

Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023

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



15. April 2024

Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023

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

Impressum

Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15, 10117 Berlin

Tel.: +49 30 8903 5575

info@expertenrat-klima.de

www.expertenrat-klima.de

Erschienen am 15.04.2024 | Version vom 15.04.2024

Die Veröffentlichungen des Expertenrat für Klimafragen 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 (2024): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de>

© Expertenrat für Klimafragen

Die Vervielfältigung und Verbreitung originären Text- und Bildmaterials des Expertenrats für Klimafragen 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 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des wissenschaftlichen Stabs und der Geschäftsstelle.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär) • Dr. Charlotte Senkpiel (Projektleitung) • Jessica Berneiser • Iska Brunzema • Nicolai Hans • Dr. Alexander Hurley • Theresa Iglauer • Bruno Nemeč • Dr. Katrin Kohnert • Bruno Nemeč • Dr. Niklas Reinfandt • Simon Schnier • Dr. Franziska Schulz • 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, des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, des Bundesfinanzministeriums sowie verschiedener Fachinstitute des Thünen-Instituts, Jean-Victor Alipour (ifo Institut), Holger Bär (FÖS), Tina Baten (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.), Hans-Georg Buttermann (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.), Arnd Fitschen (BAST), Marei Göbelbecker (EWI), Paul Haas (Destatis), Katharina Hartz (Agora Energiewende), Fabian Huneke (Agora Energiewende), Niklas Illenseer (MCC), Jakob Junkermann (EWI), Dr. Frank Kaspar (DWD), Henriette Nalbach (EWI), Thomas Nieder (ZSW), Dr. Alexander Roth (DIW), Erik Schleunes (KBA), Franka Sunder (Fraunhofer ISE), Lukas Vogel (Destatis), Johann Wehrmeister (Praktikum ERK).

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 Erstellung und Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz	9
A.1.2.3 Aktivitätsdaten und relevante Methoden der Emissionsberechnung der Sektoren	10
A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung	27
A.2.1 Korrekturbedarfe	27
A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen	27
A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland	30
A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise	30
A.2.2.2 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2023	30
A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen	32
A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung	32
A.3.1.1 Methodik	32
A.3.1.2 Daten	33
A.3.2 Bestimmung des marginalen Kraftwerks anhand der Merit Order	34
A.3.3 Kontrafaktische Szenarien	35
A.4 Prüftabellen	39
A.5 Literaturverzeichnis	48

Tabellen

Tabelle 1:	Zusammenfassung aller wesentlichen vom UBA verwendeten Datensätze für die Berichterstattung der Treibhausgasemissionsdaten in den Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes	10
Tabelle 2:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Energiewirtschaftssektor	16
Tabelle 3:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Industriesektor	18
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 im Gebäudesektor	20
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 im Verkehrssektor	21
Tabelle 6:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Landwirtschaftssektor	22
Tabelle 7:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges	24
Tabelle 8:	Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Sektor LULUCF	25
Tabelle 9:	Übersicht und statistischer Vergleich der Korrekturen (keine, Erhöhung, Reduktion) zwischen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bis zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+1 bis BJ+5) für alle Sektoren und die Gesamtemissionen.	28
Tabelle 10:	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)	29
Tabelle 11:	Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifend.....	33
Tabelle 12:	Dekomposition Variablen – Industrie	34
Tabelle 13:	Definition der Prüfkriterien	39
Tabelle 14:	Zusammenfassung der Prüfung der Frühschätzung der Energiebilanz der AGEB	39
Tabelle 15:	Zusammenfassung der Prüfung der Aufteilungsraten der Energiebilanzzeile 12 aus der Frühenergiebilanz	43
Tabelle 16:	Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 2.A aus dem Industriesektor	44
Tabelle 17:	Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 4.A aus dem Sektor LULUCF	46

Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BVE	Berechnung der Vorjahresemissionsdaten
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CRF	Common Reporting Format der Europäischen Klimaberichtserstattung
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DWD	Deutscher Wetterdienst
EBZ	Energiebilanzzeile
En2x	Wirtschaftsverband Fuels & Energie
ERK	Expertenrat für Klimafragen
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU-Emissionshandelssystem/Handelssystem Emissionszertifikate (European Emissions Trading System)
F-Gase	fluorierte Treibhausgase
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
IDA	Indexdekompositionsanalyse
IPCC	Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
HFC	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LMDI I	Log-Mean-Divisa-Index-Methode
LULUCF	Land Use Land Use Change and Forestry
Mt	Megatonne
NID	Nationales Inventardokument
PFC	Perfluorcarbone
Py-Gas-EM	Landwirtschaftliches Emissions-Inventar-Modell
SF ₆	Schwefelhexafluorid
THG	Treibhausgas
TREMOM	Transport Emission Model
TREMOM MM	TREMOM Mobile Machinery

TWh	Terawattstunde
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 2023 des Expertenrats für Klimafragen (ERK 2024). 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 2024b). Dieses Begleitdokument zum Prüfbericht enthält weiterführende technische und fachliche Erläuterungen.
- 2 In Kapitel A.1 dieses Dokumentes werden Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der THG-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 2024, 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 Inventardokument (NID). 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 das dazu gehörige Nationale Inventardokument 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 Emissionsdaten 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 THG-Emissionen einem Land zu. In der Konsequenz werden THG-Emissionen, die bei der Herstellung (und dem Transport) importierter Waren entstehen („importierte Emissionen“), nicht berücksichtigt. THG-Emissionen aus der Produktion von Exportwaren fließen hingegen vollständig in die Emissionsberechnung ein, obwohl der Verbrauch dieser Güter im Ausland erfolgt¹.
- 6 Das Umweltbundesamt berichtet Emissionsberechnungen nach der von der UNFCCC etablierten Systematik der Treibhausgasberichterstattung, dem Common Reporting Format (CRF). Dabei werden 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 beispielsweise auch aus Gründen der Versorgungssicherheit, wie möglicherweise im Jahr 2022 eingetreten, resultieren. In Zeiten niedriger Preise werden größere Mengen an Energieträgern gekauft, welche nicht unbedingt in dem jeweiligen Jahr, sondern erst in dem darauffolgenden Jahr verbraucht werden. Die Berechnung der Emissionsdaten erfolgt jedoch auf Basis der Absätze, da hierzu bessere statistische Datenquellen, wie die amtlichen Mineralölstatistiken, vorliegen.

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

- 8 THG-Emissionen werden grundsätzlich aus der Multiplikation von Aktivitätsdaten mit Emissionsfaktoren berechnet (ERK 2024, Kapitel 2.1). Sowohl Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren beruhen auf Berechnungen und Schätzungen. Somit weisen die Treibhausgasinventare sowie die Berechnung der Emissionsdaten keine gemessenen THG-Emissionen aus. Im Folgenden wird zuerst auf die Emissionsfaktoren eingegangen, die für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres verwendet werden. Anschließend wird die Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz beschrieben und dargestellt, wie das Umweltbundesamt daraus Aktivitätsdaten herleitet. Diese Aktivitätsdaten bilden die Grundlage für einen großen Teil der energiebedingten THG-Emissionen und sind methodisch deswegen besonders relevant. Abseits der Frühschätzung werden unterschiedliche Ansätze in den einzelnen Sektoren verwendet, um die Aktivitätsdaten zu bestimmen. Die genutzten Daten und Methoden in den einzelnen Sektoren werden in Kapitel A.1.2.3 beschrieben.

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 auf der Seite des Umweltbundesamts publiziert. Das bedeutet, dass die Emissionsfaktoren, welche für die Berechnung der Emissionsdaten verwendet werden, denen des letzten veröffentlichten Inventars entsprechen. Die Veränderungen der spezifischen Emissionsfaktoren sind zwischen den Jahren gering. Deswegen ist die Übernahme der Emissionsfaktoren aus dem aktuellen Inventar nachvollziehbar und unkritisch.
- 10 Die Datenquellen für die Emissionsfaktoren sind vielfältig. Beispielsweise wird auf Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zurückgegriffen. 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 Inventardokument ausführlich und nachvollziehbar dokumentiert. Wo keine Daten vorliegen, werden vom Weltklimarat (IPCC) festgelegte Default-Werte verwendet (beispielsweise für Rohöl, Rohbenzin, Flugbenzin und Schmierstoffe).

