beeinflusst haben. Eine Quantifizierung der betrachteten Effekte ist aufgrund der damit verbundenen hohen methodischen und datenseitigen Ansprüche im Rahmen dieses Berichts nur in einzelnen Fällen möglich. Die Betrachtung kann jedoch Anhaltspunkte für eine qualifizierte Einordnung der Zielerreichung bzw. Zielverfehlung in den drei genannten Sektoren liefern, wie sie im anschließenden Kapitel 6.2.3 im Hinblick auf eine mögliche Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes diskutiert wird.

6.1 Sektorenübergreifende Dekompositionsanalyse der Entwicklung der Treibhausgasemissionen

- 99 Im Jahr 2021 sind die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) nach der Emissionsberechnung des Umweltbundesamtes (UBA 2022d) gegenüber dem Vorjahr von 729 Mt CO₂-Äq. auf 762 Mt CO₂-Äq. angestiegen, d. h. um rund 4,5 % oder knapp 33 Mt CO₂-Äq., nachdem sie im Jahr 2020 noch um knapp 9 % zurückgegangen waren. Dies stellt gleichzeitig den höchsten prozentualen Anstieg der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Vorjahr seit 1990 dar. Eine vergleichbare Entwicklung war nur im Jahr 2010 zu verzeichnen, als die Treibhausgasemissionen in der Folge der Finanzkrise im Jahr 2009 zunächst deutlich zurückgingen, um im Folgejahr um knapp 3,7 % zu steigen (siehe Abbildung 7). In absoluten Emissionsmengen gerechnet lagen die beiden höchsten Zunahmen in den Jahren 2021 und 2010 mit rund 33 Mt CO₂-Äq. in der gleichen Größenordnung.
- 100 Zur Einschätzung der unterschiedlichen Treiber dieser Entwicklung wird zunächst eine Komponentenzersetzung durchgeführt. Die sektorenübergreifende Dekompositionsanalyse zerlegt die Gesamtveränderung der Treibhausgasemissionen in die zentralen Einflusskomponenten; Bevölkerungsentwicklung (gemessen als Zahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (gemessen als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf) sowie Emissionsintensität (gemessen als Treibhausgasemissionen pro Einheit Bruttoinlandsprodukt). Das Technische Begleitdokument (Kapitel A.3.1) und Shammugam et al. (2022) enthalten detaillierte Informationen zur Methodik der Dekomposition und zur verwendeten

Datengrundlage. Auf Basis der Dekomposition kann der, nach dem deutlichen Rückgang im Vorjahr wieder angestiegenen Wirtschaftsleistung im Jahr 2021 ein Anteil von knapp 60 % (19,5 Mt CO₂-Äq.) an der Emissionssteigerung zugeordnet werden (siehe Abbildung 7). Die Bevölkerungsentwicklung blieb im Jahr 2021 weitgehend konstant (Destatis 2022c) und trug damit, wie bereits im Vorjahr, nicht zum Anstieg der Treibhausgasemissionen bei. Die verbleibenden rund 13 Mt CO₂-Äq. sind daher auf die Zunahme der Emissionsintensität zurückzuführen. Damit wird der seit 2014 durchgängig – und auch in den meisten Jahren seit 1990 – beobachtete Trend eines emissionsmindernden Beitrags der Emissionsintensität gebrochen. Diese dritte Komponente stellt gemäß der Berechnungsformel den verbleibenden Treiber der Emissionsentwicklung in dieser Dekompositionsanalyse dar. Der beobachtete Anstieg dieses Treibers im Jahr 2021 kann vor allem auf eine Erhöhung sowohl der Energieintensität (gemessen als Primärenergieverbrauch pro Einheit Bruttoinlandsprodukt) als auch der auf den Primärenergieverbrauch bezogenen Emissionen zurückgeführt werden. Denn im Jahr 2021 lag das Wachstum des Bruttoinlandsproduktes mit 2,7 % (Destatis 2022h) unter der Wachstumsrate des Primärenergieverbrauchs, der gegenüber dem Jahr 2020 um 3,1 % zunahm (AGEB 2022b). Außerdem ist es in der Zusammensetzung der Primärenergieträger zu Verschiebungen gekommen, die zu höheren Treibhausgasemissionen je Einheit Primärenergie geführt haben (AGEB 2022b), nämlich unter anderem zu einer Abnahme des Anteils der erneuerbaren Energien (höherer Strombedarf und witterungsbedingte Verringerung der Volllaststunden erneuerbarer Energien) und einem Anstieg der Kohleverstromung im Vergleich zum Vorjahr (Agora Energiewende 2022; Fraunhofer ISE 2022; EWI 2021).

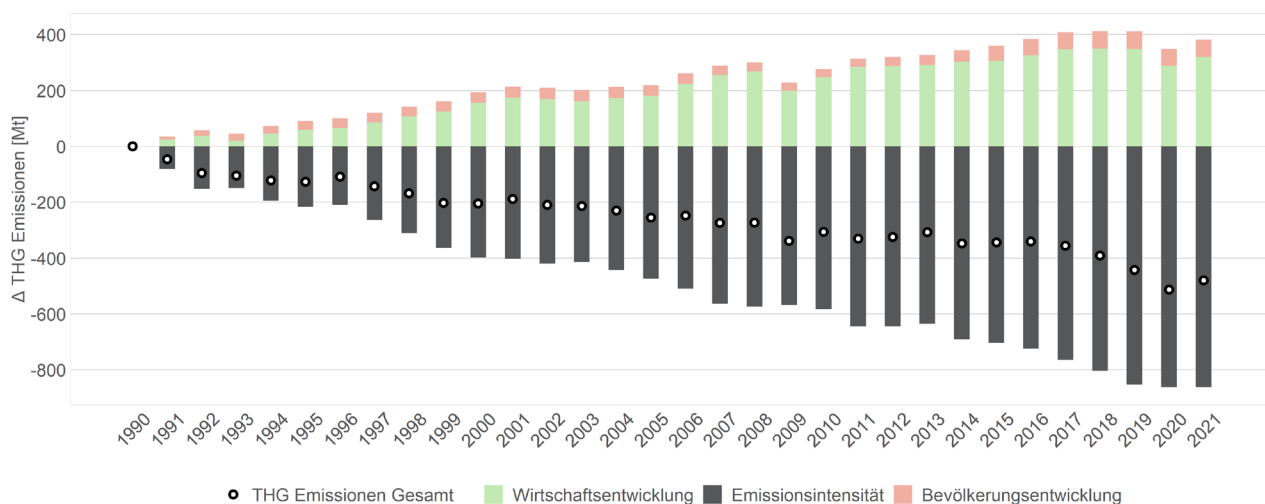
Abbildung 7 Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der Änderung der gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (gemessen als Zahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (gemessen als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf) und Emissionsintensität (gemessen als Treibhausgasemissionen pro Einheit Bruttoinlandsprodukt) in Bezug auf das jeweils vorhergehende Jahr.
Eigene Darstellung.

101 Im gesamten Zeitraum von 1990 bis 2021 sind die Treibhausgasemissionen um knapp 39 % (487 Mt CO₂-Äq.) gesunken (UBA 2022d). Dieser Rückgang ist das Ergebnis gegenläufiger Effekte bei den betrachteten Einflusskomponenten. Während das wirtschaftliche Wachstum und seit dem Jahr 2012 auch die Zunahme der Bevölkerung zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen beitrugen, wurden diese Effekte durch die deutliche Verringerung der Emissionsintensität in den meisten Jahren und damit auch über den Gesamtzeitraum deutlich überkompensiert (siehe Abbildung 8). Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, inwieweit sich der erstmals seit dem Jahr 2013 wieder beobachtete Anstieg des Treibers Emissionsintensität als kritisch für die mittel- bis langfristige Erreichung der Treibhausgasminderungsziele erweisen könnte. Eine nähere Betrachtung dieser gesamtwirtschaftlichen Entwicklungen behält sich der Expertenrat für Klimafragen für sein im Herbst 2022 vorgesehenes Gutachten zur Trendentwicklung der Treibhausgasemissionen vor.

Abbildung 8: Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt - Änderungen im Vergleich zu 1990



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der Änderung der gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (gemessen als Zahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (gemessen als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf) und Emissionsintensität (gemessen als Treibhausgasemissionen pro Einheit Bruttoinlandsprodukt) in Bezug auf das Jahr 1990.

Eigene Darstellung.

6.2 Sektorale Betrachtungen für das Emissionsjahr 2021

6.2.1 Gebäude

102 Der Gebäudesektor hat im Jahr 2021 laut der Emissionsberechnung des Umweltbundesamtes mit 115,5 Mt CO₂-Äq. Die maximal zulässige Jahresemissionsmenge um 2,5 Mt CO₂-Äq. überschritten. Damit hat der Sektor das zweite Mal in Folge die jährlich zugelassene Emissionsmenge verfehlt (siehe Kapitel 5). Gegenüber dem Jahr 2020 sind die Treibhausgasemissionen um 3,3 % (3,9 Mt CO₂-Äq.) gesunken. Die im letztjährigen Prüfbericht des Expertenrats für Klimafragen identifizierten Faktoren, die die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor im Jahr 2020 maßgeblich geprägt haben (siehe ERK 2021b, Abs. 149; Shammugam et al. 2022), wirkten auch im Jahr 2021 fort, allerdings teilweise mit unterschiedlichen Vorzeichen. Dazu gehören die Lagerhaltung von leichtem Heizöl, der

Witterungseinfluss, die weiter anhaltenden Auswirkungen von Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie sowie Preiseinflüsse. Diese Faktoren haben jedoch unterschiedliche Wirkungsmuster, so dass ihre Auswirkungen auf die Höhe der Treibhausgasemissionen im Jahr 2021 unterschiedlich zu bewerten sind. Denn anders als beispielsweise die Folgen der Covid-19-Pandemie sind die Lagerhaltung und die Witterung Einflüsse, die jedes Jahr erneut auftreten und stochastische Schwankungen der Emissionshöhe im Gebäudesektor in die eine oder andere Richtung bewirken können.

- 103 Anders als im Jahr 2020 wirkte sich die **Lagerhaltung** im Jahr 2021 mindernd auf die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor aus. Denn nach Angaben der AGEB wurden 2021 die Tankbestände von leichtem Heizöl um rund 113 PJ geleert. Dies wird vor allem auf den starken Anstieg der Energieträgerpreise sowie die kühlere Witterung zurückgeführt (AGEB 2022b). Damit hätte der tatsächliche Heizölverbrauch im Gebäudesektor im Jahr 2021 deutlich höher gelegen als die abgesetzte Menge an Heizöl, die in den Amtlichen Mineralölstatistiken erfasst wird und die damit auch der Emissionsberechnung des Umweltbundesamtes zugrunde liegt.¹⁴ Diese statistisch nicht dem Jahr 2021 zugeordnete Menge an Heizöl würde zusätzlichen Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor von rund 8 Mt CO₂-Äq.¹⁵ entsprechen.
- 104 Die Emissionsentwicklung im Gebäudesektor wird außerdem durch die **Witterungsverhältnisse** im jeweiligen Emissionsjahr beeinflusst. Im Jahr 2021 wirkte der Witterungseinfluss emissionssteigernd, da das Jahr 2021 ein eher kaltes Jahr war. Unterschiedliche Berechnungsmethoden und Annahmen führen zu einer Bandbreite einer überschlägig berechneten Emissionssteigerung gegenüber dem langjährigen Mittel (1990–2020) von rund 1–2 Mt CO₂-Äq.¹⁶ Gegenüber dem Vorjahr 2020 (einem vergleichsweise warmen Jahr) ergibt sich überschlägig eine Emissionssteigerung von 10–14 Mt CO₂-Äq.¹⁷
- 105 Damit lässt sich feststellen, dass im Gebäudesektor sowohl die Lagerhaltung als auch die Witterung einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der vom Umweltbundesamt berechneten Treibhausgasemissionen haben. Dieser Einfluss ist jedoch stochastischer Art und kann daher von Jahr zu Jahr sowohl in der Höhe als auch in der Wirkungsrichtung sehr unterschiedlich ausfallen. Die Größenordnung dieser jährlich schwankenden Effekte lag damit im Jahr 2021 – wie auch schon im Jahr 2020 – über dem Wert der jährlich zugelassenen Emissionsmenge im Gebäudesektor. Wie solche jährlichen Schwankungen der Emissionsentwicklung im Zusammenhang mit dem Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes, bei Zielüberschreitungen unmittelbar die Erstellung eines

¹⁴Im Jahr 2020 hatte der Lagerhaltungseffekt ein umgekehrtes Vorzeichen. Denn die Heizöltanks wurden um 129 PJ gefüllt, was vor allem auf die zeitlich begrenzte Mehrwertsteuersenkung und die Ankündigung eines im Januar 2021 wirksam werdenden CO₂-Preises zurückgeführt wurde (AGEB 2021a). Damit hätten die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor bei einer verbrauchsbezogenen Betrachtung im Jahr 2020 um rund 9,5 Mt CO₂-Äq. unterhalb des absatzbasierten Wertes gelegen. [Anm. d. A.: Im Bericht des Vorjahres wurde ein Lagereffekt von 1,7 Mt CO₂-Äq. berichtet. Dieser Wert muss an dieser Stelle auf Basis von Rücksprachen mit der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. korrigiert werden.]

¹⁵ Unter Annahme eines Emissionsfaktors von 74 t CO₂/PJ für leichtes Heizöl.

¹⁶ Die Aussage beruht auf folgenden Annahmen: 1,2 % mobile Verbraucher im Gebäudesektor; 80–90 % Heizwärmeanteil; Änderung gegenüber langjährigem Mittel 0,8 % (AGEB 2022b), BDEW (nach Einwohnerzahlen gewichtet 1991–2020 2,15 %) (BDEW 2021), Öko-Institut (langjähriges Mittel der letzten 20 Jahre 2,3 Mt CO₂) (Matthes et al. 2022).

¹⁷ Die Aussage beruht auf folgenden Annahmen: 1,2 % mobile Verbraucher im Gebäudesektor; 80–90 % Heizwärmeanteil; Änderung gegenüber Vorjahr 13,6 % (AGEB 2022b), BDEW (nach Einwohnerzahlen gewichtet 11,52 %) (BDEW 2021), BDEW (nach Gasabsatz gewichtet 11,6 %) (BDEW 2021)

Sofortprogramms auszulösen, einzuschätzen sind und welche weiteren Handlungsoptionen es noch geben könnte, wird im nachfolgenden Kapitel 7 diskutiert.

- 106 Der regelmäßige, substanzielle Einfluss von Sondereffekten - darunter vor allem der Witterungseinfluss - erschwert insbesondere im Gebäudesektor die Deutung jährlicher Emissionswerte. Betrachtet man die Emissionsentwicklung in den letzten 10 bis 15 Jahren, so ist im Gebäudesektor vordergründig keine eindeutige Richtung erkennbar. Die Treibhausgasemissionen schwankten relativ stark und bewegten sich mal nach oben und mal nach unten. Allerdings hängen die jährlichen Schwankungen - wie oben dargestellt - unter anderem stark von den jeweiligen Witterungsbedingungen ab. In den vergangenen Jahren waren verstärkt Witterungsschwankungen zu beobachten. Welche Auswirkungen diese auf die Emissionsberechnung in einzelnen Jahren haben können, wird im Folgenden beispielhaft basierend auf Gradtagszahlen des Forschungszentrums Jülich illustriert (FZ Jülich 2022).¹⁸ So variierte die Gradtagszahl seit dem Jahr 2010 zwischen einem Minimum von 2.698 (2020) und einem Maximum von 3.769 (2010), was im Übrigen auch die Minima und Maxima seit 1990 sind. Mit einer Gradtagszahl von 3.229 lag das Jahr 2021 etwa in der Mitte dieser Minima und Maxima, aber leicht über dem langjährigen Mittel (1990–2020). Eine vergleichbare Gradtagszahl hatte in der jüngeren Vergangenheit das Jahr 2009 mit 3.264. Die Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors im Jahr 2009 lagen mit 139 Mt CO₂-Äq. deutlich oberhalb des Wertes für 2021 (115 Mt CO₂-Äq.), selbst bei einer Korrektur um den Lagereffekt. Dies deutet auf eine strukturelle Senkung der Gebäudeemissionen im vergangenen Jahrzehnt hin, auch wenn diese in der Emissionsberechnung von stochastischen Effekten überlagert wird. Nähere Betrachtungen behält sich der Expertenrat für Klimafragen für sein im Herbst 2022 vorgesehenes Gutachten zur Trendentwicklung der Treibhausgasemissionen vor.
- 107 Neben den beschriebenen stochastischen Effekten wurde die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor auch im Jahr 2021 durch die Maßnahmen zur Eindämmung der **Covid-19-Pandemie** beeinflusst. Dazu gehört insbesondere der Effekt einer Zunahme von Homeoffice. Dieser weist jedoch keine eindeutige Richtung auf, da sich unterschiedliche Wirkungen teilweise kompensieren (O'Brien und Yazdani Aliabadi 2020; Riley et al. 2021).¹⁹ Überlagert wird dieser Einfluss außerdem durch **Preiseffekte**. Denn im Jahr 2021 sind die Energiepreise für Endkunden deutlich gestiegen (BDEW 2022; BMWK 2022). Dazu hat neben marktgetriebenen Einflüssen nicht zuletzt das Brennstoffemissionshandelsgesetz (Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen - BEHG) beigetragen, mit welchem seit Januar 2021 ein CO₂-Preis von zunächst 25 Euro pro Tonne CO₂-Äq. eingeführt wurde. Ob und wie stark sich dieser Preiseffekt bereits kurzfristig im Jahr 2021 emissionsmindernd im Gebäudesektor auswirkte, kann zum derzeitigen Zeitpunkt jedoch nicht abgeschätzt werden.

6.2.2 Verkehr

- 108 Der Verkehrssektor hat im Jahr 2021 auf Basis der Emissionsberechnungen des Umweltbundesamtes mit 148,1 Mt CO₂-Äq. sein Sektorziel um 3,1 Mt CO₂-Äq. überschritten, während er im Jahr 2020 noch

¹⁸ Die Darstellung erfolgt beispielhaft anhand der Gradtagszahlen des Forschungszentrums Jülich, da dort längere Zeitreihen zur Verdeutlichung des Effektes verfügbar sind als für die vom Umweltbundesamt für die Emissionsberechnung genutzten Gradtagszahlen des BDEW.

¹⁹ Relative Einigkeit besteht lediglich darüber, dass die Effekte im privaten und gewerblichen Bereich entgegengesetzt ausfallen. Das heißt, dass tendenziell mit einem Anstieg der Emissionen in den Wohngebäuden zu rechnen ist, während die Emissionen in den Nicht-Wohngebäuden eher sinken.

um 4,4 Mt CO₂-Äq. darunter lag. Auch schon zwischen den Jahren 2012 und 2019 sind die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor – mit Ausnahme des Jahres 2018 – kontinuierlich angestiegen. In der Dekompositionsanalyse der Emissionsentwicklung sind die steigende Transportintensität (Personenkilometer pro Einwohner) und eine ebenfalls steigende Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen pro Primärenergieverbrauch Verkehr) wichtige erklärende Faktoren dieser Entwicklung (siehe Abbildungen 23 und 24, ERK (2021b) und Shammugam et al. (2022)). Im Jahr 2020 verringerten sich die Treibhausgasemissionen vor allem durch die Effekte der Covid-19-Pandemie deutlich (siehe ERK (2021b)), um im Jahr 2021 wieder um 1,2 % (1,7 Mt CO₂-Äq.) anzusteigen. Die Auswirkungen der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie spielten dennoch auch im Jahr 2021 noch eine wichtige Rolle. Sie werden daher im Folgenden näher betrachtet. Ein im Jahr 2021 hinzukommender Aspekt sind die gestiegenen Energiepreise.

- 109 Die Effekte der Maßnahmen zur Eindämmung der **Covid-19-Pandemie** waren insbesondere im Straßenverkehr, der 98 % der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor umfasst (siehe Kapitel 2 und 3), in den ersten Monaten des Jahres 2021 noch deutlich ausgeprägt. Im Verkehrsbarometer der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt 2022) lag die Entwicklung des Straßenverkehrs im gesamten Jahr 2021 unter dem Wert von 2019 sowie die ersten drei Monate größtenteils unter dem Wert von 2020. Diese verminderte Mobilität ist auch deutlich an den monatlichen Otto- und Dieselmotoren-Absätzen erkennbar. Auf dieser Basis lässt sich eine vorsichtige Abschätzung des emissionsmindernden Covid-19-Effekts in Höhe von mehreren Millionen Tonnen CO₂-Äq. treffen. So wäre beispielsweise der jährliche Absatz bei Benzin um 4,6 % und bei Diesel um 3,7 % höher ausgefallen, wenn der Absatz im Januar und Februar 2021 so hoch gewesen wäre wie in den ersten zwei Monaten des Jahres 2020. Dies entspräche zusätzlichen Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 6,6 Mt CO₂-Äq. Insgesamt zeigten die Sommermonate 2021 eine fast vollständige Erholung auf das Niveau des Jahres 2019. Insbesondere die Mobilität auf längeren Distanzen lag in der ersten Jahreshälfte bis zu 40 % unter dem Wert des Jahres 2019 (Destatis 2022d). Im Sommer hingegen lag nur die Kurzstrecke unterhalb der Mobilität im Jahr 2019, was auf eine Verstetigung des Homeoffice-Verhaltens hindeuten könnte. Auch die Treibhausgasemissionen des nationalen Flugverkehrs lagen weiterhin unter den Treibhausgasemissionen des Jahres 2019 und verringerte sich nochmals im Vergleich zum Jahr 2020 (UBA 2022d; siehe Destatis 2022i). Teilweise könnten sich diese besonderen Effekte zwar verstetigen, die Entwicklung des Treibstoffabsatzes deutet jedoch eher darauf hin, dass dessen Verringerung zeitlich sehr begrenzt an die Eindämmungsmaßnahmen gekoppelt war und eine Erholung schon in den Sommermonaten stattgefunden hat (siehe auch Creutzig et al. (2021)).
- 110 Ein weiterer Sondereffekt des Jahres 2021 war – wie im Gebäudesektor – ein **Preiseffekt**. Dieser setzt sich aus der Einführung eines CO₂-Preises im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes in Höhe von 25 Euro pro Tonne CO₂-Äq. und dem beobachteten marktgetriebenen Anstieg der Energiepreise zusammen. Daraus resultierten durchschnittlich 21,3 % bzw. 24,6 % höhere Kraftstoffpreise für Benzin und Diesel (ADAC 2022). Generell wirken solche Preissteigerungen vor allem mittel- und langfristig nachfrage- und somit emissionsmindernd (Edenhofer et al. 2019).
- 111 Im Jahr 2021 haben mit den Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie und dem Anstieg der Kraftstoffpreise zwei Effekte die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor besonders geprägt. Beide wirkten tendenziell emissionsmindernd. Eine erste vorsichtige Abschätzung der emissionsmindernden Wirkung der Covid-19-Eindämmungsmaßnahmen auf den Treibstoffabsatz in den ersten zwei Monaten des Jahres 2021 liegt in der Größenordnung von mehreren Millionen

Tonnen CO₂-Äq. Daraus lässt sich ableiten, dass ohne den Covid-19-Effekt die Zielverfehlung im Sektor Verkehr tendenziell noch höher ausgefallen wäre.

