

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

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



17. April 2023

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

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

Impressum

Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15, 10117 Berlin

Tel.: +49 30 30 8903 5575

info@expertenrat-klima.de

www.expertenrat-klima.de

Erschienen am 17.04.2023 | Version vom 17.05.2023

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

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

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

©Expertenrat für Klimafragen

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

Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

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

Wissenschaftlicher Stab

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

Geschäftsstelle

Lea Eisemann • Cynthia Schmitt

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

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

Der Expertenrat für Klimafragen dankt für die wertvolle Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

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

Tabellen

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

Abkürzungen

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

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

Technisches Begleitdokument

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

A.1 Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Treibhausgasemissionen

A.1.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung

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

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

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

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

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

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

A.1.2.1 Emissionsfaktoren

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.1.2.3 Aktivitätsdaten und relevante Methoden der Emissionsberechnung der Sektoren

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

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

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

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

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

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

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

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung

A.2.1 Korrekturbedarfe

A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland

A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen

A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung

A.3.1.1 Methodik

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.3.1.2 Daten

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

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

Tabelle 12: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifend

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

Eigene Darstellung.

A.3.2 Kontrafaktische Szenarien

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

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

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

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

A.3.3 Temperaturbereinigung

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

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

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

A.4 Prüftabellen

Tabelle 13: Definition der Prüfkriterien

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.5 Literaturverzeichnis

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Destatis (2023d): Internetseite. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Tiere und tierische Erzeugung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/inhalt.html#jf6k1tbtt> (23.03.2023).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15

10117 Berlin

www.expertenrat-klima.de