A.1.2.2 Erstellung und Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz

- 11 Zum Zeitpunkt der Erstellung der Frühschätzung der Energiebilanz im Februar liegen für das Berichtsjahr (t-1) noch nicht alle Statistiken vor. Die Frühschätzung der Energiebilanz durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) wird deswegen mit einem Hybrid-Ansatz umgesetzt. Ziel des Hybridansatzes ist es, möglichst finale oder vorläufige statistische Daten zu verwenden. Nur in Fällen, in denen keine Daten vorliegen, wird auf modellgestützte Prognosen zurückgegriffen. Der Hybridansatz soll also sicherstellen, dass verfügbare unterjährige oder monatliche Daten weitestgehend bei der Schätzung der Energiebilanz verwendet werden. Dies ist auf der Aufkommenseite durch zahlreiche Statistiken und Verbandsdaten größtenteils möglich. Die Datengrundlage ist für den Endenergieverbrauch allerdings überwiegend auf Jahresdaten (bis zum Jahr, das an die Frühschätzung angrenzt) beschränkt. Somit müssen die Endverbrauchssektoren vollständig geschätzt werden. Für die Schätzung fehlender Monats- sowie ganzjähriger Werte im Berichtsjahr bedient sich die AGEB eines Modellinstrumentariums, dem Energiebilanzprognosemodell. Die Ausgestaltung des Energiebilanzprognosemodells ist im Prüfbericht (ERK 2024, Kapitel 2) beschrieben. Für die ausführliche Dokumentation des Verfahrens ist zusätzlich auf die Pilotstudie (UBA 2023d) verwiesen.
- 12 Die Frühschätzung der Energiebilanz greift auf diverse Datensätze zurück. Generell kann sich die zeitliche Abdeckung der Daten von Jahr zu Jahr ändern. Wichtige Änderungen werden im Prüfbericht (ERK 2024, Kapitel 2) beschrieben. Die folgenden Datensätze werden für die Bestimmung des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung verwendet:
- Monatliche Betriebsergebnisse der deutschen Kernkraftwerke
 - Förderung von Braunkohle und Erzeugung von Braunkohleprodukten (Statistik der Kohlenwirtschaft)
 - Braunkohle u. Braunkohlenprodukte (Statistik der Kohlenwirtschaft)
 - Braunkohle, Braunkohlebriketts, Staub- und Trockenkohle, Braunkohlenkoks (Aufkommen und Verwendung von Braunkohle, Braunkohlenbriketts, Staub- und Trockenkohle, Braunkohlenkoks)
 - Rohöl, Mineralölprodukte (Amtliche Mineralölstatistik für die Bundesrepublik Deutschland)
 - Erdgas, Erdölgas (Monatserhebung über die Gasversorgung)
 - 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)
- 13 Zudem greift die AGEB auf folgende wichtige Daten exogener Variablen zurück, die für die Fortschreibung im Rahmen des Energiebilanzprognosemodells verwendet werden:
- Stahlproduktion in Deutschland
 - Produktionsindex für das Verarbeitende Gewerbe: Deutschland
 - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen des Bundes
 - Erzeugerpreisindex
 - Erzeugerpreise, Lange Reihen zu ausgewählten Mineralölprodukten

- Gradtagzahlen
- HEL-Tank-Füllstände Privater Haushalte
- Luftverkehr
- Lkw-Maut-Fahrleistungsindex
- Wohnen in Deutschland
- Kraftstoffpreis-Datenbank

14 Das Umweltbundesamt verwendet die Frühschätzung der Energiebilanz um mittels einer Disaggregation einen Großteil der Aktivitätsdaten der energiebedingten THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude herzuleiten. Das Vorgehen des Umweltbundesamt ist im Prüfbericht (ERK 2024, Kapitel 2) beschrieben.