6.2.3 Industrie

- 112 Der Industriesektor hat im Jahr 2021 mit 181,3 Mt CO₂-Äq. die jährlich zulässige Emissionsmenge von 182 Mt CO₂-Äq. mit 0,7 Mt CO₂-Äq. nur knapp unterschritten. Im Jahr 2021 stiegen die Treibhausgasemissionen erstmals seit dem Jahr 2017 wieder an. Gegenüber dem Jahr 2020 betrug der Anstieg 5,5 % (9,4 Mt CO₂-Äq.). Die im letztjährigen Prüfbericht des Expertenrats für Klimafragen vorgenommene Dekompositionsanalyse (siehe ERK (2021b) und Shammugam et al. (2022)) zeigt, durch welche Faktoren sich diese Entwicklungen erklären lassen. Der wichtigste treibende Faktor ist die Produktionsentwicklung. Zusätzlich traten im Jahr 2021 zunehmend Liefer- und Ressourcenengpässe auf.
- 113 Die andauernde **Covid-19-Pandemie** wirkte sich in Summe im Jahr 2021 – gemessen an Bruttoinlandsprodukt und Produktionsindex – im Vergleich zu den Werten des Vor-Pandemiejahres 2019 mindernd auf die Produktionsmengen der Industrie aus. Nach dem starken Einbruch der Produktionsmengen mit Tiefpunkt im April des Jahres 2020 zeigt sich ein Wiederanstieg, der jedoch noch nicht das Niveau der Zeit vor der Pandemie erreicht hat (Destatis 2022f). Der Industriesektor weist zudem aufgrund der Vielzahl der Branchen und Produktionsprozesse eine hohe Heterogenität auf, die sich auch in sehr unterschiedlichen Emissionsintensitäten widerspiegelt. So ist beispielsweise in der emissionsintensiven chemischen Industrie der Produktionsindex im Jahr 2021 gegenüber dem Jahr 2019 gestiegen. Auch die noch emissionsintensivere Rohstahlproduktion lag im Jahr 2021 mit 40,1 Millionen Tonnen deutlich höher als im Jahr 2020 (35,7 Millionen Tonnen) und damit sogar etwas über dem Niveau von vor der Pandemie (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022). Demgegenüber lag der Produktionsindex in den deutlich weniger emissionsintensiven Branchen Maschinenbau sowie Kraftwagen- und Kraftwagenteile im Jahr 2021 noch unter dem Wert des Jahres 2019 (Destatis 2022j). Dabei ist allerdings auch der Rückgang der Pkw-Zulassungen in Deutschland um 10 % im Jahr 2021 im Vergleich zum Vorjahr zu berücksichtigen. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Produktion in den betroffenen Branchen gar nicht mehr das Niveau des Vor-Pandemiejahres 2019 erreicht (VDIK 2022). Das Baugewerbe wiederum folgt weiterhin einem steigenden Trend (Destatis 2022f). Auch die im Jahr 2021 vermehrt auftretenden **Lieferengpässe** aufgrund von Störungen in globalen Lieferketten (Destatis 2022e) und die zunehmende **Knappheit von Rohstoffen** wirkten sich dämpfend auf die Produktion in einigen Branchen (wie Automobilindustrie und Maschinenbau) aus.
- 114 Die Wirkung wichtiger treibender Faktoren auf die Emissionsentwicklung in der Industrie im Jahr 2021 ist nicht eindeutig. Zwar wirkten einige tendenziell emissionsmindernde Sondereffekte als Folge der Covid-19-Pandemie weiter fort und wurden durch Liefer- und Ressourcenengpässen noch verstärkt. Auf der anderen Seite verlief die Entwicklung je nach Branche sehr unterschiedlich. Einige Branchen erreichten auch wieder das Produktionsniveau von vor der Covid-19-Pandemie, darunter auch emissionsintensive Branchen wie die Stahlindustrie. Wie sich die Treibhausgasemissionen in der Industrie im Jahr 2021 ohne diese Sondereinflüsse entwickelt hätten, lässt sich daher an dieser Stelle nicht eindeutig bewerten.

7 Ansätze zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes

- 115 Die europäische Klimapolitik bildet mit der europäischen Klimaschutzverordnung den übergeordneten Rahmen für die deutsche Klimapolitik und somit auch für das Bundes-Klimaschutzgesetz. Die wichtigsten geltenden Instrumente darin sind das europäische Emissionshandelssystem (EU Emissions Trading System – EU-ETS), das wesentliche Emissionsanteile der Sektoren Energiewirtschaft und Industrie umfasst, sowie die europäische Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation – ESR), mit der alle sonstigen Treibhausgasemissionen erfasst sind (bis auf LULUCF und nationaler Flugverkehr). Während sich aus dem EU-ETS keine festen Emissionszielwerte der adressierten Sektoren (bzw. der in diesen Sektoren adressierten Anteile) für Deutschland ergeben, schreibt die ESR für alle darin erfassten Emissionen in Summe jahresscharfe Zielwerte für Deutschland vor, aus deren Nichterreichen entsprechende Strafmaßnahmen bzw. die Verpflichtung zum Erwerb entsprechender Emissionsrechte im Ausgleich mit anderen europäischen Ländern resultieren.
- 116 Ein zentrales Ziel jeder Klimapolitik ist die Begrenzung der Menge an Treibhausgasemissionen. Eine Klassifizierung klimapolitischer Instrumente ergibt sich aus dem grundlegenden Mechanismus zur Erreichung dieser Zielstellung. Instrumenten mit politisch vorgegebener fixer Mengenbegrenzung – sei es als Budget über einen definierten Zeitraum oder über jahresscharfe Mengen – und einem entsprechend etablierten Handelssystem zum Erwerb von Emissionsrechten (Zertifikaten) stehen Instrumente gegenüber, bei denen eine solche fixe Mengenbegrenzung nicht gegeben ist und bei denen durch unterschiedliche politische Maßnahmen politisch vorgegebene Mengenziele indirekt angesteuert werden. Auf europäischer Ebene ist der EU-ETS derzeit das einzige Instrument mit politisch vorgegebener fixer Mengenbegrenzung. Im Rahmen des Fit-for-55-Pakets der europäischen Union wird ein gleichartiges Instrument aktuell diskutiert, das ab 2026 gemeinsam für die Sektoren Gebäude und Verkehr gelten soll (EU-ETS 2); ob – und wenn ja mit welcher Ausgestaltung im Detail – eine Einführung erfolgen wird, ist derzeit noch nicht sicher absehbar. In den aktuellen Verhandlungen auf europäischer Ebene wird derzeit explizit der Vorschlag eines Preiskorridors mit Mindest- und Höchstpreis als Kompromiss verschiedener Ansätze diskutiert (Carbon pulse 2022).
- 117 Seit 2021 gilt in Deutschland das Brennstoffemissionshandelsgesetz (Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen – BEHG), mit dem eine Bepreisung von Treibhausgasemissionen für Kraft- und Heizstoff, also vor allem für Emissionen in den Sektoren Verkehr und Gebäude, eingeführt wurde. Allerdings wurde für die Einführungsphase bis einschließlich 2025 keine freie Preisbildung etabliert, sondern ein jährlich steigender Festpreis für Zertifikate gesetzlich festgelegt, der von 25 Euro pro Tonne CO₂-Äq. im Jahr 2021 auf 55 Euro pro Tonne CO₂-Äq. im Jahr 2025 ansteigt (§ 10 Abs. 2 BEHG). Derzeit sieht das Gesetz ab 2026 eine Versteigerung von Zertifikaten vor, wobei für das Jahr 2026 ein Preiskorridor (55 bis 65 Euro pro Tonne CO₂-Äq.) festgelegt ist.
- 118 Während der EU-ETS und das Brennstoffemissionshandelsgesetz übergeordnete Instrumente zur Minderung von Treibhausgasemissionen darstellen, sind im Bundes-Klimaschutzgesetz die nationalen Klimaziele festgelegt. Das Bundes-Klimaschutzgesetz definiert dabei zunächst in § 3 KSG und § 3a KSG die klimapolitischen Ziele für Deutschland für die Jahre 2020–2040, 2045 und 2050. Ferner definiert das Gesetz für alle Emissionen außer LULUCF einen Steuerungsmechanismus, mit dem die Zielerreichung sichergestellt werden soll. Dazu werden die Emissionsziele für das Jahr 2030 aus § 3 KSG auf sechs

Sektoren aufgeteilt und für alle Sektoren (außer Energiewirtschaft) ein jahresscharfer Zielpfad von 2020 bis 2030 definiert (Anlage 2 KSG). Dabei erfolgt eine Zuweisung der sektoralen Verantwortung für die Einhaltung der definierten Sektorziele an das jeweils zuständige Ministerium. Innerhalb des Bundes-Klimaschutzgesetzes wird zwar im Hinblick auf möglicherweise notwendig werdende Zielanpassungen auf die Europäische Klimaschutzverordnung und die Europäische Emissionshandelsrichtlinie Bezug genommen (§ 4 Abs. 1 KSG). Weder die Zuschnitte der Sektoren noch die Steuerungslogik des Bundes-Klimaschutzgesetzes nehmen jedoch auf den EU-ETS oder das Brennstoffemissionshandelsgesetz Bezug.

7.1 Bedarf für eine Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes

119 Der Expertenrat für Klimafragen sieht den Bedarf das Bundes-Klimaschutzgesetz weiterzuentwickeln, sowohl im Hinblick auf die bessere Einpassung in den europäischen Rahmen, die Schaffung einer direkten Verbindung zum Brennstoffemissionshandelsgesetz sowie einiger weiterer Aspekte seiner Ausgestaltung. Damit stimmt der Expertenrat für Klimafragen mit dem Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP überein, der eine Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes noch im Jahr 2022 vorsieht. Nachfolgend werden die vom Expertenrat wahrgenommenen Handlungsfelder beschrieben, anknüpfend an den Prüfbericht 2021 (ERK 2021b, Kap. 8) und den Bericht zum Sofortprogramm 2021 (ERK 2021a). Der Expertenrat für Klimafragen sieht die folgenden grundsätzlichen Handlungsfelder zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes:

- i) Mangelnde Kongruenz zwischen dem Bundes-Klimaschutzgesetz und dem europäischen Instrument EU-ETS und den europäischen Zielvorgaben im Rahmen der ESR (siehe hierzu auch (ERK 2021b)):

Es besteht keine Kongruenz in der Aufteilung der Sektoren im Bundes-Klimaschutzgesetz mit dem übergeordneten europäischen Instrument des EU-ETS oder den europäischen Zielvorgaben der ESR. Daraus ergeben sich Probleme sowohl im Hinblick auf die Zieldefinition als auch im Hinblick auf die Steuerungslogik in einigen Sektoren. Während im Energiesektor bis auf die Jahre 2022 und 2030 keine jährlichen Zwischenziele vorgesehen sind, besteht eine besonders große Inkongruenz für den Sektor Industrie, für den das Bundes-Klimaschutzgesetz jahresscharfe Ziele definiert, bei dem aber wesentliche Anteile unter das EU-ETS fallen und der die Entwicklung der europäischen und damit auch der deutschen Emissionen in den betroffenen Sektoranteilen bestimmt. Im Falle einer Überschreitung würde sich im Industriesektor ein sektorenbezogenes Sofortprogramm, wie es das Bundes-Klimaschutzgesetz vorsieht, mit durch den Emissionshandel verursachten Entwicklungen im Bereich der Emissionen überlagern.

- ii) Mangelnde Kongruenz zwischen dem Bundes-Klimaschutzgesetz und dem Brennstoffemissionshandelsgesetz:

Es besteht keine Kongruenz in der Aufteilung der Sektoren im Bundes-Klimaschutzgesetz mit den durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz adressierten Emissionen. Daraus ergeben sich bereits heute Probleme im Hinblick auf die Steuerungslogik in den betroffenen Sektoren und mit der möglichen, späteren Einführung einer fixen Begrenzung von Emissionen innerhalb des Brennstoffemissionshandelsgesetz oder des EU-ETS 2 auch Probleme im Hinblick auf die Zieldefinition in diesen Sektoren.

In Abbildung 9 sind die Emissionen des Jahres 2021 der sechs Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes dargestellt und welche Anteile davon jeweils durch die Instrumente EU-ETS und Brennstoffemissionshandelsgesetz adressiert werden. Die Abbildung zeigt, dass die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie anteilig am stärksten durch das EU-ETS adressiert werden, aber auch Emissionsquellen beinhalten, die unter das Brennstoffemissionshandelsgesetz fallen sowie Emissionsquellen, die durch keines dieser Instrumente erfasst werden („sonstige ESR“). Die Emissionsquellen der Sektoren Gebäude und Verkehr werden zu wesentlichen Teilen und diejenigen der Landwirtschaft zu kleinen Teilen durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz adressiert. Lediglich die Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstige fallen unter keines der genannten Instrumente.

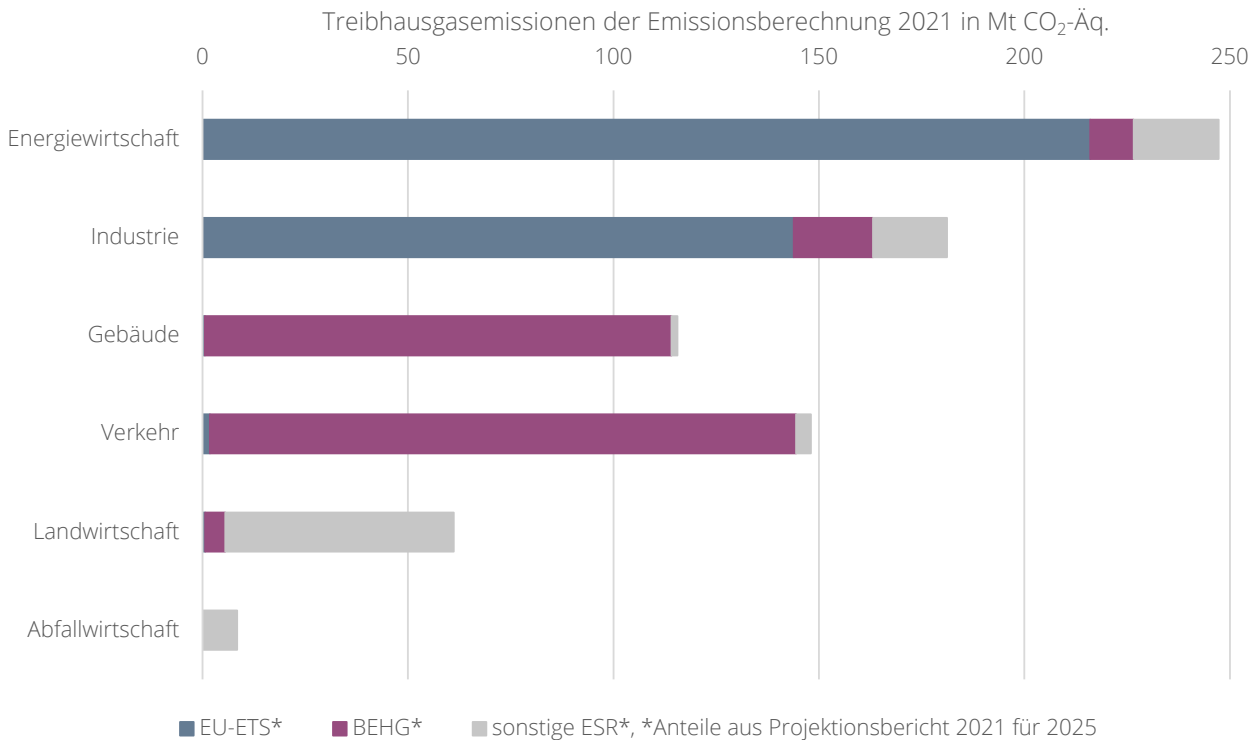
iii) Auslösemechanismus für Sofortprogramme:

In der gültigen Fassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes ist die Verpflichtung zur Vorlage von Sofortprogrammen das einzige verpflichtende Instrument zur Nachsteuerung bei Zielüberschreitung einzelner Sektoren. Der Auslösemechanismus für diese Sofortprogramme scheint aus einer Reihe von Gründen verbesserungswürdig. Dazu gehören: i) die Unsicherheit der Datengrundlage, die die Grundlage für die Berechnung der Vorjahresemissionen bildet; ii) die Nichtberücksichtigung von jahresspezifischen Sondereffekten (wie Witterungseffekte oder Lagerhaltungseffekte im Gebäudesektor); iii) die ausschließliche Betrachtung von Emissionswerten ohne Einbeziehung weiterer für den jeweiligen Sektor relevanter Entwicklungen, die z. B. durch geeignete Indikatoren ermittelt werden könnten; iv) eine ausschließliche Berücksichtigung vergangener Entwicklungen (ex-post) und entsprechend keine vorausschauende Perspektive (ex-ante).

iv) Klärungsbedarf bei den Handlungsanforderungen, die sich aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz ergeben:

Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht Handlungsanforderungen in Form der Verpflichtung zur Vorlage von Sofortprogrammen bei der Überschreitung der Jahresemissionsmengen (Anlage 2 KSG) vor. Diese Sofortprogramme dienen dazu, die im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegte politische Verpflichtung der Erreichung der Emissionsziele zu erfüllen. Es ist jedoch ungeregt, wie die in § 8 Abs. 1 KSG formulierte Anforderung an ein Sofortprogramm zur Einhaltung der künftigen Jahresemissionsmengen des Sektors zu interpretieren ist, und was konkrete, nachvollziehbare Kriterien für die Bewertung wären (ERK 2021a).

Abbildung 9: Abdeckung der Treibhausgasemissionen der Emissionsberechnung 2021 durch den europäischen Emissionshandel (EU-ETS) und dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)



Die Anteile wurden aus dem Projektionsbericht 2021 für das Jahr 2025 übernommen (Öko-Institut et al. 2021, S. 333 f.).
Eigene Darstellung.

120 Der Expertenrat für Klimafragen empfiehlt, die umfassenden Handlungsbedarfe in den genannten Handlungsfeldern zeitnah anzugehen, um das Bundes-Klimaschutzgesetz passgenau in den europäischen Rahmen einzubetten, die grundlegenden Fragen zur Zielstellung und der Rolle des intertemporalen Ausgleichsmechanismus zu klären und die Steuerungslogik sinnvoll mit den übergreifenden Instrumenten des EU-ETS und des Brennstoffemissionshandelsgesetzes zu verzahnen. Darüber hinaus sieht der Expertenrat für Klimafragen verschiedene kurzfristig umsetzbare Verbesserungsmöglichkeiten in der technischen Ausgestaltung des Auslösemechanismus und verschiedene weitere Optionen zur Weiterentwicklung im Sinne einer Vervollständigung der Transparenz zum Emissionsgeschehen und den dafür zugrundeliegenden strukturellen Entwicklungen.

7.2 Die Bedeutung und Rolle von Sektoren

121 Generell wäre ein stärkerer Abgleich der Ziele und der sektoralen Steuerung mit den übergreifenden Instrumenten EU-ETS und Brennstoffemissionshandelsgesetz – wie oben diskutiert – wünschenswert. Allerdings haben die Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes dennoch eine wichtige Funktion als Governance-Instrument, da sie die politische Verantwortung zur Einhaltung der Ziele unter Einbeziehung politischer und gesellschaftlicher Randbedingungen und Anforderungen an ein

zuständiges Ministerium verweisen. Auch bei einer bindenden Emissionsobergrenze, umgesetzt über Emissionshandelssysteme, bliebe die Notwendigkeit einer sektoralen Betrachtung bestehen.

- 122 Im Rahmen des Bundes-Klimaschutzgesetzes und seiner Steuerungslogik haben die Sektoren in Verbindung mit den zulässigen Jahresemissionsmengen („Sektorziele“) eine wichtige Funktion als Governance-Instrument zur Erfüllung der nationalen sowie europäischen Klimaschutzziele. Sie ermöglichen die Zuweisung der politischen Verantwortung an ein zuständiges Ministerium und verweisen somit die Zuständigkeit zur Einhaltung der Ziele in das passende Politikfeld und das entsprechende Ministerium (§ 4 Abs. 4 KSG). Zur Umsetzung ist ein jährliches Monitoring auf Basis der Sektorziele vorgesehen (§ 5 Abs. 1 und 2 KSG) sowie die Nachsteuerung über die verpflichtende Vorlage eines Sofortprogramms durch das zuständige Ministerium als Entscheidungsvorlage der Bundesregierung bei Überschreiten dieser Jahresemissionsmengen (§ 8 Abs. 1 KSG). Neben den Sektorzielen verfolgt das Bundes-Klimaschutzgesetz implizit einen Budgetansatz (§ 4 Abs. 3 KSG), da die über- oder unterschrittene Emissionsmenge eines Sektors ab dem Jahr 2021 auf die darauffolgenden Jahre bis zu den nächsten Zieljahren (2030, 2040, 2045) angerechnet wird (Ausgleichsmechanismus).
- 123 Eine grundsätzliche Alternative zur im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Steuerungslogik ist die politisch vorgegebene fixe Begrenzung von Emissionsmengen in Verbindung mit der Etablierung eines entsprechenden Handelssystems. Aus wirtschaftstheoretischer Sicht könnten die übergreifenden Emissionsgrenzen aus § 3 Abs. 1 KSG dementsprechend durch eine bindende Emissionsgrenze für alle Emissionssektoren durchgesetzt werden. Gemäß den Erkenntnissen der Umweltökonomik sinken die Kosten der Emissionsminderung, je höher das Aggregationsniveau der Mengenbegrenzung ist (bspw. international statt national, sektorenübergreifend statt sektoral, firmenübergreifend statt firmenspezifisch etc.). Mit dem EU-ETS ist ein solcher Ansatz auf europäischer Ebene für große Teile der Sektoren Energiewirtschaft und Industrie durchgesetzt, allerdings aufgrund der innereuropäischen Wechselwirkungen nur mit unscharfer Steuerungswirkung für die nationalen Emissionen in den betroffenen Bereichen. Mit dem Brennstoffemissionshandelsgesetz sind in Deutschland weitere Sektoren, vor allem Verkehr und Gebäude, von einer Mengengrenze erfasst, welche aber gemäß § 10 Abs. 2 BEHG bis einschließlich dem Jahr 2025 einen Festpreis hat und noch nicht einem vollständigen Marktprozess unterlegen ist und somit bisher nur ein Preis-, aber kein Mengeninstrument ist. Damit sind etwa 85 % der deutschen Treibhausgasemissionen zumindest perspektivisch von übergreifenden fix begrenzenden Mengeninstrumenten erfasst, siehe Abbildung 9.
- 124 Wegen der scheinbaren theoretischen Überlegenheit (hinsichtlich der Vermeidungskosten) einer aggregierten Mengenbegrenzung im Vergleich zu einer differenzierten Instrumentierung wird daher die Sinnhaftigkeit der Steuerung nach sektoralen Teilzielen, wie sie im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehen sind, regelmäßig in Frage gestellt. Bei Überlegungen hinsichtlich einer aggregierten Mengensteuerung als einzigem Steuerungsinstrument müssen allerdings folgende kritische Punkte berücksichtigt werden:
- Vermeidungskosten sagen nichts über Verteilungswirkungen aus. Nicht jede kosteneffiziente Lösung entspricht notwendigerweise den (politisch zu definierenden) Anforderungen an die Verteilungsgerechtigkeit. Wenn nicht nur Kosteneffizienz, sondern auch eine politisch definierte Verteilungsgerechtigkeit erreicht werden soll, müsste es also zudem zu einer verteilungspolitisch gewünschten Umverteilung kommen. Trotz vielfältiger Bemühungen zur Umverteilung zwischen

Haushalten und/oder Unternehmenstypen ist in der politischen Realität sicherlich weit von einer optimalen Lösung des Verteilungsproblems entfernt.

- Viele Annahmen des theoretischen Modells sind nicht ohne weiteres in der Realität gegeben. Das theoretische Modell geht unter anderem davon aus, dass vollständige, perfekte Märkte vorliegen. Diese Annahme ist in der Realität mit Nachdruck in Frage zu stellen, beispielsweise mit Blick auf einen realen, mengenbegrenzenden Zertifikatehandel. Mögliche Probleme sind beispielsweise i) keine vollständige Transparenz, ii) kein vollständiger Wettbewerb, iii) die Möglichkeit steigender Erträge, iv) mangelnde Liquidität auf Zertifikatmärkten, v) eine unzureichende Fähigkeit des Staats zur Selbstbindung und vi) Netzwerkeffekte in Bezug auf Infrastrukturen. Zudem verstärkt die Geschwindigkeit, mit der der klimagerechte Umbau der Wirtschaft und somit die Transformation des Kapitalstocks vorstattengehen soll, die Annahme, dass Marktkräfte allein nicht ausreichen werden. Beispielsweise ist in der Realität unklar, ob Gebäudeeigentümer:innen auf die Erwartung stark steigender CO₂-Preise tatsächlich im optimalen Umfang investieren würden, sei es wegen des Mieter-Vermieter-Dilemmas, oder wegen Restriktionen bei der Finanzierung, oder aufgrund sehr hoher privater Diskontraten, oder weil Zweifel an der langfristigen staatlichen Durchsetzung immer strengerer Klimaschutzvorgaben bestehen. Weitere Umsetzungsprobleme können sich daraus ergeben, dass aufgrund gegebener Begrenzungen keine ausreichend schnelle Marktreaktion erfolgen kann, beispielsweise durch eine Obergrenze bei der Leistungsfähigkeit des Bausektors. Dadurch kann die tatsächliche Investitionstätigkeit gegenüber der theoretisch optimalen zurückfallen, so dass Maßnahmen zur Minderung der Emissionen nicht im notwendigen Maß erfolgen, woraus erhebliche soziale Schieflagen resultieren können.

125 Es erscheint daher offensichtlich, dass neben eine aggregierte Mengensteuerung eine zusätzliche politische Gestaltung der Transformation treten muss. Für diese Gestaltung benötigt der Staat zusätzliche, möglichst differenzierte Planungs- und Steuerungssignale. Eine sektorale Betrachtung für die einzelnen Wirtschaftssektoren, wie im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehen, kann in diesem Sinne wertvolle Dienste leisten, indem sie i) Verteilungseffekte zwischen den Sektoren berücksichtigen kann (ex-ante bei der Festlegung und ex-post bei der nachträglichen Anpassung von Sektorzielen), ii) ein sektorales Monitoring des Fortschritts über die Zeit ermöglicht und iii) die Koordination der Planung z.B. von Infrastruktur erleichtern kann. Die Zuweisung der Verantwortlichkeiten für Sektorziele an einzelne Bundesministerien unterstützt dabei die Effizienz und Geschwindigkeit des Gesetzgebungsverfahrens sowie die Koordination innerhalb der Bundesregierung. Unabhängig von der allgemeinen Sinnhaftigkeit sektoraler Planung anhand von Sektorzielen ist allerdings zu prüfen, ob die Nutzung dieser Planungshilfen in Verbindung mit einer jahres- und sektorscharfen Steuerung, wie aktuell im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehen, effektivem und effizientem Klimaschutz dient – vor allem im Zusammenhang mit den sektorenübergreifenden Steuerungsinstrumenten des EU-ETS und des Brennstoffemissionshandelsgesetzes. Eine systematische Übersicht zum Mechanismus zur Erreichung von Emissionszielen, zur Rolle klimapolitischer Maßnahmen und Programme und zur Relevanz von Sektoren sowie einer sektoralen Betrachtung ist für eine grundlegende klimapolitische Instrumentierung mit und ohne fixe Mengenbegrenzung und Handelssystem in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Systematisierung von grundlegenden klimapolitischen Instrumenten (generisch)

	Grundlegende klimapolitische Instrumentierung	
	Mit Mengenbegrenzung, Handelssystem und Preisbildung	Ohne Mengenbegrenzung entlang von Sollzielen
Mechanismus zur Erreichung von Emissionszielen	- Durch Mechanismus gesichert - Kein Monitoring und keine Nachsteuerung	- Monitoring der Zielerreichung (Soll-Ist-Vergleich) - Nachsteuerung über klimapolitische Maßnahmen/Programme
Rolle klimapolitischer Maßnahmen und Programme	Flankierende Maßnahmen zum Ausgleich von Marktversagen, z.B.: - Mangelnde Transparenz - Mangelnder Wettbewerb - Netzwerkeffekte - Unzureichende Marktsteuerung angesichts hoher notwendiger Geschwindigkeit	Zentrale Steuerungselemente zur Erreichung der klimapolitischen Ziele Steuerung auf Basis von Regelmechanismen und/oder wissenschaftlich basierter Analysen (ex-post, ex-ante)
Relevanz von Sektoren	geringer	höher
	Angepasste Politikmaßnahmen in Politikfeldern mit je eigenen Randbedingungen (Betroffene/Akteure, Zahlungsbereitschaften, Vermeidungskosten, Hemmnisse, ...), z.B. - Adressierung von Verteilungsfragen/Abfederung sozialer Härten - Sicherstellung notwendiger Planung (z.B. im Infrastrukturbereich) - Flankierende Maßnahmen zur Unterstützung des Umbaus des Kapitalstocks - Verhinderung von Lock-in-Effekten	

Eigene Darstellung.

7.3 Optionen zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes

126 Grundsätzlich ist ein stärkerer Abgleich der Steuerungslogik des Bundes-Klimaschutzgesetzes mit den übergreifenden Instrumenten EU-ETS und Brennstoffemissionshandelsgesetz wünschenswert. Unabhängig von einer grundlegenden Überarbeitung des Steuerungsmechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes, kann eine zusätzliche Gliederung entlang der Instrumente EU-ETS, Brennstoffemissionshandelsgesetz und Sonstige bereits im Rahmen der heutigen Steuerungslogik unmittelbare Steuerungssignale bereitstellen. Diese wären vergleichsweise einfach umzusetzen, in den Sektoren, die auch durch das EU-ETS abgedeckt sind, beispielsweise durch nationale Auf-/Abschläge auf den ETS-Preis, im Brennstoffemissionshandelsgesetz (solange nicht mengenscharf gestellt) durch Erhöhung/Senkung des im Brennstoffemissionshandelsgesetz festgelegten Preispfades (siehe auch Kapitel 7.3.1).²⁰ Sollte ab 2026 durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz oder ein europäisches Handelssystem für die Sektoren Gebäude und Verkehr eine Instrumentierung mit fester Mengenvorgabe und entsprechendem Handelssystem für Zertifikate implementiert werden, wären –

²⁰ Ein Problem ist allerdings, dass die Daten für das Brennstoffemissionshandelsgesetz immer erst im Herbst zur Verfügung stehen, da die Erfüllungspflicht erst am 30. September des Folgejahres ausläuft (§ 8 BEHG), und damit ein größerer zeitlicher Verzug eintreten würde.

basierend auf heutigen Emissionsdaten – rund 85 % aller deutschen Treibhausgasemissionen von bindenden, sektorenübergreifenden Mengeninstrumenten abgedeckt. Die Steuerungsanforderungen an das Bundes-Klimaschutzgesetz wären damit massiv reduziert und grundsätzlich zu überarbeiten.

- 127 Der Tatbestand zur Auslösung eines Sofortprogrammes weist auf Seiten des Steuerungssignals Mängel auf und ist zu mechanistisch in seiner Anwendung. Der Sinn der Steuerung nach den Sektorzielen besteht im Bundes-Klimaschutzgesetz in der Zuweisung von Teilzielen zu Ministerien: Wenn alle Sektorziele erreicht werden, werden auch die übergeordneten Klimaziele erreicht. Die Einführung von Jahreszielen für alle Sektoren außer Energiewirtschaft dient der möglichst zeitnahen Steuerung bei absehbaren Zielverfehlungen. Insofern wäre an das Auslösesignal die Anforderung zu stellen, dass es die Verfehlung des Ziels für 2030 oder des Zielpfads bis 2030 möglichst frühzeitig und zuverlässig anzeigt. Dieser Anforderung kann die einfache Gegenüberstellung von Emissionsdaten des Vorjahrs mit den jeweiligen Zielvorgaben nur in Ansätzen gerecht werden. Der Expertenrat für Klimafragen sieht zahlreiche Optionen zur Verbesserung des Steuerungsmechanismus. Einen systematischen Überblick über diese Optionen gibt Tabelle 14. Eine grundsätzliche Alternative zu einem regelbasierten Mechanismus, der eine Rechtsfolge bei gegebenem Auslösetatbestand impliziert (wie im Klimaschutzprogramm die Verpflichtung zur Vorlage eines Sofortprogramms bei Überschreitung des jährlichen Zielwerts) wäre eine Beurteilung auf Basis einer qualifizierten Bewertung der Emissionsdaten und ggf. weiterer Indikatoren, die weitergehenden Aufschluss über zugrundeliegende Entwicklungen geben. Zudem könnte eine Betrachtung im Rückblick (ex-post), die sich auf Werte in der Vergangenheit stützt, durch eine Betrachtung in der Projektion (ex-ante) ergänzt oder auch ersetzt werden. Diese Optionen werden in Kapitel 7.3.1 und 7.3.2 näher beschrieben, einschließlich Beispielen für konkrete Verbesserungen. Darüber hinaus werden in Kapitel 7.3.3 weitere Hinweise für die Verbesserung der Monitoring-Funktion des Bundes-Klimaschutzgesetzes gegeben.

Tabelle 14: Systematisierung von Optionen zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Sektoren bzw. Sektoranteilen, die nicht durch ein Handelssystem mit fixer Mengengrenzung abgedeckt sind

Auslösetatbestand	Zeitliche Dimension	Optionen
Regelbasiert: Auslösung von Maßnahmen bzw. der Verpflichtung zur Vorlage von Programmen basierend auf einem Soll-Ist-Vergleich	Ex-post: Rückblick auf empirische/gemessene/ beobachtete Werte	Bereinigung der Daten, Umstellung auf Normjahre z.B. in Bezug auf Lagerhaltungs- und Witterungseffekte
		Verbesserung der Datengrundlage oder veränderter Berichtszeitpunkt
		Definition eines Korridors für die Zielüberschreitung
		Auslösung nur, wenn Überschreitung der Jahresemissionsmenge zwei Jahre hintereinander stattfindet
		Umstellung auf sektorale 3-Jahres-Budgets; Auslösung nur, wenn dieses Budget überschritten wird
		Prioritäre Nutzung der KSG-Flexibilitäten innerhalb der ESR
		Automatische Anhebung des BEHG Preises bei Überschreitung der Jahresemissionsmengen bei Verkehr und Gebäude
		Heranziehen von zusätzlichen Indikatoren zur Bewertung
Qualifizierte Beurteilung durch ein externes Gremium	Ex-post: Beurteilung auf Basis historischer Beobachtungen	Soll-Ist-Vergleich von künftigen Emissionsdaten auf Basis modellbasierter Projektionen (z.B. unter Nutzung der bereits etablierten Projektionsberichte)
		Definition eines Korridors für die Zielüberschreitung in Kombination mit zusätzlichen Entscheidungskriterien
		Trendanalysen: Analyse historischer Entwicklung von Emissionsdaten und Bewertung struktureller Entwicklungen
		Treiberanalysen: Analyse historischer Entwicklung wesentlicher Indikatoren
	Ex-ante: Beurteilung auf Basis erwarteter Entwicklungen	Einbeziehung modellbasierter Projektionen von Emissionsdaten (z.B. unter Nutzung der bereits etablierten Projektionsberichte)

Eigene Darstellung.

7.3.1 Weiterentwicklung der Nachsteuerung auf Basis vergangener Zielverfehlungen (ex-post Betrachtung)

128 Die Datengrundlage, die für die Bestimmung der sektoralen Jahresemissionsmengen durch das Umweltbundesamt zum Zeitpunkt der Berichterstattung verwendet wird, basiert teilweise noch auf vorläufigen Daten. So werden beispielsweise die Primärenergiedaten der AGEb, die eine hohe Relevanz in der Emissionsschätzung haben, erst nachträglich final veröffentlicht. Dies führt im Ergebnis zu Korrekturbedarfen gegenüber der späteren Inventarberichterstattung der Treibhausgase. So kann es passieren, dass ein Sofortprogramm (nicht) ausgelöst wird, obwohl sich später im Rahmen des Nationalen Treibhausgasinventars herausstellt, dass das Sektorziel doch (nicht) eingehalten wurde (und umgekehrt). Zum anderen kann die Aussagekraft eines einzelnen Punktwertes beschränkt sein, da

Sondereffekte auftreten können (Einfluss der Witterung auf den Heizbedarf, Schwankungen in Bezug auf die Produktion aus Erneuerbaren Energien, konjunkturelle Schwankungen, Einfluss von unerwarteten externen Ereignissen wie Covid-19-Pandemie). Beispielsweise hätte der Verkehrssektor ohne die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie sein Sektorziel im Jahr 2020 sehr wahrscheinlich nicht erreicht, der Gebäudesektor allerdings schon (ERK 2021). Trotzdem wurde auf dieser Basis ein Sofortprogramm vorgelegt und verabschiedet.

129 Eine Verbesserung des Steuerungssignals könnte beispielsweise über folgende Optionen erfolgen, die auch kombiniert werden können:

- i) Umstellung auf Normjahre oder bereinigte Daten: Die vorgelegten Emissionsdaten könnten auf Basis einer wissenschaftlich abgesicherten Bereinigungsverfahren mit dem Ziel der Quantifizierung (einschl. qualitativer und wo möglich quantitativer Angaben zur Unsicherheit dieser Quantifizierung) von jahresspezifischen Sondereffekten bereinigt werden, die nicht auf menschlichem Handeln basieren. Diese könnten in der Energiewirtschaft das wetterbedingte Wind- und Solardargebot umfassen und im Gebäudesektor die Umstellung auf temperaturbereinigte Daten. So wichen in den letzten zehn Jahre die beobachteten Emissionen im Gebäudesektor teilweise um mehr als 10 Mt CO₂-Äq. von den temperaturbereinigten Daten ab (Matthes et al. 2022). Ebenso sollten Lagerhaltungseffekte, die insbesondere bei Heizöl auftreten, aus den Jahreswerten rausgerechnet werden (siehe Diskussion in Kapitel 6.2.1). Ziel ist es, die Emissionsdaten um Sondereffekte zu bereinigen und damit einen besseren Anhaltspunkt zu haben, inwieweit die Emissionsentwicklung auf strukturelle Ursachen zurückzuführen ist und inwieweit Sondereffekte maßgeblich waren. Dies erhöht die Aussagekraft im Hinblick auf die Notwendigkeit zur Vorlage eines Sofortprogramms. Diese Bereinigung kann sowohl automatisiert erfolgen (bei Lagerhaltungs- oder Witterungseffekten) oder über eine Treiberanalyse durch ein externes Gremium, wodurch weitere Einflüsse, wie z.B. Konjunkturschwankungen mit einbezogen werden können.
- ii) Erhöhung der Datenverfügbarkeit: Prüfung, ob ein Vorziehen bestimmter amtlicher Berichtspflichten des statischen Bundesamts, der statistischen Landesämter und/oder der Energiedaten der AGEb möglich und sinnvoll umsetzbar wäre, ohne die Qualität der Daten maßgeblich zu verschlechtern. Alternativ könnte eine etwas spätere Veröffentlichung der Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt erwogen werden, z.B. erst Mitte April, wenn die Daten für den EU-ETS mit einbezogen werden können, die ab 1. April zur Verfügung stehen.
- iii) Definition eines Korridors: Es könnten zu definierende Unsicherheitsbereiche bei Über- oder Unterschreitung eines Sektorziels berücksichtigt werden, um in gewissem Maße den methodischen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, die auf der Punktschätzung der Emissionsdaten beruhen (siehe auch die Diskussion in Kapitel 4.3). Eine Option hierfür wäre, einen festen Korridor von z.B. 1–2 % des Zielwerts oder Toleranzbänder in Abhängigkeit von der Unsicherheit um die Punktschätzung zu definieren, bei dem eine vertiefte Betrachtung mit zusätzlichen Entscheidungskriterien heranzuziehen ist (beispielsweise durch ein unabhängiges Gremium), ob ein Sofortprogramm von Nöten ist.
- iv) Es kann passieren, dass ein Sofortprogramm auf Basis der Emissionsdaten des Vorjahres vorgelegt werden muss, obwohl sich später im Nationalen Treibhausgasinventar herausstellt, dass doch keine Überschreitung der Jahresemissionsmenge stattgefunden hat. Eine mögliche Abhilfe wäre, dass ein Sofortprogramm nur noch dann vorgelegt werden muss, wenn zwei Jahre hintereinander das Ziel verfehlt wird. Als weitergehende Option könnte auch ein sektorales 3-Jahres-Budget abgeleitet

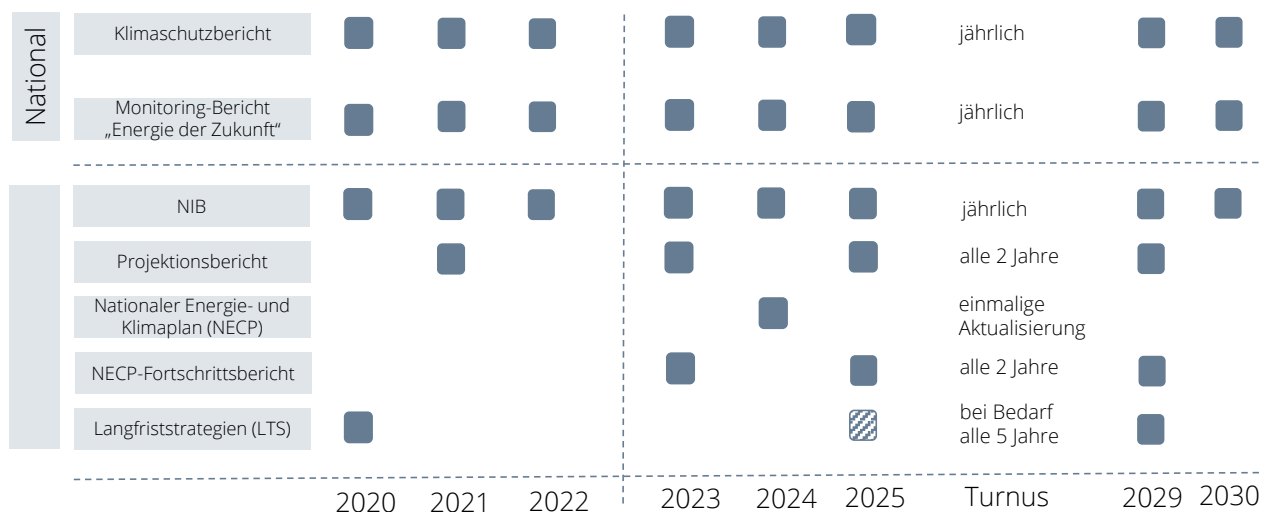
werden, bei dessen Überschreitung die Vorlage eines umfassenden Klimaschutzprogramms – und nicht nur eines Sofortprogramms – im betreffenden Sektor notwendig wird. Vorteil wäre in beiden Fällen, dass dann teilweise schon das Treibhausgasinventar und damit eine bessere Datengrundlage zur Verfügung steht. Zudem würden Sondereffekte, wie z.B. Lagerhaltungs- und Temperatureffekte im Gebäudesektor (siehe Kapitel 6.2.1), besser abgebildet werden können und nicht „zufällig“ die Verpflichtung zur Vorlage eines Sofortprogramms ausgelöst. Der Nachteil in beiden Fällen wäre, dass mit größerer Zeitverzögerung auf Zielverfehlungen reagiert würde.