A.1.2.3 Aktivitätsdaten und relevante Methoden der Emissionsberechnung der Sektoren

15 Insgesamt liegt an vielen Stellen zum Zeitpunkt der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres keine endgültige Statistik der Aktivitätsdaten des Vorjahres vor. Tabelle 1 fasst alle wesentlichen Datenquellen der Aktivitätsdaten zusammen, die das Umweltbundesamt im Rahmen der Berechnung der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023 berücksichtigt hat. Welche Daten und Methoden für die einzelnen Sektoren verwendet wurden, wird im Anschluss genauer erläutert. Eine wesentliche Datenquelle für die energiebedingten THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude ist die zuvor beschriebene Frühschätzung der Energiebilanz. Aktivitätsdaten aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des Vorjahres werden übernommen, wenn die Treibhausgasemissionen des jeweiligen Subsektors nur einen geringen Anteil haben und eine Schätzung entweder sehr aufwendig ist oder nur geringe Änderungen zwischen den Jahren bekannt sind. 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 THG-Emissionen aus Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe), 3 (Landwirtschaft), 4 (LULUCF) und 5.A.1 (Abfallwirtschaft: Abfalldeponierung) werden Modelle genutzt, um Aktivitätsdaten oder THG-Emissionen abzuschätzen.

Tabelle 1: 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 2023; Veröffentlichungsdatum; Verfügbarkeit
AGEB Frühschätzung der Energiebilanz 2023	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude	Aufkommen, Umwandlung und Verwendung von Energieträgern nach Energieträgergruppen für Kalenderjahr x – 1 (Daten sind	vorläufig, teilweise geschätzt; Stand 15.02.2024; Nicht frei verfügbar (AGEB 2024c)

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2023; Veröffentlichungsdatum; Verfügbarkeit
		vorläufig und teilweise geschätzt)	
AGEB Energiebilanz 2022	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft	Aufkommen, Umwandlung und Verwendung von Energieträgern nach Energieträgergruppen für Kalenderjahr x – 2	Datenstand: 31.01.2024; nicht frei verfügbar, Veröffentlichung auf Internetseite der AGEB vsl. Q4/2024 (AGEB 2024a)
Abfallstatistik DESTATIS „Abfallentsorgung“	Energiewirtschaft	Energetischer Input in <ul style="list-style-type: none"> • Müllverbrennungsanlagen • Feuerungsanlagen • Sonderabfallverbrennungsanlagen • Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen 	Letzter Datenstand ist Juli 2023, für das Berichtsjahr 2021 (Fortschreibung aus x - 3 für x - 1); Daten sind nicht frei verfügbar, nur in aggregierter Form in der Genesis-Datenbank downloadbar (Destatis 2023f)
Aktualisierte Energiedaten des Treibhausgasinventars 2023	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft	Datenquellen der Inventare sind der Inventarbeschreibung zu entnehmen.	Datenstand: 15.02.2024; Nicht frei verfügbar
Aufteilungsfaktoren	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft	Interne Berechnung zur Disaggregation der Energiebilanz	Datenstand: 15.02.2024; UBA-interner Datensatz (UBA 2024a)
Amtliche Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr (mobile Quellen, stationäre Anwendung von Schmierstoffen)	Zusammengefasste Mineralölabsätze in Deutschland auf Basis von Unternehmensmeldungen	Daten vollständig für 2023 mit vorläufigem Datenstand
DESTATIS Monatserhebung über die Gasversorgung in Deutschland	Energiewirtschaft (indirekte Verwendung)	Gewinnung, Netzeinspeisung, Eigenverbrauch, Speicherstand von Gas	Vollständig für das Jahr 2023; Datenstand: 19.02.2024; frei verfügbar (Destatis 2024c)
DESTATIS Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung	Energiewirtschaft, Industrie (indirekte Verwendung)	Monatliche Erhebung der Brutto- und Nettostromerzeugung sowie Wärme bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen getrennt nach Energieträgern für Anlagen ab 1 MW installierter Leistung	Vorläufige Daten 2023 lagen bis einschließlich November vor; Datenstand 01.02.2024; (Destatis 2024j)
Statistik der Kohlenwirtschaft – Braunkohle Informationen	Energiewirtschaft (diffuse THG-Emissionen und Braunkohleetrocknung)	Monatliche Daten zur Förderung und Verarbeitung von Braunkohlen	Vollständig für das Jahr 2023; Datenstand 27.01.24; frei verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2023; Veröffentlichungsdatum; Verfügbarkeit
			(Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2024)
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Stahl	Industrie (Industrieprozesse)	Monatliche Meldungen über die Stahl- und Roheisenerzeugung des Verbandes Wirtschaftsvereinigung Stahl	Vollständig für das Jahr 2023; frei verfügbar (WV Stahl 2024)
DESTATIS Güterverzeichnis Produktionsstatistiken (GP 19)	Industrie	Produktionsstatistiken zu Zementklinker- und Branntkalkherstellung Petrochemie und Produktanwendungen	Daten lagen vor für Q1-Q3 2023; Datenstand 01.02.2024; frei verfügbar (Destatis 2024a)
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle	Industrie	Produktionsmengen und die FKW-Emissionen aus der Herstellung von Primär- und Sekundäraluminium	Daten für das Jahr 2023 lagen vor; nicht frei verfügbar (WVMetalle 2024)
Verbandsdaten chemische Industrie	Industrie	2.B Vorläufige jährliche THG-Emissionen für Teilbereiche der chemischen Industrie	Daten für das Jahr 2023 lagen vor; nicht frei verfügbar (VCI 2024a)
Verbandsdaten chemische Industrie	Industrie	Produktionsentwicklung der Sparten im Vergleich zum Vorjahr als prozentuale Angabe	Daten für das Jahr 2023 lagen vor; frei verfügbar (VCI 2024b)
Vorläufige Daten von Produzenten	Industrie	2.B Vorläufige THG-Emissionen Daten von Herstellern für Teilbereiche der chemischen Industrie	Daten für das Jahr 2023 lagen vor; nicht frei verfügbar
Verbandsdaten Industriegaseverband	Industrie	Lachgasverwendung in Produkten	Daten für das Jahr 2023 lagen vor; nicht frei verfügbar (IGV 2024)
DESTATIS Fachserie 3 Reihe 4.1	Landwirtschaft	Tierzahlen für Rinder, Schweine, Schafe	Vorläufige Daten, Datenstand 3.11.2023, frei verfügbar (Destatis 2023c)
DESTATIS Fachserie 4 Reihe 8.2	Landwirtschaft	Daten zur Düngemittelversorgung	Daten lagen vollständig vor, frei verfügbar (Destatis 2024b)