- 130 Im Bundes-Klimaschutzgesetz gibt es eine Überlagerung von jährlichen Sektorzielen und der europäischen Pflicht, das jährliche ESR-Ziel in der Summe für die Sektoren Verkehr, Gebäude, Teile Industrie, Landwirtschaft und Abfall in Summe einzuhalten. Eine Option könnte daher sein, bestehende Flexibilitäten im Bundes-Klimaschutzgesetz innerhalb der ESR-Sektoren zunächst prioritär zu nutzen (siehe Diskussion in Kapitel 7.1). So können auch bisher schon intersektorale Flexibilitäten genutzt werden (§ 8 Abs. 2 KSG). Wegen der EU-Regulierung bestehen allerdings nur begrenzte Flexibilitäten zwischen der ESR und dem EU-ETS, dem große Teile der Sektoren Energiewirtschaft und Industrie zugeordnet sind. Konkret könnte der Auslösemechanismus geändert werden z.B. durch den Tausch der Paragraphen § 8 Abs. 1 und § 8 Abs. 2 KSG, da dadurch die Priorität zunächst auf Nutzung intersektoraler Flexibilitäten innerhalb der ESR-Sektoren liegen würde. Nachteil wäre, dass hier die Verantwortungsfunktion der Sektorziele (siehe RZ 122) aufgeweicht wird.
- 131 Insbesondere wenn der Verkehrs- und der Gebäudesektor ihr Ziel in Summe verfehlen, könnte eine zeitlich geeignet gestaffelte Anhebung des BEHG-Preises stattfinden (siehe Agora Energiewende 2021)). Diese Option würde zugleich eine stärkere Anbindung an das übergeordnete Instrument des Brennstoffemissionshandelsgesetzes bedeuten (siehe Kapitel 7.1).

7.3.2 Weiterentwicklung der Nachsteuerung auf Basis möglicher künftiger Zielverfehlungen (ex-ante Betrachtung)

- 132 Zur Unterstützung des Planungsprozesses zur Erreichung der Klimaziele gibt es diverse Berichtspflichten auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene auf unterschiedlichen Zeitskalen (jährlich, 2-, 5-jährlich, siehe Abbildung 10). Daraus entstehen in den allermeisten Fällen allerdings keine Handlungspflichten z. B. bei Nichterreichung der Ziele im Soll. Klimaschutzprogramme oder andere für die Minderung von Treibhausgasemissionen relevante Gesetzgebungsverfahren werden bislang in unregelmäßigen Abständen auf Initiative der jeweils zuständigen Ministerien auf den Weg gebracht, sind aber nicht verbindliche Rechtsfolge von gesetzlich definierten Auslösetatbeständen. Anders verhält es sich im Bundes-Klimaschutzgesetz bei Überschreitung der sektoralen Jahresemissionsmengen mit der Pflicht zur Vorlage eines Sofortprogramms durch das zuständige Ministerium.

Abbildung 10: Berichtspflichten der Bundesregierung auf nationaler und europäischer Ebene.



Eigene Darstellung basierend auf Informationen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV).

- 133 Die Verpflichtung zur Vorlage von Sofortprogrammen wird bisher nur auf Basis in der Vergangenheit liegender Zielverfehlung ausgelöst und es sind keine Elemente einer vorausschauenden ex-ante Steuerung enthalten. Das kann dazu führen, dass strukturelle Fehlentwicklungen in einem Sektor zu spät erkannt werden und immer nur mit kleinteiligen Sofortprogrammen nachgesteuert wird. Die Steuerung könnte daher um eine vorausschauende ex-ante Steuerung ergänzt werden, um auch strukturelle Zielverfehlungen frühzeitig zu adressieren. Wenn der derzeitige Mechanismus der jährlichen Nachsteuerung abgelöst werden sollte, dann müsste die (Nach-)Steuerung an einen anderen verpflichtenden Mechanismus auf Basis der Berichterstattung gekoppelt werden. Basis für die Auslösung eines Klimaschutzprogramms könnte beispielsweise ein Soll-Ist-Vergleich von künftigen Emissionsdaten auf Basis modellbasierter Projektionen sein, z.B. unter Nutzung der bereits etablierten Projektionsberichte. Auch bei einer solchen ex-ante-Steuerung stellt die Festlegung eines geeigneten Kriteriums (oder eines Kriterienkatalogs) für die Auslösung eine Herausforderung dar. Dabei könnte eine qualifizierte Einordnung möglicherweise durch ein externes Gremium erfolgen.
- 134 Eine weitere Option für eine stärker auf die Zukunft gerichtete (ex-ante) Betrachtung wäre eine Trendanalyse auf Basis einer Überprüfung anhand transparenter Kriterien (z.B. bestimmter (Früh-) Indikatoren), die belastbare Hinweise auf strukturelle Entwicklungen geben, verbunden mit einer qualifizierten Beurteilung durch ein externes Gremium. Wichtig ist hierbei, dass die Einschätzung nach einer kurzen zeitlichen Vorgabe von wenigen Wochen erfolgt, um möglichst wenig Zeit bei der Nachsteuerung zu verlieren. Hierfür müssten zunächst für jeden Sektor geeignete Indikatoren identifiziert bzw. entwickelt werden (siehe z.B. Matthes et al. 2022; Fietze et al. 2021; Flachsland et al. 2021; WPKS 2022). Zudem müsste sichergestellt werden, dass für die als geeignet identifizierten Indikatoren auch die zur Berechnung erforderlichen Daten zur Verfügung stehen. Hier bestehen teilweise noch große Datenlücken. Dies betrifft beispielsweise die Daten im Gebäudesektor, die benötigt werden, um regelmäßig den Fortschritt klimapolitischer Maßnahmen im Gebäudesektor (wie energetische Gebäudesanierung) messen zu können. Abhilfe könnte hier beispielsweise durch ein bundesweites Gebäude- und Wohnungsregister geschaffen werden.

135 Bei den verschiedenen Optionen der Weiterentwicklung des Nachsteuerungsmechanismus (über eine Anpassung des Steuerungssignals oder des Handlungsmechanismus) entfernt man sich von dem bestehenden Mechanismus, der allein auf der Berechnung der Vorjahresemissionen beruht. Insbesondere bei einem Übergang von diesem regelbasierten Mechanismus zu einer qualifizierten Bewertung durch ein externes Gremium oder zu einer ex-ante Betrachtung auf Basis modellbasierter Projektionen (Kapitel 7.3.2) käme zwar einerseits ein differenzierteres Bild über das Emissionsgeschehen zum Tragen, andererseits würde man sich aber von der Eindeutigkeit des Regelmechanismus entfernen, und es entstünde ein gewisser Ermessensspielraum bei der Beurteilung der Notwendigkeit einer Nachsteuerung. In der Konsequenz bedeutete das eine größere Herausforderung in Bezug auf die Herstellung einer bindenden Verpflichtung für die Politik, wie sie im Bundes-Klimaschutzgesetz derzeit in Form einer Selbstbindung durch § 8 Abs. 1 KSG gegeben ist. Damit hätte ein solcher geänderter Mechanismus möglicherweise eine geringere Bindungswirkung für die Politik.

7.3.3 Weiterentwicklung des Monitorings und weitere Klärungsbedarfe

136 Seit diesem Jahr gibt es nach § 5 Abs. 2 zusätzliche Berichtspflichten, u.a. für die Emissionen aus dem LULUCF Sektor und die Emissionsdaten aufgeschlüsselt nach EU-ETS und nicht-EU-ETS. Für ein Gesamtbild sollten im Rahmen des Monitorings folgende Daten zusätzlich berichtet werden:

- Emissionen, die vom Brennstoffemissionshandelsgesetz abgedeckt sind, sollten nach Sektoren getrennt dargestellt werden, auch um potenziell eine Steuerung entlang dieser Dimension zu ermöglichen (siehe Kapitel 7.1).
- Da klimapolitische Maßnahmen territoriale Verlagerungseffekte zur Folge haben können, die möglicherweise das übergeordnete Ziel einer Minderung globaler Emissionen relativieren, sollten zudem importierte und exportierte Emissionen in der Berichterstattung nachrichtlich ergänzt werden.
- Zudem gewinnen perspektivisch negative Emissionen an Relevanz und sollten spätestens ab 2030 als Sektor in der Berichterstattung mit aufgenommen werden.

137 Im LULUCF-Sektor gibt es bisher keine jahresscharfen Ziele, sondern es erfolgt ab 2030 lediglich die Festlegung eines Zielkorridors, der sich aus dem Mittelwert der jährlichen Emissionsbilanzen des jeweiligen Zieljahres (2030, 2040, 2045) und der drei vorhergehenden Kalenderjahre ergibt. Die gegebene Datenbasis ermöglicht jedoch keine zeitnahe und ausreichend abgesicherte Erhebung im Rahmen der Berechnung der Vorjahresemissionen. Die derzeit in größeren Abständen erfolgenden Erfassungen, wie zum Beispiel die nur alle zehn Jahre erfolgende umfassende Waldbestandsinventur, reichen hierfür nicht aus. Neben einer erweiterten Berichterstattung zu LULUCF sollte zudem auch dieser Sektor bei nicht erfolgter Zielerreichung mit einer Verpflichtung zu einem geeigneten Nachsteuern belegt werden.

138 Weitere Vorschläge wurden durch den Expertenrat für Klimafragen schon im vergangenen Jahr hinsichtlich der Verbesserung der Datenerhebung für die Vorjahresschätzung gemacht (ERK 2021b, Kap. 8), die bisher nicht aufgegriffen wurden. Hier wäre es wünschenswert, einen Prozess zu definieren, wie diese Punkte Eingang in den im Bundes-Klimaschutzgesetz hinterlegten Mechanismus bekommen können.

- 139 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). In diesem Jahr hat das Umweltbundesamt die entsprechend aktualisierte Tabelle (UBA 2022d, Tabellenblatt 13 Daten Zielpfadgraphik) vorgelegt. 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 auch juristisch diese Unklarheit auszuräumen.
- 140 Weiterhin ist ungeklärt, welche Daten in den Folgejahren zur Berechnung der Jahresemissionsmengen herangezogen werden. Zunächst stehen nur die am 15. März für das Vorjahr nach § 5 Abs. 1 KSG ermittelten Emissionsdaten zur Verfügung, die nach § 4 Abs. 3 KSG zu einer Anpassung der Jahresemissionswerte führen. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass im Folgejahr auf der Basis des Nationalen Treibhausgasinventars abweichende Werte ermittelt werden, die dann auf einer verlässlicheren Datenbasis beruhen und die tatsächlichen Entwicklungen besser beschreiben. Daher stellt sich die Frage, ob die zunächst auf Basis der Emissionsberechnung des Vorjahres nach § 5 KSG gemäß § 4 Abs. 3 KSG geänderten Jahresemissionswerte auch dann maßgeblich sein sollen, wenn die Werte des Nationalen Treibhausgasinventars vorliegen. Das Gesetz regelt diese Frage nicht ausdrücklich und schafft damit Rechtsunsicherheit. Die Aktualisierung der Zielwerte entsprechend Anlage 2 KSG sollte deshalb jährlich mit der Veröffentlichung der Emissionsberechnung des Umweltbundesamtes auf Basis der dort veröffentlichten Daten für alle zurückliegenden Jahre erfolgen. Dadurch wird erreicht, dass die im Gesetz angestrebte vollständige und sachlich richtige Berücksichtigung der tatsächlichen Emissionen bestmöglich – also immer auf Basis der jüngsten vorliegenden Werte – erreicht wird. Hier wäre eine Klarstellung im Gesetz oder eine Rechtsverordnung wichtig, um für alle Akteure Transparenz zu gewährleisten.
- 141 In Folge des im Bundes-Klimaschutzgesetz implementierten Ausgleichsmechanismus werden bis einschließlich zum Jahr 2029 Über- und Unterschreitungen auf die verbleibenden Folgejahre bis zum Zieljahr 2030 angerechnet. Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht bislang jedoch keine Regelung dafür vor, was passiert, wenn das Budget eines Sektors oder aller Sektoren in Summe zum Zieljahr 2030 nicht getroffen wird. Es liegt nahe, die entsprechenden Differenzen in diesem Fall auf die nächste Dekade anzurechnen; hierzu wäre im Gesetz Klarheit herzustellen. Außerdem sollte ein entsprechender Handlungsmechanismus für diesen Fall definiert werden.

7.4 Fazit zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes

- 142 Der Expertenrat für Klimafragen empfiehlt einen koordinierten Prozess zur Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im laufenden Jahr. Damit sollte minimal der Anspruch verfolgt werden, den derzeitigen Handlungsmechanismus durch Nutzung zusätzlicher bzw. angepasster Steuerungssignale zu verbessern. Im Kontext dieser Weiterentwicklung könnte zugleich eine Reihe weiterer technischer Verbesserungen und Ergänzungen im Bereich der betrachteten Sektoren und Daten erfolgen.
- 143 Darüber hinaus sieht der Expertenrat für Klimafragen die Möglichkeit, dass zusätzlich zu rückblickenden Betrachtungen (ex-post) auch Betrachtungen im Ausblick (ex-ante) bei der Entwicklung klimapolitischer

Maßnahmen im Kontext des Bundes-Klimaschutzgesetzes einbezogen werden. Ebenfalls könnte das bislang ausschließliche Monitoring der sektoralen Emissionswerte durch die Einbeziehung weiterer Schlüsselindikatoren erweitert werden, die eine Abschätzung zu strukturellen Wirkungen klimapolitischer Maßnahmen erlauben.

144 Schließlich gibt es erheblichen Spielraum für eine grundsätzliche Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes mit dem Ziel, dass

- das Bundes-Klimaschutzgesetz passgenau in den europäischen Rahmen eingebettet wird,
- sich das Bundes-Klimaschutzgesetz sowohl im Hinblick auf das Monitoring der Zielerreichung als auch auf die Steuerungslogik zusätzlich an den übergeordneten, mehrere Sektoren betreffenden Instrumenten EU-ETS und Brennstoffemissionshandelsgesetz orientiert und
- die grundlegenden Fragen zur Zielstellung und der Rolle des intertemporalen Ausgleichsmechanismus geklärt werden.

145 Aus Sicht des Expertenrats für Klimafragen wäre grundsätzlich eine umfassende Weiterentwicklung des Bundes-Klimaschutzgesetzes entlang aller hier skizzierten Handlungsfelder wünschenswert. Wie dargelegt besteht aber auch die Möglichkeit, die Bearbeitung der Handlungsfelder zeitlich zu staffeln.

8 Literaturverzeichnis

ADAC (2022): Monatliche Durchschnittspreise der Kraftstoffe in Cent je Liter 2011-2021. Hg. v. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC). Online verfügbar unter: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/deutschland/kraftstoffpreisentwicklung/> (17.03.2022).

AGEB (2022a): Energiebilanz der Bundesrepublik 2020. Stand 11.02.2022 (endgültige Daten). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/04/bilanz20d.pdf>.

AGEB (2022b): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2021. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/03/AGEB_Jahresbericht2020_20220325_dt.pdf.

AGEB (2021a): Energieverbrauch und Energiemix verändern sich durch Pandemie und Wetter. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_pressedienst_03_2021.pdf.

AGEB (2021b): Primärenergieverbrauch Jahr 2021. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/energieverbrauch-zieht-wieder-an/> (08.04.2022).

Agora Energiewende (2022): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2021. Online verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2021/> (09.04.2022).

Agora Energiewende (2021): Sechs Eckpunkte für eine Reform des Klimaschutzgesetzes. Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_212_Eckpunkte-Klimaschutzgesetz-2021_WEB.pdf (06.04.2022).

BAFA (2022): Amtliche Mineralölzeiten 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).

BAG (2022): BAG-Mautstatistik. Hg. v. Bundesamt für Güterverkehr (BAG). Online verfügbar unter: https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Lkw-Maut/Jahrestab_20_21.html?sessionId=3864F77061B08B5FB61E7098D1E3CDDC.live11311?nn=3293910 (08.04.2022).

BAST (2022): Verkehrsbarometer 2021. Entwicklung des Straßenverkehrs auf Bundesfernstraßen nach Monaten. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST). Online verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer-2021.pdf;jsessionid=1424153B11E7920F292FFEF719199DDD.live21302?_blob=publicationFile&v=15 (08.04.2022).

BDEW (2022): Die Energieversorgung 2021. Jahresbericht. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht_2021_korrigiert_19Jan2022.pdf

BDEW (2021): Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland. Basisdaten und Einflussfaktoren. 5. aktualisierte Ausgabe. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). https://www.bdew.de/media/documents/Waermeverbrauchsanalyse_Foliensatz_2021_final.pdf (20.07.2021).

BMWK (2022): Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (09.04.2022).

Carbon pulse (2022): EU debate on second ETS takes new turn as key MEP contemplates price corridor. Online verfügbar unter: <https://carbon-pulse.com/154540/> (09.04.2022).

Creutzig, F., Lohrey, S., Koch, N., Kraus, S. (2021): Emissionen im Verkehrssektor in Deutschland in 2020. Effekt von COVID-19. Hg. v. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH. Online verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2021_Verkehrsemissionen_Effekt_von_COVID.pdf.

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 (2022a): 42131 Vierteljährliche Produktionserhebung im Bereich Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1646904291334&code=42131#abreadcrumb> (08.04.2022).

Destatis (2022b): 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 (2022c): Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht (Quartalszahlen). Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/liste-zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit.html> (08.04.2022).

Destatis (2022d): Experimentelle Daten - Mobilitätsindikatoren auf Basis von Mobilfunkdaten - Pendlerverhalten. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Service/EXDAT/Datensaetze/mobilitaetsindikatoren-mobilfunkdaten.html#Pendlerverhalten> (09.04.2022).

Destatis (2022e): Konjunkturindikatoren - Lieferengpässe bremsen Industrie und treiben Preise. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/lieferketten.html> (09.04.2022).

Destatis (2022f): Konjunkturindikatoren Produktionsindex, produzierendes Gewerbe - Produzierendes Gewerbe insgesamt, kalender- und saisonbereinigte Ergebnisse nach dem Verfahren X13 JDemetra+ oder dem Berliner Verfahren, Version 4.1. Tabellen und Diagramme zum Produktionsindex. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Produktion/kpi111.html;jsessionid=19097126AE24F40FAADB4D7F36D32AF0.live711> (09.04.2022).

Destatis (2022g): Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Personenverkehr/Publikationen/Downloads-Luftverkehr/luftverkehr-ausgewaehlte-flugplaetze-2080610217004.html> (08.04.2022).

Destatis (2022h): Pressemitteilung Nr. 020 vom 14. Januar 2022. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/01/PD22_020_811.html (11.04.2022).

Destatis (2022i): Pressemitteilung Nr. 041 vom 31. Januar 2022. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/01/PD22_041_464.html (11.04.2022).

Destatis (2022j): Wirtschaftliche Auswirkungen - Statistiken mit Bezug zu COVID-19 - Verarbeitendes Gewerbe. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Corona/Wirtschaft/kontextinformationen-wirtschaft.html#doc395254bodyText6> (09.04.2022).

Destatis (2021a): 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 (2021b): Landwirtschaftszählung 2020. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftszaehlung2020/ergebnisse.html;jsessionid=A25E96515339F8B747F13088AF8DD833.live731> (08.04.2022).

Destatis (2021c): Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=43311-0002#astructure>.

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).

Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B., Pahle, M. (2019): Optionen für eine CO₂-Preisreform. MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Online verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2019_MCC_Optionen_f%C3%BCr_eine_CO2-Preisreform_final.pdf.

ERK (2022): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

ERK (2021a): Bericht zum Sofortprogramm 2020 für den Gebäudesektor. Prüfung der Annahmen des Sofortprogramms gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de/publikationen/>.

ERK (2021b): 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://www.expertenrat-klima.de/publikationen/> (08.04.2022).

EWI (2021): Merit-Order Tool 2021. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/ewi-merit-order-tool-2021/> (07.04.2022).

Fietze, D., Kröger, M., Müller, T., Neuhoﬀ, K. (2021): Ein wirksames Klimaschutzgesetz braucht Frühindikatoren. DIW Wochenbericht. Online verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.826603.de/21-41-1.pdf.

Flachsland, C., aus dem Moore, N., Müller, T., Kemmerzell, J., Edmondson, D., Görlach, B., Kalkuhl, M., Knodt, M., Knopf, B., Levi, S., Luderer, G., Pahle, M. (2021): Kurzdossier: Wie die Governance der deutschen Klimapolitik gestärkt werden kann. Hg. v. Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/governance-der-deutschen-klimapolitik>.

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).

FZ Jülich (2022): Gradtagzahlen der Wetterstation im Forschungszentrum Jülich. Gradtagzahlen seit März 1980. Hg. v. Forschungszentrum Jülich (FZ Jülich). Online verfügbar unter: https://www.fz-juelich.de/portal/DE/Service/Impressum/impressum_node.html (11.04.2022).

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 (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).

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

Kraftfahrtbundesamt (2022): Kfz-Neuzulassungen 2021. Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen_node.html (08.04.2022).

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).

Mastrandrea, M. D., Field, C. B., Stocker, T. F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D. J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K. J., Matschoss, P. R., Plattner, G. K., Yohe, G. W., Zwiers, F. W. (2010): Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties.

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.

Matthes, F., Braungardt, S., Bürger, V., Emele, L., Görz, W. K., Hermann, H., Kasten, P., Kreye, K., Loreck, C., Repenning, J., Zerrahn, A. (2022): Klimaschutz 2030: Ziele, Instrumente, Emissionsminderungslücken sowie die Verbesserung der Überprüfungs- und Nachsteuerungsregularien. Online verfügbar unter: https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/04/2022-04-05-Stiftung-Klimaneutralitaet_Oeko-Institut_Analyse_Klimaschutz_2030.pdf.

O'Brien, W., Yazdani Aliabadi, F. (2020): Does telecommuting save energy? A critical review of quantitative studies and their research methods. *Energy and Buildings* 225. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110298>.

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.

Riley, R., Duffy, A., Foster, S., Bosredon, M., Simmonds, D. (2021): Emissions impact of home working in Scotland. Element Energy. <http://dx.doi.org/10.7488/era/1210>.

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>

UBA (2022a): Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Klimaschutzgesetz, allgemeiner Methodenband. Unveröffentlicht.: Hg. v. Umweltbundesamt.

UBA (2022b): 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 (2022c): 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 (2022d): Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2021 nach KSG. 2022_03_15_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>, heruntergeladen 24.03.2022.

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.

VDIK (2022): Deutlicher Rückgang der Pkw-Zulassungen. (VDIK) Verband der internationalen Kraftfahrzeugehersteller e.V. Online verfügbar unter: <https://www.vdik.de/2022/auto-markt-lief-2021-mit-angezogener-handbremse/> (08.04.2022).

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).

WPKS (2022): Auf dem Weg zur Klimaneutralität: Umsetzung des European Green Deal und Reform der Klimapolitik in Deutschland - Jahresgutachten 2021. Hg. v. Wissenschaftsplattform Klimaschutz (WPKS). Online verfügbar unter: https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS_JGA_Volltext.pdf.

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Buchholzweg 8

13627 Berlin

www.expertenrat-klima.de



Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021

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





13. April 2022

Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021

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

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

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 Stab des ERK.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär)

Iska Brunzema

Dr. Christopher Hedemann

Dr. Katrin Kohnert

Nicole Niesler

Simon Schnier

Charlotte Senkpiel

Dr. Jan Stede

Dr. Annette Steingrube

Marie-Louise Zeller

Inhaltsverzeichnis

Technisches Begleitdokument	5
A.1 Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Treibhausgasemissionen	7
A.1.1 Grundlagen der Emissionsberichtserstattung	7
A.1.2 Daten für die Berechnung der Vorjahresemissionen	8
A.1.2.1 Emissionsfaktoren	8
A.1.2.2 Primärenergie- und Mineralöl Daten	10
A.1.2.3 Aktivitätsdaten in den Sektoren	12
A.1.3 Vorgehensweise bei der Berechnung der Vorjahresemissionen	19
A.1.3.1 Plausibilisierung der sektoralen Bottom-up Emissionsberechnung durch implizite Emissionsfaktoren	19
A.1.3.2 Vorgehensweise für die Emissionsschätzung in den Sektoren	20
A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung	25
A.2.1 Korrekturbedarfe	25
A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen	25
A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland	27
A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise	27
A.2.2.2 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Vorjahresemissionen 2021	28
A.2.3 Vergleich und Einordnung	29
A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen	31
A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung	31
A.3.2 Temperaturbereinigung	32
A.4 Prüftabellen	33
A.5 Literaturverzeichnis	37

Abbildungen

Abbildung 1: Nachträgliche Korrekturen zwischen der endgültigen aggregierten Primärenergiebilanz der AGEB gegenüber der jeweiligen vorläufigen Primärenergiebilanz der Emissionsjahre 2011 bis 2019.	11
---	----

Tabellen

Tabelle 1: Zusammenfassung aller wesentlichen Datensätze für die Berechnung der Vorjahresemissionen in den Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	16
Tabelle 2: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifende Betrachtung	31
Tabelle 3: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.2 aus dem Industriesektor	33
Tabelle 4: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 1.A.4 a/b i aus dem Gebäudesektor	34
Tabelle 5: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.3.b aus dem Verkehrssektor.....	35
Tabelle 6: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 3.A, 3.B, 3.D aus dem Landwirtschaftssektor	36

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEHG	Bundesemissionshandelsgesetz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (ehem. BMU)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (ehem. BMWi)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BVE	Berechnung der Vorjahresemissionen
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
CRF	Common Reporting Format der Europäischen Klimaberichtserstattung
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
ERK	Expertenrat für Klimafragen
ESR	Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation)
EU-ETS	Europäisches Emissionshandelssystem (EU Emissions Trading System)
F-Gase	fluorierte Treibhausgase
FKWs	Fluorkohlenwasserstoffe
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
IPCC	Weltklimarat oder Intergovernmental Panel on Climate Change
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
N ₂ O	Lachgas
NF ₃	Stickstofffluorid
PEV	Primärenergieverbrauch
PFCs	Perfluorcarbone
SF ₆	Schwefelhexafluorid
THG	Treibhausgas
TI	Treibhausgasinventar
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
VCI	Verband der Chemischen Industrie e. V.
VDKI	Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V.
ZSE	Zentrales System Emissionen

Technisches Begleitdokument

- 1 Der vorliegende Bericht ist das Technische Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 des Expertenrats für Klimafragen (ERK 2022). Der Prüfbericht des Expertenrats für Klimafragen bewertet basierend auf § 12 Abs. 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG 2019) die jährlich vom Umweltbundesamt vorgelegten Berechnungen der Vorjahresemissionen (UBA 2022d). 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 und Kapitel A.3 zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Kapitel A.4 enthält Tabellen mit einer Übersicht zu den Prüfungen in den einzelnen Sektoren (siehe (ERK 2022, Kap.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 (englisch: national inventory report, NIR). 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 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 Vorjahresemissionen 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 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 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 die Emissionen sowohl der EU als auch Deutschlands mit einer konsumbasierten Bilanzierung höher ausfallen würden als die nach dem Territorialprinzip ausgewiesenen Emissionen (vgl. Fezzigna et al. 2019; Karstensen et al. 2018).

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

- 7 Zudem kann es bei lagerfähigen Gütern (z.B. Heizöl) zu ungenauen Periodenabgrenzungen kommen. Die Berichterstattung erfolgt deswegen teilweise gemäß des Absatzprinzips. Dies trifft zum Beispiel auf den Mineralölabsatz im Gebäude- und Verkehrssektor zu, weil die Datenquelle dafür die amtlichen Mineralölkosten sind, welche Absätze berichten und nicht Verbräuche. Im Industriesektor dagegen sind Verbrauchsdaten vorhanden, sodass hier die Berechnung nach Verbräuchen erfolgt. Durch das Absatzprinzip kann sich ein Lagereffekt ergeben, indem beispielsweise in Zeiten niedriger Preise größere Mengen an Energieträgern gekauft werden, welche jedoch nicht unbedingt in dem jeweiligen Jahr, sondern erst in dem darauffolgenden Jahr verbraucht werden (Kapitel A.1.2.2). In der Treibhausgasbilanz werden diese Absätze jedoch als relevante Inputgröße herangezogen. Aufgrund von Lagerhaltung kann es damit zu einer verschobenen zeitlichen Zuordnung der Treibhausgasemissionen kommen.

A.1.2 Daten für die Berechnung der Vorjahresemissionen

A.1.2.1 Emissionsfaktoren

- 8 Die Daten für die Emissionsfaktoren werden für die Berechnung der Vorjahresemissionen grundsätzlich dem Zentralen System Emissionen (ZSE) entnommen, und jährlich mit Veröffentlichung des Nationalen Treibhausgasinventars nach dem Common Reporting Format publiziert werden. 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).
- 9 Die Berechnung der Vorjahresemissionen wird sektorenweise für die nach Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren durchgeführt. Die Emissionsfaktoren für die Berechnung der Vorjahresemissionen 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.
- 10 Emissionen ergeben sich zum einen aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe (energetisch und in Prozessen), zum anderen aus biologischen Prozessen. Bezogen auf die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren kann folgendes berichtet werden. Für den Verbrauch fossiler Brennstoffe können die zugehörigen Emissionsfaktoren gut gemessen werden. Die CO₂-Emissionsfaktoren vieler Brennstoffe werden von Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle abgeleitet. Dort liegen gemessene Werte zu den CO₂-Emissionen sowohl zu Brennstoffen unterschiedlicher Herkunft als auch bei unterschiedlichen Anwendungen vor. Weil die Zusammensetzung in der Regel geringen Schwankungen unterliegt, lassen sich repräsentative Emissionsfaktoren gut von diesen Daten ableiten und weisen eine geringe Unsicherheit auf. Prozessbedingte Emissionen entstehen z.B. in den Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft durch biologische Zersetzungsprozesse. Die Emissionsfaktoren der Aktivitäten in diesen

Kategorien weisen eine höhere Unsicherheit auf. Beispielsweise herrscht größere Unsicherheit über Emissionsfaktoren für die Behandlung von Bioabfällen, insbesondere Kompostierungsanlagen (CRF-Kategorie 5.B.1). Werte werden aus stichprobenartigen Messungen ermittelt (sowohl in einer Reihe von Anlagen als auch wiederholte Messungen in derselben Anlage). Verschiedene Messungen können dabei zu stark voneinander abweichenden Emissionsfaktoren für die gleiche Aktivität führen (UBA 2022b, S. 733). Beispielsweise wurden für die CRF-Kategorie 5.B.1 in einigen Messungen sehr hohe Werte ermittelt, weswegen der Mittelwert sehr hoch ausfiel. Daher wird für die Kompostierung von Bioabfall der Median der Reihe von den gemessenen Emissionsfaktoren verwendet. Das Umweltbundesamt gibt hier folglich eine sehr hohe Unsicherheit für die Emissionsfaktoren an (UBA 2022b, S. 734) (ERK 2022, Kap.4.2).

- 11 In den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF werden überwiegend nationale Emissionfaktoren für die CRF-Subkategorien, basierend auf umfangreichen Datensätzen ermittelt, wie z.B. für die Berechnung der Lachgas-Emissionen aus Düngerausbringung und Ernterückständen (Mathivanan et al. 2021) oder aus organischen Böden unter Ackerland und Grünland (Tiemeyer et al. 2020). Für Methan-Emissionen aus der Verdauung der Milchkühe werden jährlich Emissionfaktoren nach einer festen Formel (Kirchgessner et al. 1994) berechnet, die über die Zeit variieren. Vereinzelt werden Default-Emissionfaktoren des IPCC 2006 (IPCC 2006) verwendet.
- 12 Für eine sektorenübergreifende Plausibilisierung der sektoralen Berechnung der Vorjahresemissionen auf Basis des aggregierten Primärenergieverbrauchs ist eine reine Fortschreibung nicht in jedem Fall sinnvoll, da schwankende Aktivitäten zu starken Schwankungen in den Emissionsfaktoren von aggregierten Brennstoffkategorien führen können. Daher werden zum Zweck der sektorenübergreifenden Plausibilisierung implizite Emissionsfaktoren für das Aggregat der Brennstoffkategorien aus dem Durchschnitt der impliziten Emissionsfaktoren vergangener Jahre gebildet. Dabei kann die Auswahl der jeweils herangezogenen Durchschnittswerte (Jahre) variieren, um spezifische Entwicklungen der Aktivitäten zu berücksichtigen und mit historisch vergleichbaren Zuständen abzugleichen.
- 13 Für die Plausibilisierung der sektoralen Berechnung der Vorjahresemissionen hat das Umweltbundesamt folgende aggregierte implizite Emissionsfaktoren für die Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 aus den vorherigen Treibhausgasinventaren ermittelt und verwendet: Mineralöl² 60,7 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2005-2019); Erdgas 53,1 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2005-2019); Steinkohle 96,9 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2005-2019); Braunkohle 109,0 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2016-2020). Diese impliziten (mittleren) Emissionsfaktoren für das Aggregat der Brennstoffkategorien entsprechen den Durchschnittswerten ausgewählter Jahre, in denen die Nutzung des Primärenergieverbrauchs ähnlich zum Emissionsjahr ausfiel. Bei Braunkohle ist das Umweltbundesamt allerdings von der Nutzung eines langjährigen Mittels wie bei Mineralöl, Erdgas und Steinkohle abgewichen. Es kam laut Umweltbundesamt in den letzten Jahren zu Verschiebungen zwischen den Braunkohlerevieren, sodass es systematische Veränderungen der Emissionsfaktoren gab. Ein Durchschnitt der Jahre ab 2016 bietet sich nach Angaben des Umweltbundesamtes am besten an, da die Verschiebung zwischen den Braunkohlerevieren seit 2016 relativ stabil ist.

² Der implizite Emissionfaktor für Mineralölverbräuche, der nur der Plausibilisierung der Bottom-up-Daten dient, setzt sich unter anderem aus den Emissionsfaktoren der einzelnen Kraftstoffe zusammen.

A.1.2.2 Primärenergie- und Mineralölkosten

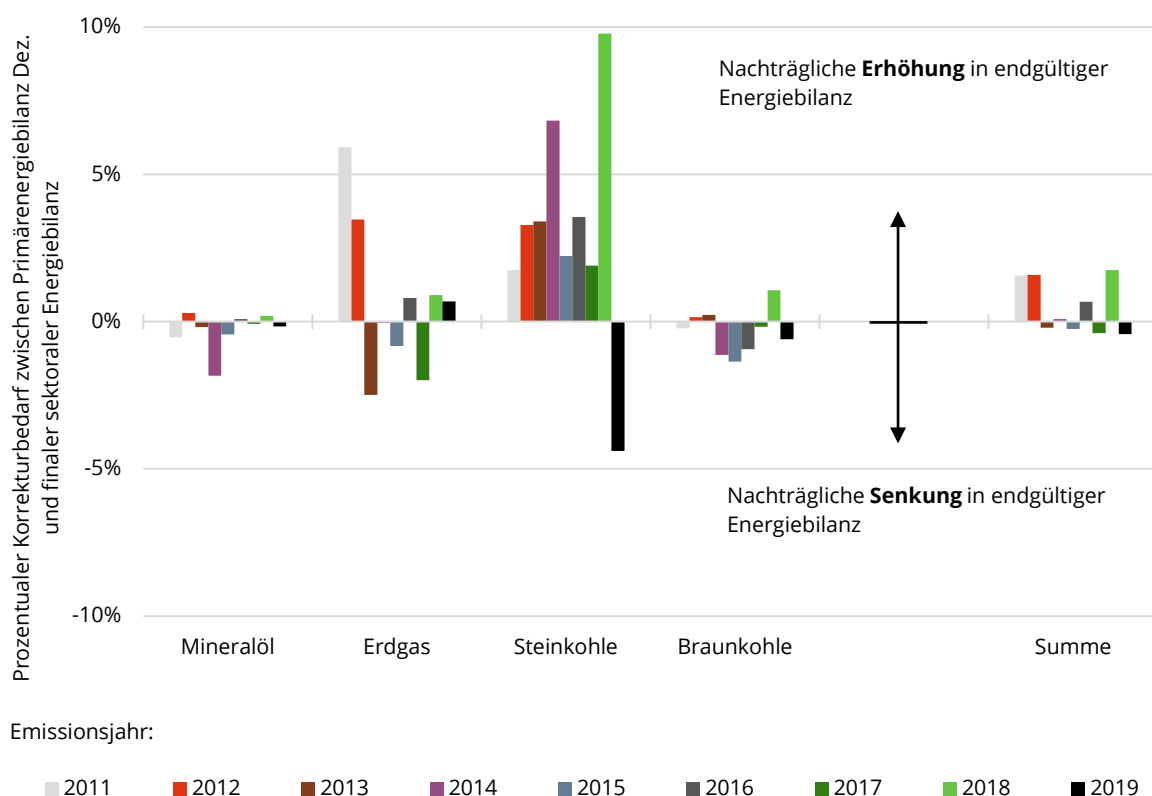
- 14 Wichtige Datenquellen zur Bestimmung der Emissionen des Vorjahres sind beispielsweise Primärenergiedaten. Im Folgenden wird als Hintergrundinformation eine Einordnung der Primärenergiedaten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) sowie der amtlichen Mineralölkosten vorgenommen. Die AGEB veröffentlicht Daten zum Primärenergieverbrauch in Deutschland. Diese geben Auskunft über den Verbrauch von fossilen Energien sowie der Energiebereitstellung erneuerbarer Energien. Die von der AGEB herangezogene Datengrundlage ist heterogen und besteht im Wesentlichen aus Angaben von Verbänden sowie amtlichen Statistiken. Der sektorale Schnitt dieser Daten unterscheidet sich von demjenigen im Nationalen Treibhausgasinventar und im Bundes-Klimaschutzgesetz.
- 15 Eine erste Schätzung des Primärenergieverbrauchs in aggregierter Form (ohne sektorale Abgrenzung) wird im Dezember des laufenden Bilanzjahres veröffentlicht (AGEB 2021b). Die Datengrundlage dieser Schätzung besteht hauptsächlich aus Veröffentlichungen von Verbänden, da amtliche Statistiken zu diesem Zeitpunkt nur begrenzt vorliegen. Da nach Mitteilung des Umweltbundesamtes die Monatsstatistiken zum Zeitpunkt der Erstellung der Berechnung der Vorjahresemissionen nur bis September oder Oktober vorliegen, müssen entsprechend die fehlenden Verbräuche und Absätze geschätzt werden. Eine Aktualisierung der Daten erfolgt, nachdem die Werte für Dezember vorliegen, dieses Jahr war dies im März 2022 der Fall (AGEB 2022b). Im Juni des auf das Bilanzjahr folgenden Jahres wird eine vorläufige sektorale Energiebilanz veröffentlicht, die den Primärenergieverbrauch ausweist und auf aktualisierten sowie zusätzlichen Datenquellen beruht. Diese immer noch vorläufige Energiebilanz basiert auf Daten, die erste Sektorenzuteilungen des Primärenergieverbrauchs zulassen. Eine endgültige Energiebilanz wird im März bzw. im April im zweiten Jahr nach Abschluss des betrachteten Bilanzjahres veröffentlicht. Diese umfasst eine weitere Aktualisierung der Daten des Primärenergieverbrauchs. Die endgültige Energiebilanz basiert zusätzlich auf amtlichen Statistiken zu Umwandlungsprozessen, die den Verbrauch von Industriekraftwerken und die Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die einzelnen Sektoren enthalten.
- 16 Aufgrund des zeitlichen Ablaufs konnte für die Zwecke der Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 nur die aggregierte vorläufige Schätzung der AGEB aus dem Dezember 2021, welche laut Umweltbundesamt um unveröffentlichte Werte der Aktualisierung aus März 2022 angepasst wurde, herangezogen werden (AGEB 2022b). Eine Betrachtung der nachträglichen Korrekturen für den Zeitraum 2011-2019 zeigt, dass die Korrekturen der Primärenergiebilanz für die einzelnen Energieträger unterschiedlich hoch ausfielen (Abbildung 1). Der Primärenergieverbrauch für die Energieträger Braunkohle und Mineralöl wurde nachträglich regelmäßig weniger stark korrigiert. Im Vergleich dazu gab es höhere Korrekturen des Primärenergieverbrauchs für die Energieträger Steinkohle und Erdgas.³ Die unterschiedlich gute Abschätzbarkeit des Primärenergieverbrauchs auf Ebene der Brennstoffkategorien

³ Je nach Energieträger liegen zum Teil große Abweichungen vor. So wurde der Primärenergieverbrauch von Steinkohle im betrachteten Zeitraum durchgehend nachträglich erhöht. Im Bereich des Erdgases handelte es sich bis einschließlich 2012 vor allem um nachträgliche Erhöhungen des Primärenergieverbrauchs, die in diesem Zeitraum auch in Summe zu einer durchgehenden Erhöhung des Primärenergieverbrauchs in der Größenordnung von 112-168 Petajoule führten. Für Mineralöl und Braunkohle lassen sich keine systematischen Korrekturen bestätigen.

ist vor allem auf die unterschiedliche Verfügbarkeit und Güte der entsprechenden Datenquellen zurückzuführen (ERK 2021, RZ. 25).⁴

- 17 Zur sektoralen Aufschlüsselung des Primärenergieverbrauchs des Vorjahres nutzt das Umweltbundesamt zusätzlich zur Primärenergiebilanz der AGEb weitere Datenquellen und Informationen, die bis März bereitstehen sowie Expert:inneneinschätzungen zu diesen. So wird die Angabe zum Primärenergieverbrauch von Erdgas mit der Entwicklung in der Monatserhebung für die Gasversorgung von Destatis verglichen (Destatis 2022c), wodurch es zu einer abweichenden Einschätzung des sektoralen Verbrauchs kommen kann. Für Steinkohle wird die Stahlproduktion mit der Angabe der AGEb verglichen (siehe Kapitel A.1.3.2). Für Mineralöl erfolgt ein Abgleich mit der Amtlichen Mineralölstatistik und den Quartalsangaben des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins e.V., welche zusätzlich Informationen zum Einsatz öffentlicher Kraftwerke und zu den Grubenkraftwerken enthalten (Kohlenstatistik e.V. 2022).

Abbildung 1: Nachträgliche Korrekturen zwischen der endgültigen aggregierten Primärenergiebilanz der AGEb gegenüber der jeweiligen vorläufigen Primärenergiebilanz der Emissionsjahre 2011 bis 2019.



Eigene Darstellung auf Basis von Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEb).

⁴ Die Braunkohlestatistik sowie die Amtlichen Mineralölstatistiken weisen eine sehr hohe Güte auf. Zu Steinkohle liegen für die Schätzung des Primärenergieverbrauchs keine amtlichen Daten vor. Zudem wird Steinkohle aus einer Vielzahl unterschiedlicher Länder importiert, sodass auch die vorliegenden Verbandsdaten eine tendenziell höhere Unsicherheit aufweisen.

- 18 Die Amtlichen Mineralöl­daten (BAFA 2022) finden Eingang in die Berechnungen aller Sektoren außer in diejenigen der Sektoren Abfallwirtschaft und Sonstiges sowie LULUCF. Auf Basis des Mineralöl­datengesetzes erhebt das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) monatlich Daten zur Geschäftstätigkeit von Unternehmen, die auf dem Mineralöl­markt tätig sind. Die Amtlichen Mineralöl­daten umfassen somit die Meldung aller Unternehmen, welche Mineralöl­produkte handeln, fördern und produzieren. Die Amtlichen Mineralöl­daten enthalten Daten zu Mineralöl­absätzen, nicht aber zum Mineralöl­verbrauch. Durch niedrige Ölpreise oder andere Effekte kann es dadurch zu Verschiebungen (Lagereffekt) zwischen dem berichteten Absatz und dem tatsächlichen Verbrauch innerhalb des Bilanzjahres kommen (siehe RZ 7). Die Unsicherheit der Abgänge und Inlandslieferungen lag in den Jahren von 2018 bis 2021 zwischen 0,03 % und 0,59 % und wird als statistische Differenz in den Tabellen mit angegeben.
- 19 Zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen war die Amtliche Mineralöl­statistik für das Jahr 2021 vollständig. In den Daten ist eine sektorale Aufteilung lediglich nach den Kategorien Absatz „an die Luftfahrt“, „an die Binnenschifffahrt“, „an das Militär“ und „an Sonstige“ angegeben. Der Absatz an die Energiewirtschaft, an die Industrie und an den Gebäudesektor ist dabei in der Kategorie „an Sonstige“ enthalten. Bei Mineralöl­produkten, die in mehreren Sektoren Einsatz finden, werden für die Berechnung der Vorjahresemissionen die Anteile der Sektoren aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahrs in Absprache mit Expert:innen (u. a. ifeu, Thünen-Institut) fortgeschrieben.