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2023; Veröffentlichungsdatum; Verfügbarkeit
Energieverbrauch der Bauwirtschaft sowie der Land- und Forstwirtschaft (Sonderauswertung der AGEB)	Landwirtschaft	Energieverbrauch Bau-, Land- und Fortwirtschaft nach Energieträgern in Zeitreihen	vorläufige Daten lagen vor; Datenstand 15.02.2024; nicht frei verfügbar - Daten werden vsl. im dritten Quartal im Rahmen der Auswertungstabellen der AGEB auf deren Internetseite veröffentlicht (AGEB 2024b)
DESTATIS Fachserie 3 Reihe 3.2.1	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 2023; Für Dauergrünland, Körnermais, Zuckerrüben, Klee gras und Grasanbau wurden Daten aus 2022 verwendet; die vorläufigen Daten liegen dem Expertenrat für Klimafragen vor. Die finalen Daten sind mittlerweile frei verfügbar (Destatis 2023d).
DESTATIS Daten zur Abfalldeponierung und persönliche Mitteilung an das UBA	Abfallwirtschaft und Sonstiges	Jährliche Aktivitätsdaten zur Abfalldeponierung, biologischen Abfallbehandlung, mechanisch-biologischen Abfallbehandlung	Seit 2020 nicht mehr öffentlich verfügbar, sondern direkte Datenübermittlung ans UBA
DESTATIS Einwohnerzahlen in Deutschland	Abfallwirtschaft und Sonstiges		Daten für das Jahr 2023 lagen vor; nicht frei verfügbar (Destatis 2024f)
DESTATIS FS 19, R 2.1.2 + R 2.1.3	Abfallwirtschaft und Sonstiges	Anzahl an abflusslosen Gruben	Seit 2020 nicht mehr öffentlich verfügbar, sondern direkte Datenübermittlung ans UBA
DESTATIS, FS3, R 3.2.2	LULUCF		div. Jgg. (Destatis 2024g)
DESTATIS FS 3, R 3.3.1	LULUCF	Nationale Holzeinschlagstatistik	Mittel der Jahre 2020-2022, aktuelle Statistik lag nicht vor, frei verfügbar (Destatis 2023e)
DESTATIS FS 4, R 3.1	LULUCF	Produktionsmengen für Torf aus industriellem Torfabbau	Aktuelle Statistik lag nicht vor (Destatis 2023a)
DESTATIS Aquakulturbetriebe, Anlagengröße	LULUCF	Aquakulturbetriebe, Anlagengröße	Mittel der letzten vier Erhebungen (Destatis 2024h)