A.1.2.3 Aktivitätsdaten in den Sektoren

- 20 Für den Sektor **Energiewirtschaft** werden vier Datensätze zur Bestimmung der Aktivitätsdaten verwendet. Zum einen sind dies die Daten zum Primärenergieverbrauch der AGEb (AGEb 2021b; 2022b) sowie die Amtlichen Mineralöl­daten (BAFA 2022). Des Weiteren wird die Monaterhebung über die Elektrizitäts- und Wärme­erzeugung (Destatis 2022b) verwendet, welche auf Angaben der Betreiber von Elektrizitätserzeugungsanlagen basiert und vom Statistischen Bundesamt erstellt wird. Erhoben werden dabei unter anderem die Brennstoffeinsätze für die Erzeugung von Elektrizität und Wärme, getrennt nach eingesetzten Energieträgern. Fehlende sowie unplausible Daten werden vom Statistischen Bundesamt im Rahmen der Schätzung ersetzt, sodass eine vorläufige Veröffentlichung stets mit einem vollständigen Datensatz erreicht wird. Nachgereichte Meldungen ersetzen dabei laufend geschätzte Werte. Da jüngere Daten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit durch Schätzungen ergänzt und noch nicht durch gemessene Werten ersetzt sind, gibt es bei dieser Statistik eine ungleiche Verteilung der Unsicherheit über das Bilanzjahr mit einer höheren Unsicherheit bei den jüngeren Daten. Die Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 berücksichtigt die Monatsstatistik für die öffentliche Versorgung einschließlich des Monats Dezember (Stand März 2022). Die Daten zu Aktivitäten im Bereich der Braunkohle sind die dritte Datenquelle (Kohlenstatistik e.V. 2022). Sie stammen vom Deutschen Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. Der Verein fasst von den Betrieben gemessene Werte zur Förderung und Verarbeitung monatlich zusammen. Nach Angaben des Braunkohle-Industrie-Vereins e.V. liegt der nachträgliche Korrekturbedarf zumeist unter 1 %. Diese Daten liegen für das Jahr 2021 vollständig vor.
- 21 Die Aktivitäten im **Industriesektor** bestimmen sich durch die Produktionsmengen der einzelnen Industriebranchen und die damit verbundenen Brennstoffeinsätze in Industrie­feuerungen oder Industriekraftwerken sowie den Prozessemissionen und Produktverwendungen selbst. Die Datenbasis

liefert das Zentrale System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes, in dem sämtliche Zeitreihen zu Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren bis zur jeweils aktuellsten Veröffentlichung hinterlegt sind. Zur Abschätzung der Produktionszahlen oder der Brennstoffeinsätze des Vorjahres werden verschiedene Datensätze genutzt. Wichtige Datenquellen zur Bestimmung der Brennstoffeinsätze der CRF-Kategorie 1.A.2 sind die Mineralölstatistik für Mineralölprodukte (BAFA 2022), der Jahresbericht des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) zur Entwicklung des Gasabsatzes (BDEW 2022) sowie die Energiebilanz der AGEB (AGEB 2022a). Auch die Monatsstatistik 066 (Destatis 2021f) mit Angaben zur Stromerzeugung aus öffentlichen Kraftwerken wird für die Bestimmung der Treibhausgasemissionen als Informationsquelle herangezogen. Die Produktionszahlen einzelner Branchen oder Produkte basieren auf Verbandsdaten, wenn diese zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen zur Verfügung stehen, wie beispielsweise Stahl- und Roheisenerzeugung (Mitte Februar) oder die Veröffentlichung von Produktionsentwicklungen des Verbands der Chemischen Industrie e.V. (VCI), in der chemischen Industrie. Für die Bestimmung der Prozessemissionen werden viele unterschiedliche Datenquellen herangezogen, die hier nicht vollständig gelistet werden. Zur Bestimmung der Prozessemissionen in der chemischen Industrie werden Daten des Industrieverbands Agrar verwendet (Ammoniak- und Salpetersäureproduktion) oder Herstellerangaben (z.B. Adilpensäureproduktion). Des Weiteren wird auf Daten des statistischen Bundesverbands zugegriffen (die teils noch unvollständig vorliegen) (z.B. Ethylen, Methanol, Ethylenoxid). Die meisten Daten sind von Destatis oder von den jeweiligen Verbänden, im Einzelnen sogar von Einzelunternehmen, wenn nur wenige Firmen ein Produkt herstellen (Beispiel Carbid-Produktion). Für die Prozessemissionen aus der Aluminiumproduktion, der Stahl- und Roheisenerzeugung sowie der Blei- und Zinkproduktion werden Produktionsstatistiken der Verbände genutzt (Wirtschaftsvereinigung Metalle 2022; Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022). Diese liegen zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen vollständig vor. Für die Abschätzung der Emissionen aus weiteren Produktionsprozessen liegen zum Zeitpunkt der Emissionsberechnung noch nicht alle Datensätze vollständig vor und teilweise werden Daten aus dem Vorjahr fortgeschrieben. Für mehr Details wird hier auf Kapitel A.1.3.2 verwiesen. Die den mobilen Emittenten (Bauwirtschaftlicher Verkehr) des Sektors zugewiesenen Gesamt-Energiemengen werden aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen.

- 22 Im **Gebäudesektor** nutzt das Umweltbundesamt zur Bestimmung der Aktivitätsdaten im Rahmen der Berechnung der Vorjahresemissionen neben den Amtlichen Mineralölkosten (BAFA 2022) auch Daten zu Gasabsätzen aufgeteilt nach Sektoren, welche jährlich durch den BDEW veröffentlicht werden (BDEW 2022). Die Veröffentlichung erfolgt zwischen Dezember desselben Jahres und Januar des Folgejahres. Aufgrund der sehr frühen Veröffentlichung beruhen die Daten für Teile des vierten Quartals auf Hochrechnungen. Auch für die sektorale Aufteilung werden vom BDEW einige Annahmen getroffen, zum Beispiel zur Zuordnung des Absatzes bestimmter Arten von Gasen zu den einzelnen Sektoren. Die durchschnittliche Abweichung zwischen diesen vorläufigen Berechnungen und nachträglich zur Verfügung stehenden Daten betrug historisch ca. 3 %.
- 23 Für den **Verkehrssektor** liefern die Amtlichen Mineralölkosten (BAFA 2022) die Menge der in Deutschland abgesetzten Kraft- und Treibstoffe für das Jahr 2021. Die Mengen werden über die treibstoffspezifischen Heizwerte gemäß Daten der AGEB für das Jahr 2019 (AGEB 2021a) in Aktivitätsdaten umgerechnet. Für den Schienenverkehr werden die Gesamt-Energiemengen und für den Schiffsverkehr die Aktivitätsdaten aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen. Im Straßenverkehr wurden für

die Aufteilung auf die einzelnen Verkehrsträger im Model TREMOD und für die Plausibilisierung der Daten zusätzliche Realdaten verwendet (siehe Tabelle 1).

- 24 Für die Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Landwirtschaftssektor** werden drei Fachserien des Statistischen Bundesamtes herangezogen: die Statistiken zum Viehbestand (Destatis 2021d), zur Düngemittelversorgung (Destatis 2021e) und zu Wachstum und Ernte von Feldfrüchten (Destatis 2021c). Die beiden erstgenannten Datenquellen basieren auf einer Vollerhebung der jeweiligen Betriebe und 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 Vorjahresemissionen 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.
- 25 Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** beruhen die Aktivitätsdaten zur Berechnung der Vorjahresemissionen ebenfalls auf Daten des Statistischen Bundesamtes. Die Aktivitätsdaten zur Abfalldeponierung, der biologischen Abfallbehandlung sowie der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (letzte veröffentlichte Reihe Destatis 2019) werden direkt an das Umweltbundesamt übermittelt, da die Veröffentlichung 2020 eingestellt wurde. Die Daten liegen in den Monaten Juli/August zwei Jahre nach dem Emissionsjahr der Berechnung der Vorjahresemissionen vor, sodass zum jetzigen Zeitpunkt Daten für 2018 vorliegen und die Werte für 2021 auf Basis dieser Daten extrapoliert werden. Die meisten Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges entstammen der Abfalldeponierung. Bei dieser Emissionsquelle spielen bereits deponierte, nicht behandelte organische Abfälle eine deutlich größere Rolle als neu hinzukommende Abfalldeponierungen, sodass die Aktualität der Daten nur einen geringen Einfluss auf die Bestimmung der Aktivitätsdaten hat. Die Anzahl an abflusslosen Gruben wird alle drei Jahre, zwei Jahre nach Ablauf des Jahres der Berechnung der Vorjahresemissionen, veröffentlicht, sodass die für die Berechnung der Vorjahresemissionen verwendeten Daten bis zu fünf Jahre zurückliegen können (Destatis 2018b; 2018a). Für das Jahr 2021 liegen entsprechend die Daten aus dem Jahr 2016 vor.
- 26 Die Aktivitäten im Sektor **LULUCF** werden aufgesplittet nach Landnutzungskategorien 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 2022b). Die Karte organischer Böden (Roßkopf et al. 2015) dient zur Unterscheidung zwischen organischen und mineralischen Böden.
- 27 Insgesamt liegen an vielen Stellen zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen keine aktuellen Aktivitätsdaten des Vorjahres vor. Diese Aktivitätsdaten müssen auf andere Weise bestimmt werden, wobei die verwendeten Ansätze teilweise auch kombiniert werden. So werden für die Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 an einigen Stellen die Aktivitätsdaten aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des Vorjahres fortgeschrieben bzw. der Wert des Vorjahres übernommen. 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. Des Weiteren wird dieser Ansatz verwendet, wenn keinerlei Information zur Verfügung stehen, die eine genauere Abschätzung des Wertes erlauben, wie z. B. im Industriesektor). Expert:innenschätzungen werden herangezogen, wenn keine Aktivitätsdaten vorliegen, zugleich aber eine größere Änderung der Aktivitätsdaten erwartet wird, die eine reine Fortschreibung nicht rechtfertigt. Hierbei kann es sich sowohl um Expert:innen aus dem Umweltbundesamt als auch um externe Expert:innen, vor allem aus der Industrie, handeln. 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.B.1 (Abfallwirtschaft: biologische Abfallbehandlung) werden Modelle genutzt, um Aktivitätsdaten oder Emissionen abzuschätzen. Eine Übersicht und Zusammenfassung der beschriebenen Datenquellen für die einzelnen Sektoren in der Berechnung der Vorjahresemissionen befindet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Zusammenfassung aller wesentlichen Datensätze für die Berechnung der Vorjahresemissionen in den Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2021, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
Amtliche Mineralölzeiten (BAFA 2022)	Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft	Zusammengefasste Mineralölabsätze in Deutschland auf Basis von Unternehmensmeldungen	Vollständig für 2021, veröffentlicht am 01.03.2022, frei verfügbar
AGEB Primärenergieverbrauch (AGEB 2021b)	Übergreifend als Verifikation für die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie und Gebäude	Jährlicher Gesamtprimärenergieverbrauch aufgeteilt nach Primärenergieträgern	Vollständig für 2021, Stand Februar 2022, frei verfügbar
AGEB sektorale Energiebilanz für 2020 (AGEB 2022b)	Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft	Jährlicher Primärenergieverbrauch aufgeteilt nach Sektoren	Vollständig und final für das Jahr 2020, Stand Februar, frei verfügbar
Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2022b)	Energiewirtschaft	Monatliche Erhebung der Brutto- und Nettostromerzeugung sowie Wärme bei Kraft-Wärme-Kopplung-Anlagen getrennt nach Energieträgern für Anlagen ab 1 MW installierter Leistung	Vollständig für 2021, Stand Dezember 2021, frei verfügbar
Statistik der Kohlenwirtschaft – Braunkohle Informationen (Kohlenstatistik e.V. 2022)	Energiewirtschaft	Monatliche Daten zur Förderung und Verarbeitung von Braunkohlen	Vollständig für 2021, Stand 01/22, frei verfügbar
BDEW Jahresbericht (BDEW 2022)	Industrie, Gebäude	Monatliche Gasabsätze aufgeteilt nach Sektoren	Vollständig für 2021, Stand 19.01.2022, frei verfügbar
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Stahl (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022)	Energiewirtschaft, Industrie	Monatliche Meldungen über die Stahl- und Roheisenerzeugung des Verbandes Wirtschaftsvereinigung Stahl	Vollständig für 2021, Stand 24.01.2022, frei verfügbar
Destatis Vierteljährliche Produktionserhebung i.Verarb.Gew. (GP 2019) (Destatis 2022a)	Industrie	Produktionsstatistiken zur Zementklinkerbrennung und Branntkalkherstellung; 2.B Produktionsstatistiken zur chemischen Industrie (Teilbereich Petrochemikalien); 2D Lösemittelverwendung	Quartal 1-3 2021, Stand 01.02.2022, frei verfügbar
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle (Wirtschaftsvereinigung Metalle 2022)	Industrie	Produktionsmengen Primär- und Sekundäraluminium	Vollständig für 2021, Stand Februar 2022, teilweise frei verfügbar
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle	Industrie	Produktionsmengen Blei und Zink	Vertraulich

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2021, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle	Industrie	FKW-Emissionen aus der Herstellung von Primär- und Sekundäraluminium	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
Destatis Außenhandelsstatistik	Industrie	2.D Lösemittelverwendung	Vollständig für 2021, größtenteils frei verfügbar, teilweise vertraulich
Verbandsdaten Industriegasehandel (IGV – Industriegaseverband)	Industrie	2.G Einsatz von Lachgas (Anästhesie, Sahnesprühdosen)	Vollständig für 2021, Stand Febr. 2022, vertraulich
Verkehrsbarometer (Bundesanstalt für Straßenwesen) (BASt 2022)	Verkehr	(vorläufige) Verkehrszählungsdaten	Vollständig für 2021, Stand 21.02.2022, frei verfügbar
Mautstatistik (Bundesamt für Güterverkehr, BAG) (BAG 2022)	Verkehr	Verkehrsmengen Schwerlastverkehr Autobahnen und Bundesstraßen	Vollständig für 2021, Stand Februar 2022, frei verfügbar
Neuzulassungsdaten (Kraftfahrtbundesamt, KBA) (Kraftfahrtbundesamt 2022)	Verkehr	Neuzulassungsdaten	Vollständig für 2021, Stand 05.01.2022, frei verfügbar
Verkehrsaufkommen Flixbus-Fernreisebusse (Flixbus GmbH)	Verkehr	Verkehrsaufkommen Flixbus-Fernreisebusse 2021	Nicht öffentlich verfügbar
Destatis Fachserie 8 Reihe 6.1 - Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen - 2021 (Destatis 2022f)	Verkehr	Nachweisung des gewerblichen Personen-, Güter- und Postverkehrs mit Luftfahrzeugen sowie Starts und Landungen auf Hauptverkehrsflughäfen	Vollständig für 2021, Stand 31.01.2022, frei verfügbar
BAFA Elektromobilität (Umweltbonus) Zwischenbilanz zum Antragstand vom 01. Oktober 2021	Verkehr	Beantragter Umweltbonus für Elektroautos aufgeschlüsselt nach Fahrzeugtypen	Vollständig bis 01.10.2021, nicht frei verfügbar
Destatis Fachserie 3 Reihe 4.1 (Viehbestand) (Destatis 2021d)	Landwirtschaft	Tierzahlen für Rinder, Schweine, Schafe	Vorbericht für den 3. November 2021, Stand vom 22.12.2021, frei verfügbar
Destatis Fachserie 4 Reihe 8.2 (Destatis 2021e)	Landwirtschaft	Daten zur Düngemittelversorgung	Endgültige Daten für das Wirtschaftsjahr 2020/2021 vom 15.10.2021, frei verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2021, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
Destatis Fachserie 3 Reihe 3.2.1 (Wachstum und Ernte – Feldfrüchte) (Destatis 2021c)	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 2021 vom 22.09.2021, frei verfügbar
Abfallentsorgung: Siedlungsabfälle, schriftliche Mitteilung von Destatis	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5A : Tab 2.1 Abfallmengen und -zusammensetzungen, Deponien-Input 5A + 5B : Tab 1.5 Deponiegasmengen und -nutzung/ Verwendung Biogas	Jährlich, werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr an das UBA übermittelt, seit 2020 nicht mehr frei verfügbar
Abfallentsorgung: Biolog. Behandlungsanlagen, schriftliche Mitteilung von Destatis	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5B: Tab 7.1, Input nach Art der Anlage, Abfallarten und Jahren 5B : Tab 7.3, Abgesetzter Kompost, abgesetzte Gärrückstände nach Verwendungszweck	Jährlich, werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr an das UBA übermittelt, seit 2020 nicht mehr frei verfügbar
Destatis Abfallbilanz 2019 (32111-0003; Zeile/Spalte: Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen) (Destatis 2021a)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5B + 5E1: Abfallentsorgung Deutschland, Jahre, Anlagenart	Jährlich, werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert: Daten vollständig für 2019, Stand 30.06.2021, frei verfügbar
Destatis Fachserie 19, Reihe 2.1.2 (Abwasserbehandlung und -entsorgung) (Destatis 2018a) Destatis Fachserie 19, Reihe 2.1.3 (Wasserwirtschaft) (Destatis 2018b)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5D1: Ermittlung %-Nährstoffelimination 5D1: Einwohner an abflusslosen Gruben	R 2.1.2: Letzte erhältliche Version, 3-jährig, wird 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert, vollständig für 2016, Stand 18.12.2018, frei verfügbar R 2.1.3: Letzte erhältliche Version, 3-jährig, wird 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert: Vollständig für 2016, Stand 20.12.2018, frei verfügbar
Destatis Einwohnerzahlen Deutschland (Destatis 2021b)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5A + 5D1: Schnellmitteilung der Bevölkerungsfortschreibung	Daten vom 30.09.2021, frei verfügbar
CH ₄ -Emissionsfaktoren und Werte des chemischen Sauerstoffbedarfs aus der Abwasserreinigung der relevantesten Industriebereiche.	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5D2: Anwendung der Annahmen aus Berechnungsmodell – keine aktuellen Aktivitätsraten notwendig bzw. vorhanden	Die Daten von 2013 für den Anlagenbestand und die Frachten des chemischen Sauerstoffbedarfs der relevanten Wirtschaftszweige in Deutschland werden durch das Modell mit einer kontinuierlichen Steigerung um jährlich 2 % fortgeschrieben.
Destatis (versch.) und andere	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5D2: Für 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 Emissionsjahr publiziert, keine Daten für das Jahr der Berechnung der Vorjahresemissionen verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2021, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
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	Daten aus den Jahren 2015; 2020; 2021, frei verfügbar

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

A.1.3 Vorgehensweise bei der Berechnung der Vorjahresemissionen

A.1.3.1 Plausibilisierung der sektoralen Bottom-up Emissionsberechnung durch implizite Emissionsfaktoren

- 28 Der Primärenergieverbrauch, welcher im Dezember durch die AGEb in aggregierter Form veröffentlicht und im ersten Quartal des Folgejahres aktualisiert wird, bietet erste Anhaltspunkte für die Abschätzung der Emissionen der Sektoren, deren Emissionen sich zum Großteil aus der Primärenergienutzung ergeben (Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr) (AGEb 2021b; 2022b). Anhand des Primärenergieverbrauchs erstellt das Umweltbundesamt mithilfe der Berechnung impliziter brennstoffspezifischer Emissionsfaktoren eine sektorenübergreifende Emissionsschätzung (Top-down-Schätzung)⁵. Diese dient der Plausibilisierung der sektorspezifischen Bottom-up-Schätzungen. Wie in Kapitel A.1.2.1 beschrieben, werden mittlere implizite Emissionsfaktoren für das Aggregat der Brennstoffkategorien verwendet. Die Emissionsfaktoren für das Aggregat entsprechen dabei dem Durchschnitt einer ausgewählten Zeitreihe, in denen die Nutzung des Primärenergieverbrauchs ähnlich zum Emissionsjahr ausfiel.
- 29 Die Summe der Schätzungen der sektorspezifischen Emissionen (Bottom-up-Schätzung) wird nachfolgend durch einen Vergleich mit den mittleren impliziten Emissionsfaktoren des sektorübergreifenden Primärenergieverbrauchs (Top-down) sowie den historischen impliziten Emissionsfaktoren einzelner Jahre durch das Umweltbundesamt plausibilisiert (siehe Kapitel A.1.2.2). Aufgrund der vielfältigen sektoralen Abgrenzungsprobleme bei den zum Zeitpunkt der Erstellung der Emissionsberechnung des Vorjahres vorliegenden Aktivitätsdaten (siehe Kapitel A.1.2.3) ist nachvollziehbar, dass die Top-down- und Bottom-up-Ansätze nicht vollkommen übereinstimmen (UBA 2022a). Aus Gründen der Konsistenz verzichtet das Umweltbundesamt in diesem Jahr jedoch auf manuelle Anpassungen der durch die Bottom-up-Schätzung ermittelten Emissionen über die

⁵ Die Berechnung impliziter brennstoffspezifischer Emissionsfaktoren ist notwendig, da Brennstoffe je nach Verwendung unterschiedlich hohe Emissionsfaktoren aufweisen. Das Aggregat über mehrere Anwendungsfelder ist der implizite brennstoffbezogene Emissionsfaktor.

Brennstoffeinsätze auf aggregierter Ebene. Laut mündlicher Mitteilung des Umweltbundesamtes lassen sich jedoch Implikationen für zukünftige Korrekturen der sektoralen Emissionen durch Vergleiche der impliziten Emissionsfaktoren ableiten, welche durch Verzicht auf die iterative Anpassung zwischen der Bottom-up-Daten und der Top-down-Emissionen in Kauf genommen werden (ERK 2022, Kap.3.4). Die größten Unsicherheiten bestehen hierbei im Sektor Industrie sowie in den Teilbereichen Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Haushalte.

A.1.3.2 Vorgehensweise für die Emissionsschätzung in den Sektoren

- 30 Im Sektor **Energiewirtschaft** entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen (97 %) der CRF-Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“, für welche Aktivitätsdaten unter anderem durch die Monaterhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeherzeugung (Destatis 2022b) vorliegen. Alle weiteren Quellkategorien haben einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtemissionen. Für die Fernheizwerke wurden diesjährig die Aktivitätsdaten über die prozentuale Änderung der Energieträger auf Basis des BDEW-Jahresberichts berechnet. Dieser vereinfachte Ansatz wird mit der geringen Emissionshöhe gerechtfertigt (ERK 2022, Kap. 2). Für die Berechnung der Emissionen aus den Raffinerien können die Aktivitätsdaten aus den amtlichen Mineralöldataen verwendet werden. Bei der Abschätzung der Emissionen aus der Herstellung von festen Brennstoffen und sonstigen Energiewandlungstechnologien werden verschiedene Methoden genutzt (Fortschreibung oder Berechnung der Aktivitätsdaten). Allerdings ist auch dieser Subsektor geringe Emissionsanteile. Die Emissionen des Pipelinetransports (CRF-Kategorie 1.A.3.e) entstammen aus dem Einsatz von Erdgas in Erdgasverdichterstationen und werden über die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs von Erdgas abgeschätzt, weil eine Korrelation zwischen transportierter Menge und Treibhausgasemissionen vorliegt. In der Quellgruppe 1.B „Diffuse Emissionen aus der Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe“ unterscheiden sich die genutzten Verfahren je nach Brennstoff. Für Mineralöl erfolgt eine Fortschreibung, für die Kokereien werden die Werte aus der Roheisenerzeugung abgeschätzt, für stillgelegte Kohlengruben erfolgt ebenfalls eine Fortschreibung und für Erdgas werden die Zubauraten aus dem Netzentwicklungsplan als Basis einer Abschätzung der Emissionen herangezogen.
- 31 Im **Industriesektor** entstammt der größte Anteil der Emissionen mit rund zwei Dritteln der CRF-Kategorie 1.A.2 „Verarbeitendes Gewerbe, industrielle Feuerungen“. Zur Bestimmung der Aktivitätsdaten werden die Brennstoffeinsätze nach Industriefeuerungen und Industriekraftwerken differenziert bestimmt. Basis dafür sind die Zahlen des aktuellen Nationalen Treibhausgasinventars. Je nach Brennstoff und Datenverfügbarkeit werden unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Aktivitäten bestimmt. Der Emissionsfaktor des Vorjahres wird übernommen. Wenn keine Daten zur Verfügung stehen (Müll, Biomasse, Abwärme, sonstige hergestellte Gase, leichtes Heizöl, Dieselmotortreibstoff), wird der Wert des Vorjahres übernommen. Für Braun- und Steinkohle werden Produktionsstatistiken und Korrelationen genutzt, um die Änderung im Vergleich zum Vorjahr auf die Brennstoffmengen zu übertragen. Die verwendeten Mineralöle basieren auf den Amtlichen Mineralöldataen. Die Werte für Erdgas liegen zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen noch nicht sektoral vor, sodass die Absatzzahlen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft verwendet werden. Üblicherweise wird die prozentuale Änderung des Gasabsatzes auf die relative Aufteilung Gasabsatzes zwischen Industrie und Gebäudesektor auf den Vorjahreswert des Nationalen Treibhausgasinventars übertragen. Für die Berechnung der Vorjahresemissionen des Emissionsjahres 2021 wurden die Werte des BDEW (BDEW 2022) direkt übernommen. Der Einsatz von

Kokereigas und Gichtgas orientiert sich an der Roheisenproduktion (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022). Als weiterer Abgleich der Zahlen wird für die Bestimmung der Stromerzeugung aus Industriekraftwerken die Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung, bekannt aus der Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2021f), von der seitens der AGEB veröffentlichten Gesamtstromerzeugung (AGEB 2022a) abgezogen, die Differenz wird dem Industriesektor zugeordnet. Die beiden anderen größten Emittenten sind die Mineralische Industrie (CRF-Kategorie 2.A) und die Metallindustrie (CRF-Kategorie 2.C), deren Prozessemissionen je ein Zehntel an den Gesamtemissionen des Industriesektors ausmachen. Für die Metallindustrie liegen Aktivitätsdaten vor. Die Zementklinkerbrennerei (CRF-Kategorie 2.A.1), die in der Mineralischen Industrie den größten Anteil der Treibhausgasemissionen generiert, wird mittels Produktionsstatistiken erfasst und die prozentuale Änderung wird auf die Aktivitätsdaten des aktuellen Nationalen Treibhausgasinventars übertragen. Weitere Emissionsquellen wie Glas- und Keramikbrennen beruhen dagegen größtenteils auf Expert:innenschätzungen. In den weiteren CRF-Kategorien liegen entweder Verbands- oder Herstellerangaben vor, oder es wird auf Expert:innenschätzungen zur Bestimmung der Aktivitätsdaten zurückgegriffen. Auch für die Prozessemissionen aus der mineralischen Industrie sind zum Zeitpunkt der Vorjahreschätzung weder Verbandsdaten noch Daten des Statistischen Bundesamtes vollständig verfügbar. Für die Treibhausgasemissionen aus dem Zementklinkerbrennen und der Branntkalkherstellung werden die zuletzt verfügbaren Verbandsdaten (aus dem Jahr $t-1$, t = Emissionsjahr) mit der relativen Entwicklung aus den Destatis-Daten von $t-1$ nach t für die ersten drei Quartale angepasst. Für das vierte Quartal wird eine Expertenschätzung durchgeführt. Gleiches gilt für die Glasherstellung und das Keramikbrennen. Die den mobilen Emittenten des Sektors zugewiesenen Gesamt-Energiemengen werden aus dem Vorvorjahr übernommen.

- 32 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. 87,9 % in 2021). Die entsprechenden Aktivitätsdaten können aus den Amtlichen Mineralöldaten und den Gasabsätzen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft abgeleitet werden. Wie bereits für den Industriesektor erläutert, liegt die amtliche Mineralölstatistik nicht sektorenspezifisch vor. Die beiden im Sektor Gebäude genutzten Mineralölprodukte, leichtes Heizöl und Flüssiggas, werden zusätzlich auch im Industriesektor eingesetzt. Die Anteile von Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung am Brennstoffabsatz werden normalerweise aus dem Vorjahr übernommen. Dieses Jahr wurde die Änderung des Mineralölabsatz zwischen den Jahren 2018 und 2021 bestimmt. Dies wird mit Lagereffekten in den Jahren 2019 und 2020 begründet, die zu größeren Änderungen zwischen vorläufiger (für das Treibhausgasinventar des Vorjahres genutzter) und finaler sektoraler Energiebilanz führten. Für die Bestimmung des Gasabsatzes wird normalerweise der absolute Endenergieverbrauch an Gas aus dem aktuellen Treibhausgasinventar mit der Änderung des Absatzes von 2020 nach 2021 aus den Gasabsatzzahlen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft angepasst. Aufgrund der großen Änderungen zwischen vorläufiger, im Treibhausgasinventar genutzter sektoraler Energiebilanz, und finaler sektoraler Energiebilanz, wurden dieses Jahr direkt die Gasabsätze des BDEW für die Haushalte übernommen und für Gewerbe, Handel Dienstleistung für das Jahr 2020 als Ausgangsbasis der Gasabsatz einer Bilanz des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung genutzt. Der Einsatz von Kohle in stationären Feuerungsanlagen spielt nur eine untergeordnete Rolle und wird aus dem Vorjahr übernommen. Die zweite 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 2021. 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). Der Mineralölabsatz an das Militär ist gesondert in den amtlichen Mineralölstatistiken aufgeführt. Somit können die Treibhausgasemissionen direkt berechnet werden. Der Gasabsatz an das Militär ist dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung zugeordnet.

- 33 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. Ausgangspunkt sind daher wiederum die Amtlichen Mineralölstatistiken, welche die Menge der in Deutschland abgesetzten Kraft- und Treibstoffe angeben. Diese Mengen werden über die treibstoffspezifischen Heizwerte gemäß Daten der AGEBA von 2019 (AGEB 2021a) 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 Treibstoffmengen zu anderen Sektoren erfolgt in Absprache mit den jeweiligen zuständigen Mitarbeiter:innen des Umweltbundesamtes, des Ifeu Instituts und des Thünen-Instituts. Die Anteile dieser sonstigen, nicht dem Sektor Verkehr zugerechneten Verbraucher an den Gesamtabatzmengen betragen dabei für 2021 für Diesel 7,6 %, für Ottokraftstoffe 1,7 %, für Kerosin 1,8 % und für Flugbenzin 0,1 %. Für die Abschätzung der Emissionen des zivilen innerdeutschen Flugverkehrs (CRF-Kategorie 1.A.3.a) werden die Gesamt-Energiemengen aus den Amtlichen Mineralölstatistiken mithilfe von sogenannten Splitfaktoren aus dem Modell TREMOD Aviation⁶ in nationale und internationale Anteile aufgeteilt. Für die Berechnung des Brennstoffverbrauchs des Schienenverkehrs (CRF-Kategorie 1.A.3.c) wurden die Gesamt-Energiemengen aus 2020 übernommen. Der Schiffsverkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.d) setzt sich aus zwei Posten zusammen, der Binnenschifffahrt und dem nationalen Seeverkehr. Die Energiemengen werden für beide Posten fortgeschrieben. Die Emissionsfaktoren für die Binnenschifffahrt basieren auf einer Modellierung mit dem Modell TREMOD. Die Emissionsfaktoren für den nationalen Seeverkehr werden aus dem aktuellen Treibhausgasinventar fortgeschrieben. Dem Straßenverkehr (CRF-Kategorie 1.A.3.b), dem etwa 98 % der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zuzuordnen sind, werden die Restmengen an Kraft- und Treibstoffen zugewiesen. Diese Kraftstoffmengen wurden für eine detailliertere Berechnung der Treibhausgasemissionen auf spezifische Verbrauchszeitreihen gemäß eines aus dem TREMOD Modell übernommenen Verteilschlüssels aufgeteilt. Die Berechnung der Emissionen erfolgt über die Multiplikation mit treibstoffspezifischen Emissionsfaktoren. Über 99 % der Treibhausgasemissionen basieren auf CO₂, andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas spielen im Verkehrssektor eine untergeordnete Rolle.
- 34 Im **Landwirtschaftssektor** (CRF-Kategorie 3) dominieren Methan und Lachgas mit rund 51 % bzw. 35 % die Treibhausgasemissionen, CO₂-Emissionen spielen eine untergeordnete Rolle. Die Methan-Emissionen entstehen zu 75 % aus der Tierhaltung, da sie ein Produkt der Fermentation bei der Verdauung sind (CRF-Kategorie 3.A). Die Lachgas-Emissionen stammen zu rund 85 % aus landwirtschaftlich genutzten Böden (CRF-Kategorie 3.D). Das Wirtschaftsdüngermanagement (CRF-Kategorie 3.B) trägt rund 19 % zu den Methan-Emissionen und 13 % zu den Lachgas-Emissionen bei. Zur Berechnung der Emissionen wird das Modell Py-Gas-EM des Thünen-Instituts verwendet, das auch

⁶ Direkte Information vom Umweltbundesamt, basierend auf TREMOD Aviation Modell vom Ifeu Institut und Öko-Institut (UBA 2012).

für die Berechnung der Treibhausgasinventare Anwendung findet (UBA 2022b) 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 Methan- und Stickstoff-Emissionen. Anschließend wird der Massefluss durch das Landwirtschaftssystem und die dabei auftretenden Emissionen modelliert. Die Emissionen durch Düngemittel und Stickstoffeintrag werden über Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren berechnet. Genutzt werden für das Modell die in Kapitel A.1.2.3 beschriebenen Daten. Weitere benötigte Daten werden aus dem Vorjahr übernommen, 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 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 Vorjahr übernommen (UBA 2022d). Die aktuelle Untererfassung der Emissionen des landwirtschaftlichen Verkehrs wird laut mündlicher Mitteilung des Umweltbundesamtes durch eine Methodenänderung ab dem Emissionsjahr 2022 behoben.

- 35 Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** werden die Emissionen vor allem durch die Deponierung (CRF-Kategorie 5.A) bestimmt, die 76 % der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor ausmacht (UBA 2022b), und hier insbesondere durch historische Deponierungen. In dieser Kategorie werden meist Aktivitätsdaten aus den Vorjahren extrapoliert. Dies ist dadurch begründet, dass die genutzten Datenquellen zum einen frühestens zwei Jahre nach Ablauf des Emissionsjahres veröffentlicht werden und zum anderen nicht alle Daten jedes Jahr erhoben werden. Die Emissionen aus Kläranlagen (CRF-Kategorie 5.D) werden fortgeschrieben. Für die Berechnung der Emissionen aus der Abfalldeponierung (CRF-Kategorie 5.A) wird ein Modell des Weltklimarats genutzt, welches auf Basis der verschiedenen Müllfraktionen, also Kategorien der Mülltrennung, die Methan-Emissionen der Deponierung bestimmt. Der Posten Abfallverbrennung (CRF-Kategorie 5.C) entfällt, weil die Abfallverbrennung in Deutschland ausschließlich inklusive einer energetischer Nutzung erfolgt und die entsprechenden Emissionen somit der Energiewirtschaft zugeordnet werden. Die Emissionen aus Bränden (CRF-Kategorie 5.E.2) (z. B. von Fahrzeugen und Gebäuden) werden vernachlässigt, da diese unter den Grenzwerten liegen, ab denen Emissionen berichtet werden müssen.
- 36 Im Sektor **LULUCF** (CRF-Kategorie 4) basieren die Berechnungen auf dem Inventarmodell, das für das aktuelle Nationale Treibhausgasinventar (UBA 2022b) 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 eine Landnutzungsmatrix, die für Zeitpunkte ab dem Jahr 2000 überwiegend auf dem Basis-Digitales Landschaftsmodell, der Grundlage des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS®) erstellt wird. Für weiter zurückliegende Zeitpunkte sowie für die Füllung von Datenlücken wird weiteres Kartenmaterial herangezogen (UBA 2022b). Für jede Landnutzungskategorie werden nutzungsspezifische Emissionsfaktoren (Einheit: $\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ermittelt. Für organische Böden werden die Emissionsfaktoren nach den Richtlinien des 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC 2014a) bestimmt. Dabei erfolgt für CO_2 und Methan 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 2014b) verwendet werden. Für Lachgas 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 Landnutzungsklasse 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.

A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung

A.2.1 Korrekturbedarfe

A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen

- 37 Die Treibhausgasinventare enthalten Emissionsberechnungen für die Jahre ab 1990 bis zum aktuellsten Emissionsjahr. Diese Emissionsschätzungen werden mit der Veröffentlichung eines neuen Treibhausgasinventars rückwirkend für alle Emissionsjahre neu berechnet und an die aktuellen Methoden und Aktivitätsdaten angepasst. Je weiter der Berichtszeitraum in der Vergangenheit liegt, desto umfangreichere und detailliertere Daten zu Aktivitäten und Emissionsfaktoren kann das Umweltbundesamt für die Emissionsberichterstattung nutzen. Auch erhöht sich die Zuverlässigkeit der herangezogenen Datenquellen im Zeitablauf. Hinzu kommen methodische Verbesserungen für die Bestimmung der Emissionen. Daher ist zu erwarten, dass sich die Genauigkeit von Emissionsberechnungen für Emissionsjahre erhöht, die weiter in der Vergangenheit liegen. Damit wird eine spätere Berechnung desselben Treibhausgasinventars zu einem weiteren Gütemerkmal der Emissionsberechnung. Um die Güte der Emissionsberechnung zu bewerten, wird deshalb der beobachtete Korrekturbedarf der Treibhausgasinventare über die Zeit ermittelt. Emissionsberechnungen, die in den Folgejahren im Regelfall nur noch geringfügig korrigiert wurden, werden als stabile Schätzung bezeichnet. Die Zeitspanne zwischen der ersten Berichterstattung der Treibhausgasemissionen des Emissionsjahres (t+1) und der ersten stabilen Schätzung beschreibt, wie lange es dauert, bis sich die Datengrundlage zur Abschätzung und Berechnung der Emissionen nicht mehr wesentlich verbessert.⁷ Dabei geben die Korrekturen von der Berechnung der Vorjahresemissionen gegenüber der ersten stabilen Emissionsschätzung einen Anhaltspunkt dafür, wie stark eine verbesserte Datengrundlage zum späteren Zeitpunkt zu einer Verbesserung gegenüber der Berechnung der Vorjahresemissionen führt.
- 38 Die Korrekturen von aufeinanderfolgenden Emissionsberechnungen in den Treibhausgasinventaren sowie die Korrekturen von den Berechnungen der Vorjahresemissionen zur ersten stabilen Schätzung wurden sowohl auf sektoraler Ebene als auch aggregiert analysiert. Diese Untersuchung basiert auf den Berechnungen der Vorjahresemissionen und der Treibhausgasinventare der Emissionsjahre 2010 bis 2020⁸. In den Berechnungen der Vorjahresemissionen aus den Emissionsjahren 2010 bis 2018 sind die Emissionen entsprechend der EU Monitoring Mechanism Regulation kategorisiert. Diese Kategorisierung ermöglicht eine weitgehende Zuordnung entsprechend der Sektorendefinition des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Für die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft

⁷ Die Berechnung der Vorjahresemissionen wird wie in Kapitel 2 des Prüfberichts 2022 dargestellt zum 15. März des dem Emissionsjahr folgenden Jahres veröffentlicht (t+1), das zum Emissionsjahr korrespondierende Nationale Treibhausgasinventar jedoch erst mit einer zeitlichen Distanz von zwei Jahren (t+2) (ERK 2022, Kap.2). Im Rahmen der nachfolgenden Analyse wird das Treibhausgasinventar, welches drei Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert wird (t+3), als erste stabile Schätzung und als zweites nachfolgendes Treibhausgasinventar bezeichnet.

⁸ Die Emissionsberechnungen für die Emissionsjahre 2007 und 2008 enthalten keine Angaben zu sektoralen Treibhausgasemissionen. Die Emissionsberechnung für das Emissionsjahr 2009 erfolgte mit einer anderen Methodik sowie unter anderer Annahmen und wird in dieser Analyse daher ebenfalls nicht berücksichtigt.

unterscheidet sich die Definition geringfügig. Die Treibhausgasemissionen durch Pipelinetransport fallen in dieser Analyse aufgrund der Zuordnung dem Verkehr und nicht dem Sektor Energiewirtschaft zu. Auch die Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei sind aufgrund der Zuordnung im Sektor Gebäude und nicht in der Landwirtschaft enthalten. Zudem werden für den Sektor LULUCF in den Berechnungen der Vorjahresemissionen bis zum Emissionsjahr 2019 keine Emissionsdaten angegeben.

- 39 Mit Ausnahme der Sektoren Industrie und Gebäude teilten sich die Korrekturen in den übrigen Sektoren zu ähnlichen Teilen auf Emissionserhöhungen (104 Fälle) und -reduzierungen (124 Fälle) auf. Es ist daher keine systematische Erhöhung oder Reduzierung der Emissionen erkennbar. In den Sektoren Industrie und Gebäude lag ein Verhältnis von ungefähr 1 zu 1,5 zwischen Emissionserhöhungen und -reduzierungen vor, was allerdings durch die geringe Anzahl an Datenpunkten noch nicht auf eine systematische Verzerrung hinweist.
- 40 In der Energiewirtschaft und dem Verkehrssektor waren nachträgliche Korrekturbedarfe in allen Fällen gering. Der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Berechnung der Vorjahresemissionen zum ersten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+2) betrug 0,8 %. Zum zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) halbierten sich die nachträglichen Korrekturen ungefähr und lagen im Mittel bei rund 0,5 %. In späteren Treibhausgasinventaren (t+4 und t+5) betrug die durchschnittliche Korrektur für den Energiewirtschaftssektor und den Verkehrssektor 0,3 %.
- 41 In den Sektoren Industrie und Gebäude ergaben sich im Vergleich zum Energiewirtschaftssektor und dem Verkehrssektor höhere nachträgliche Korrekturen. Die durchschnittlichen Korrekturen von der Berechnung der Vorjahresemissionen zum ersten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+2) betrugen für die Industrie 1,9% und für den Gebäudesektor 2,9 %. Zum zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) verblieben die durchschnittlichen Korrekturen in beiden Sektoren etwa auf dem gleichen Niveau. Im Sektor Industrie fiel die mittlere Korrektur auf 1,6 % wohingegen die mittlere Korrektur im Gebäudesektor auf 3,7 % anstieg. Erst in den späteren Treibhausgasinventaren (t+4 und t+5) nahmen die nachträglichen Korrekturen deutlich ab. Die durchschnittlichen Korrekturen lagen anschließend für beide Sektoren unter 1 % (Industrie 0,4 % und Gebäude 0,8 %).
- 42 In den Sektoren Land- und Abfallwirtschaft sinken die Korrekturbedarfe im Zeitverlauf ebenfalls. Im Gegensatz zu den anderen Sektoren liegen die mittleren Korrekturen nach dem zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) nicht bei Werten unter 1 % bzw. 0,5 %. Im Mittel lagen die Korrekturen in den Treibhausgasinventaren nach Veröffentlichung des zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventars (t+3) für Abfallwirtschaft und Sonstiges bei über 2,6 % und für die Landwirtschaft bei 3 % bis 3,5 %. Die hohen durchschnittlichen Korrekturbedarfe waren getrieben von einzelnen sehr hohen Korrekturen, welche sich auf methodische Änderungen in der Berechnung der Vorjahresemissionen und Änderungen von Emissionsfaktoren zurückführen lassen.⁹
- 43 Die relativen Korrekturen der Gesamtemissionen waren im Verhältnis zu denen der einzelnen Sektoren gering. Der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Berechnung der Vorjahresemissionen zum ersten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+2) sowie vom ersten zum zweiten nachfolgenden

⁹ Im Sektor Landwirtschaft lassen sich die entsprechenden Korrekturbedarfe auf geänderte Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten in der Lachgasermittlung zurückführen (UBA 2016, S. 452-454). Die nachträglichen Korrekturen im Sektor Abfallwirtschaft sind außerdem auf zusätzliche Anpassungen der Emissionsfaktoren im Bereich der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, welche auf neuen Forschungsergebnissen bezüglich der Deponiegasbildung fußen (UBA 2013, S. 597-599).

Treibhausgasinventar (t+3) betrug durchschnittlich 0,8 % und lag somit deutlich unterhalb der relativen Korrekturbedarfe aller einzelnen Sektoren. Der Grund dafür ist, dass die sektoralen historischen Korrekturbedarfe tendenziell negativ korreliert waren und sich deshalb eher gegenseitig ausgleichen als sich zu verstärken. In späteren Treibhausgasinventaren (t+4 und t+5) lagen die durchschnittlichen Korrekturen der Gesamtemissionen unter 0,3 %.

- 44 Insgesamt kann man also das zweite auf die Berechnung der Vorjahresemissionen folgende Treibhausgasinventar (t+3) als erste stabile Schätzung für die Gesamtemissionen sowie die sektoralen Treibhausgasemissionen von den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr betrachten, während alle vorherigen Treibhausgasinventare einschließlich der Berechnung der Vorjahresemissionen als vorläufig angesehen werden sollten. Die Emissionsberechnungen für die Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges sind darüber hinaus kontinuierlichen methodischen Änderungen unterworfen sowie von Datenproblemen behaftet, die in der Vergangenheit auch jenseits vom zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (t+3) noch zu substantiellen Korrekturen und Rückrechnungen geführt haben. Ursache hierfür waren neben Anpassungen der Daten zusätzliche Veränderungen in den Annahmen zu Methan- und Lachgas-Emissionen. Diese substantiellen Anpassungen der Annahmen und Emissionsfaktoren bestätigen die großen Unsicherheiten, die das Umweltbundesamt in Bezug auf diese Emissionen angibt (ERK 2022, Kap.4.3).

A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland

A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

- 45 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 2022c, S. 133).
- 46 Aufgrund der Anforderungen an die Buchführung für weite Bereiche wirtschaftlicher Aktivität sind Aktivitätsdaten tendenziell von einer geringeren Unsicherheit geprägt als Emissionsfaktoren. Laut

Umweltbundesamt (UBA 2022c, S. 133) 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 Vorjahresemissionen 2021

- 47 Wie bereits im Jahr 2021 wies das Umweltbundesamt in seiner Berechnung der Vorjahresemissionen auch dieses Jahr eine Abschätzung der Unsicherheiten aus. Dabei wird die qualitative Einschätzung im begleitenden Bericht (UBA 2022b) zusätzlich um eine quantitative Abschätzung des Unsicherheitsbereiches (UBA 2022d) der jeweiligen sektoralen Punktschätzung ergänzt, die dem Expertenrat für Klimafragen vorliegt. Für die Bestimmung der Unsicherheit sektoraler Emissionen wird in der Berechnung der Vorjahresemissionen 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.
- 48 Zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen 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 2021 im Vergleich zum Treibhausgasinventar für das Jahr 2020 (UBA 2022d) wider. Das Umweltbundesamt verwendet hierfür einen "Booster" auf Basis einer Expert:innenschätzung, um die zusätzliche Unsicherheit systematisch auf die Unsicherheit in den Aktivitätsdaten anzuwenden.
- 49 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 bestimmt¹⁰. Die Berechnung über die kombinierten Unsicherheiten und einer anschließenden

¹⁰ Die vom Umweltbundesamt festgelegten Verhältnisse der Unsicherheiten (Emissionsfaktor/Aktivitätsraten) 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.

Aufteilung durch eine Expertenschätzung löst die Problematik nicht vergleichbarer Recheneinheiten der Aktivitätsdaten. Hierdurch können die Unsicherheiten bei den sektorspezifischen Aktivitätsraten 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 widerspiegelt¹¹. Hierdurch ergibt sich eine neue (höhere) Gesamtunsicherheit. Die Zunahme der Zufallsfehler gegenüber dem Treibhausgasinventar 2020 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 2020 für die Berechnung der Vorjahresemissionen 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 Vorjahresemissionen erscheint es deswegen als nachvollziehbar, den einfacheren Ansatz zu wählen.

A.2.3 Vergleich und Einordnung

- 50 Die sektorspezifischen und sektorübergreifenden Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes werden mit den historischen Korrekturbedarfen im Kapitel 4.4 und Abbildung 5 des Prüfberichts verglichen (ERK 2022). Für diesen Vergleich werden die Korrekturbedarfe für die Prüfbahre von 2010 bis 2019 als Abweichung zwischen der Berechnung der Vorjahresemissionen und dem zweiten darauffolgenden Nationalen Treibhausgasinventar berechnet. Die Unsicherheiten der Emissionsberechnung werden für jeden Sektor und sektorübergreifend vom Umweltbundesamt als 95 %-Konfidenzintervall berichtet. Um ein entsprechendes Intervall für die Korrekturbedarfe zu berechnen, wird die Standardabweichung der Korrekturbedarfe für jeden Sektor mit einem Faktor $\pm 1,96$ multipliziert, die bei einer Normalverteilung dem 95 %-Intervall entspricht. Die Varianz der Korrekturbedarfe wird durch einen Chi-Square-Test mit den entsprechenden Unsicherheitsangaben verglichen. Ein kritischer Schwellenwert für die Chi-Square-Verteilung mit neun Freiheitsgraden (10 Datenpunkte minus der Standardabweichung) und ein einseitiges 95 %-Konfidenzintervall wird für jeden Sektor berechnet. Die Null-Hypothese, dass die Varianz der Korrekturen gleich oder kleiner als die Varianz der Unsicherheiten ist, kann mit 95 %-Konfidenz zurückgewiesen werden, wenn die Varianz der Korrekturen diesen Schwellenwert überschreitet.

¹¹ 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 1,1.

A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen

A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung

- 51 Der folgende Abschnitt beschreibt für die Dekomposition die erfassten Treibhausgasemissionen und erläutert die Methodik der Dekompositionsanalyse als Basis für die Ergebnisse in Kapitel 6.1 des Prüfberichts (ERK 2022) (siehe auch Shammugam et al. (2022)). Methodisch basiert die Dekompositionsanalyse auf der additiven Log-Mean-Divisia-Index-Methode (LMDI I) (Ang 2005), welche weitestgehend als Standard für Dekompositionen etabliert ist und regelmäßig angewendet wird (siehe International Energy Agency (IEA 2020) oder Öko-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes (Förster et al. 2018)).
- 52 Die sektorenübergreifende Dekomposition umfasst die gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF). Diese werden in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsentwicklung und Emissionsintensität zerlegt (siehe Tabelle 2). Der Wert für das Bruttoinlandsprodukt des Jahres 1990 stammt aus einer nicht veröffentlichten Datenreihe des Statistischen Bundesamtes. Die Dekomposition wird einmal zur Referenz des jeweiligen Vorjahres berechnet (siehe Abbildung 7 im Prüfbericht) und einmal im Vergleich zu 1990 (siehe Abbildung 8 im Prüfbericht).

Tabelle 2: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifende Betrachtung

Daten:	Quelle:	Details:
THG-Emissionen gesamt	TI (UBA 2022c) und BVE (UBA 2022d)	TI bis 2020 (Tabelle 1.A(a)s1), Emissionberechnung für 2021
Anzahl der Einwohner:innen	(Destatis 2020), (Destatis 2022d)	(Destatis 2020) bis 2019, ab 2020 (Destatis 2022d)
Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2022e)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 1.1, Preise für 2015
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG-Emissionen gesamt	THG-Emissionen in Deutschland (ohne LULUCF)	$THG - Emissionen_{gesamt}$
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner:innen	Bev
Wirtschaftsentwicklung	Bruttoinlandsprodukt / Anzahl der Einwohner:innen	$\frac{BIP}{Bev}$
Emissionsintensität	THG-Emissionen gesamt / Bruttoinlandsprodukt	$\frac{THG}{BIP}$
Formel: $THG\ Emissionen_{gesamt} = Bev * \frac{BIP}{Bev} * \frac{THG}{BIP}$		

Eigene Darstellung.

A.3.2 Temperaturbereinigung

- 53 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.
- 54 Um eine Abschätzung des Einflusses der Temperatur auf den Heizenergieverbrauch in einem bestimmten Jahr vorzunehmen, kann eine Witterungsbereinigung 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 Witterungsbereinigung zu unterziehen, indem der Teil der Emissionen, der als witterungsabhängig 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.
- 55 Das Verfahren unter Nutzung der Gradtagzahlen ist diversen Unsicherheiten unterworfen. Zum einen ist die Frage, welcher Anteil der Emissionen witterungsabhängig ist und für welchen Anteil somit eine Witterungsbereinigung durchgeführt werden sollte. Zum anderen ist auch die Bildung der aggregierten Gradtagzahlen bzw. Klimafaktoren zur Bereinigung des Heizenergieverbrauchs mit Unsicherheiten behaftet. Da die Gradtagszahlen 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 witterungsbereinigten Emissionen führen.

A.4 Prüftabellen

Tabelle 3: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.2 aus dem Industriesektor

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	Energieeinsatz in der Industrie, CRF-Kategorie 1.A.2, nur CO₂-Emissionen (68 % aller CO₂-Äq.-Emissionen im Sektor Industrie)
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt)	Excel-Tabelle des UBA mit Berechnungen der Brennstoffmengen nach Energieträger, aufgeschlüsselt nach Industrief Feuerungen und Industriekraftwerken und den daraus resultierenden CO₂-Emissionen, zugesandt 30. März 2022.
Prüfmethodik des ERK	- Vorstellung zu der Berechnung der Emissionsdaten. - Nachträgliche Prüfung der zugestellten Excel-Datei des UBA. Schriftliche Klärung weiterer verbliebender Fragen.
Daten	- Siehe Tabelle 2, Kapitel 2.2 im Prüfbericht) für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten. - Die aktuellsten verfügbaren Daten wurden verwendet. - Im Industriesektor sind generell nicht alle verwendeten Datenquellen einsehbar, da sie teilweise der Geheimhaltung unterliegen. Die zur Prüfung benötigten Daten in der Quellkategorie 1.A.2 lagen in aggregierter Form vollständig in der zugesandten Excel-Datei vor. - Es sind keine alternativen Datenquellen bekannt, die genutzt werden könnten. - Neue Datenquellen: Verbandszahlen Aluminiumproduktion, Herstellerangaben Adipinsäureproduktion.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	Alle Schritte konnten nachvollzogen werden, so wie sie durch das UBA erklärt wurden.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	Die angewendete Methode ist hinsichtlich der Datenverfügbarkeit als sinnvoll einzuschätzen, da die Begründungen nachvollziehbar waren und keine Methode bekannt ist, die zu einem besseren oder belastbareren Ergebnis führen würde. Auch die methodische Anpassung ist als schlüssig und sinnvoll einzuordnen (Kapitel 2.2 im Prüfbericht)
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	Keine bekannt.
Kritische Punkte	Aufgrund von Abweichungen der Zeitreihen oder Plausibilität der Daten wurden Korrekturen durchgeführt (betrifft: Erdgas, Öl, Gichtgas und andere Mineralölprodukte). Die Korrekturen wurden alle erläutert und konnten nachvollzogen werden.
Gesamtfazit	- Auf Basis der bereitgestellten Daten konnten die Emissionen der CRF-Kategorie 1.A.2 nachvollzogen werden. - Bei Festlegung auf andere Korrekturwerte hätte man zu einem anderen Ergebnis kommen können, jedoch gibt es keine anderen/besseren Vorschläge für die Korrekturen.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 1.A.4 a/b i 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 (98 % aller CO₂-Äq.-Emissionen im Sektor Gebäude).
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt)	Vertraulich übermittelte Berechnungstabelle in Excel, zugesandt am 30. März 2022.
Prüfmethodik des ERK	Nachrechnung und Nachvollzug der Rechenschritte sowie Überprüfung der durch das UBA genutzten Primärdatenquellen
Daten	- Siehe Tabelle 3, Kapitel 2.2 im Prüfbericht für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten. - Es wurden die aktuellsten Daten genutzt - Es sind keine alternativen Datenquellen bekannt, die genutzt werden könnten.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	Alle berechneten Werte können nachvollzogen werden, die Primärdaten wurden ebenfalls gegengeprüft
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	Die angewendeten Methoden sind alle nachvollziehbar und als sinnvoll einzuschätzen. Die Änderung der Methoden ggü. dem Vorjahr sind aufgrund großer Änderungen zwischen der vorläufigen für das Treibhausgasinventar genutzten und der endgültigen sektoralen Energiebilanz 2020 nachvollziehbar (Kapitel 2.2, Prüfbericht).
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	Keine bekannt.
Kritische Punkte	Keine.
Gesamtfazit	Insgesamt kann bestätigt werden, dass richtig gerechnet wurde. Auch die methodischen Änderungen ggü. dem Vorjahr können aufgrund der starken Änderungen der sektoralen Energiebilanz 2020 zwischen vorläufiger und endgültiger Version nachvollzogen werden.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 1.A.3.b aus dem Verkehrssektor

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	• Straßenverkehr, CRF-Kategorie 1.A.3.b, nur CO₂-Emissionen (97 % aller CO₂-Äq.-Emissionen im Sektor Verkehr).
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt)	• Excel-Tabelle basierend auf der aktuellen Amtlichen Mineralölstatistik, zugesandt am 18. März 2022. • Excel-Tabelle mit Auszügen aus dem Zentralen System Emissionen (ZSE) zum Verkehrssektor, nach Kraftstoff und Fahrzeugtyp, zugesandt 18. März 2022
Prüfmethodik des ERK	• Eigene Berechnungen und Nachvollzug der Berechnung in den Tabellen • Gemeinsames Nachvollziehen mit UBA und ifeu gGmbH
Daten	• Siehe Tabelle 4, Kapitel 2.2 im Prüfbericht für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten. • Weitere Realdaten für die Aufteilung der Energiemengen auf individuelle Fahrzeugklassen (nicht geprüft, beeinflusst Gesamtemissionen kaum) • Aktuelle Flugbewegungsdaten (geprüft) (Destatis 2022f) • Es wurden die aktuellsten Daten verwendet, die zur Verfügung stehen. • Es sind keine alternativen Datenquellen bekannt, die genutzt werden könnten.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	• Die CO₂-Emissionen aus Ottokraftstoff und Diesel konnten nachvollzogen werden (99 % der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs und 97 % aller Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs). Lediglich kleine Emissionsmengen bei anderen Brennstoffen sowie Methan- und Lachgas-Emissionen konnten nicht geprüft werden.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	• Die angewendete Methode ist hinsichtlich der Datenverfügbarkeit als sinnvoll einzuschätzen.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	• Keine bekannt.
Kritische Punkte	• Keine.
Gesamtfazit	• Auf Basis der bereitgestellten Daten konnten 99 % der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr nachvollzogen werden. • Die angewendete Methode ist hinsichtlich der Datenverfügbarkeit als sinnvoll und plausibel einzuschätzen

Tabelle 6: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorien 3.A, 3.B, 3.D aus dem Landwirtschaftssektor

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorien	• Fermentation bei der Verdauung (3.A), Düngewirtschaft (3.B), Landwirtschaftliche Böden (3.D) (zusammen 83 % aller CO₂-Äq.-Emissionen im Sektor Landwirtschaft)
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt)	• Trendtabellen, Methodisches Begleitdokument, Datenübersicht mit ausgewiesenen Änderungen in Daten und Methoden • Zusätzlich online verfügbar: Thünen-Report 91 (Vos et al. 2022) • Datenbank des Umweltbundesamts: Zentrales System Emissionen
Prüfmethodik des ERK	• Nachvollziehen zusammen mit Thünen-Institut und Umweltbundesamt
Daten	• Siehe Tabelle 5, Kapitel 2.2 im Prüfbericht für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten. • Aktualität der Daten siehe Tabelle 1 • Die verwendeten Daten liegen teils in höherer Auflösung vor als benötigt (z.B. auf Landkreisebene). • Alle statistischen Zeitreihen und dem Modell zugrunde gelegten Daten sind öffentlich verfügbar, das Py-GAS-EM Modell ist nicht öffentlich einsehbar. • Es sind keine alternativen Datenquellen bekannt, die genutzt werden könnten.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	• Die Aktualisierungen der Daten und Änderungen der Methoden sind nachvollziehbar. • Die Schritte des Qualitätsmanagements konnten nachvollzogen werden.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	• Die Daten des Statistischen Bundesamtes werden als genau eingeschätzt. • Das Modell Py-GAS-EM wurde nicht geprüft, aber die Eingangsdaten sind umfassend und detailliert beschrieben. • Die angewendete Methode wird hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und des Detailgrads als sinnvoll eingeschätzt.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	• Geeignete Fernerkundungsprodukte oder nationale Treibhausgasnetzwerke würden alternative Methoden zur Emissionsberechnung unterstützen. Solche Alternativen sind noch nicht vorhanden, werden aber vom Thünen-Institut angestrebt.
Kritische Punkte	• Die niedrigeren Emissionen sind begründet in methodischen Änderungen (Emissionsfaktor/ Berechnungsmethode). • Im KSG sind keine Anpassungen des Zielwertes bei methodischen Änderungen vorgesehen. • Die Auswirkungen des im KSG (§ 4 Abs. 5) verankerten Ausgleichsmechanismus auf den Sektor Landwirtschaft sind erheblich
Gesamtfazit	• Die Änderungen bei Methodik und Daten (Kapitel 2.2, Prüfbericht) führen zu einer Verbesserung der Berechnung der Vorjahresemissionen. • Die Änderungen konnten nachvollzogen werden und sind sinnvoll.

A.5 Literaturverzeichnis

AGEB (2022a): Energiebilanz der Bundesrepublik 2020. Stand 11.02.2022 (endgültige Daten). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/04/bilanz20d.pdf>.

AGEB (2022b): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2021. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/03/AGEB_Jahresbericht2020_20220325_dt.pdf.

AGEB (2021a): Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von natürlichen Einheiten in Energieeinheiten zur Energiebilanz 2019. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2020/04/heizwerte2005bis2019.pdf>.

AGEB (2021b): Primärenergieverbrauch Jahr 2021. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/energieverbrauch-zieht-wieder-an/> (08.04.2022).

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

BAFA (2022): Amtliche Mineralölzeiten 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).

BAG (2022): BAG-Mautstatistik. Hg. v. Bundesamt für Güterverkehr (BAG). Online verfügbar unter: https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Lkw-Maut/Jahrestab_20_21.html;jsessionid=3864F77061B08B5FB61E7098D1E3CDDC.live11311?nn=3293910 (08.04.2022).

BASt (2022): Verkehrsbarometer 2021. Entwicklung des Straßenverkehrs auf Bundesfernstraßen nach Monaten. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Online verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer-2021.pdf;jsessionid=1424153B11E7920F292FFEF719199DDD.live21302?_blob=publicationFile&v=15 (08.04.2022).

BDEW (2022): Die Energieversorgung 2021. Jahresbericht. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht_2021_korrigiert_19Jan2022.pdf

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>.

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 (2022a): 42131 Vierteljährliche Produktionserhebung im Bereich Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1646904291334&code=42131#abreadcrumb> (08.04.2022).

Destatis (2022b): 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 (2022c): 43321-0001: Gewinnung, Netzeinspeisung, Eigenverbrauch, Speicherstand von Gas: Deutschland, Monate. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis).

Destatis (2022d): Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht (Quartalszahlen). Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/liste-zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit.html> (08.04.2022).

Destatis (2022e): Fachserie 18 Reihe 1.1 – Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-18.html (08.04.2022).

Destatis (2022f): Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Personenverkehr/Publikationen/Downloads-Luftverkehr/luftverkehr-ausgewaehlte-flugplaetze-2080610217004.html> (08.04.2022).

Destatis (2021a): 32111-0003 Abfallbilanz 2019 Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=32111-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1649508950121#abreadcrumb>.

Destatis (2021b): Ausblick auf die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland und den Bundesländern nach dem Corona-Jahr 2020. Erste mittelfristige Bevölkerungsvorausberechnung 2021-2035. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Publikationen/Downloads-Vorausberechnung/bevoelkerung-deutschland-2035-5124202219004.html> (08.04.2022).

Destatis (2021c): Fachserie 3 Reihe 3.2.1 – Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Wachstum und Ernte. Feldfrüchte. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/inhalt.html#sprg239470> (08.04.2022).

Destatis (2021d): 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 (2021e): Fachserie 4 Reihe 8.2 --- Produzierendes Gewerbe. Düngemittelversorgung. Wirtschaftsjahr 2020/2021. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Fachstatistiken/duengemittelversorgung-jahr-2040820217004.html> (08.04.2022).

Destatis (2021f): Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=43311-0002#astructure>.

Destatis (2020): Fachserie 1 Reihe 1.3 – Bevölkerung und Erwerbstätigkeit Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Publikationen/Downloads-Bevoelkerungsstand/bevoelkerungsfortschreibung-2010130187004.pdf?__blob=publicationFile.

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.

ERK (2022): 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).

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://www.expertenrat-klima.de/publikationen/> (08.04.2022).

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): Komponentenerlegung 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/komponentenerlegung-energiebedingter> (08.04.2022).

IEA (2020): Decomposition of IEA member countries energy use. 2009–2018. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/decomposition-of-iea-member-countries-energy-use-2009-2018>.

IPCC (2014a): 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 (2014b): 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 (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.

Kirchgessner, M., Windisch, W., Müller, H.-L. (1994): Methane release from dairy cows and pigs: Paper presented at the Proc XIII Symp on energy metabolism of farm animals.

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

Kraftfahrtbundesamt (2022): Kfz-Neuzulassungen 2021. Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen_node.html (08.04.2022).

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

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.

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

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>

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Drösler, M. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories. Data synthesis, derivation and application. Ecological Indicators 109, S. 105838.

UBA (2022a): Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres gemäß Klimaschutzgesetz, allgemeiner Methodenband. Unveröffentlicht.: Hg. v. Umweltbundesamt.

UBA (2022b): 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 (2022c): 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 (2022d): Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2021 nach KSG. 2022_03_15_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>, heruntergeladen 24.03.2022.

UBA (2016): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2015. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Climate Change. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-0> (08.04.2022).

UBA (2013): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Climate Change. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/berichterstattung-unter-klimarahmenkonvention-2> (08.04.2022).

UBA (2012): Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Energieeinsätze und Emissionen des zivilen Flugverkehrs – TREMOD AV. Texte. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-modells-zur-berechnung> (12.04.2022).

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.

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 Metalle (2022): Quartalsberichte 2021. Online verfügbar unter: <https://www.wvmetalle.de/presse/publikationen/?L=0> (08.04.2022).

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).

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Buchholzweg 8

13627 Berlin

www.expertenrat-klima.de