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2023; Veröffentlichungsdatum; Verfügbarkeit
Basis-Digitales Landschaftsmodell zu den Zeitpunkten	LULUCF	Landnutzungsveränderung	Das Landschaftsmodell wird fortlaufend aktualisiert. Datenabruf erfolgt stets jährlich im September des Berichtsjahres. Nicht öffentlich verfügbar.
Karte organischer Böden Deutschlands	LULUCF	Kartierung organischer Böden	Version HuMoorEi; einmalige Zusammenstellung für die Klimaberichterstattung. Nicht öffentlich verfügbar.
Open Street Map	LULUCF	Landnutzung	Letztmalige Nutzung 2023, 2024 nicht mehr genutzt.
Corine Land Cover	LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung	Verwendung der Datensätze von vor 2000 (BKG 2000)
Digitales Landbedeckungsmodell zum Zeitpunkt 2012	LULUCF	Landnutzung	Version 2012 und 2015 zur Verifizierung und Lückenfüllung. Nicht öffentlich verfügbar.
Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database - Forestry Production and Trade	LULUCF	Berechnung der Aktivitätsdaten zu Holzprodukten	(FAO 2023)

Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

- 16 Der größte Teil der THG-Emissionen im Sektor **Energiewirtschaft** entstammt der CRF-Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ (97,7 %). Die Berechnung in dieser CRF-Kategorie erfolgt weitestgehend analog zum Vorgehen der Inventarberechnung. Grundlage für die Bestimmung der Aktivitätsdaten durch das Umweltbundesamt ist hauptsächlich die Frühschätzung der Energiebilanz, die durch die AGEB erstellt wird. Um die Aktivitätsdaten daraus abzuleiten, werden die Energieeinsätze aus den einzelnen Energiebilanzzeilen (EBZ) der Frühschätzung proportional zur Aufteilung der Energiebilanz des Jahres t-2 disaggregiert (ERK 2024, Kapitel 2). Anschließend werden die Aktivitätsdaten mit den Emissionsfaktoren der Brennstoffe multipliziert. Die 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“.
- 17 Grundlage für die Erstellung der für CRF-Kategorie 1.A.1.a relevanten Energiebilanzzeilen ist die Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2024j), die bis einschließlich November des Berichtsjahres vorliegt und für den Monat Dezember anhand der Veränderungsrate des Vorjahres fortgeschrieben wird. Die jährlichen Brennstoffeinsätze der Fernheizwerke liegen nicht in monatlicher Auflösung vor und müssen geschätzt werden. Die eingesetzten Brennstoffe können dabei mittels aus der UBA-Kraftwerksdatenbank bekannter Wirkungsgrade anteilig am gesamten Brennstoffeinsatz berechnet werden. Die Anteile werden nach allgemeiner Methodik aus dem Vorjahr

fortgeschrieben. Eine diesbezügliche Auswertung der UBA-Kraftwerksdatenbank erfolgt nur in mehrjährigem Rhythmus. Für die Bestimmung der Aktivitätsdaten bei der Strom- und Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Kraftwerke, sowie der Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Fernheizwerke werden zusätzlich zur Frühschätzung der Energiebilanz Daten aus der Abfallstatistik (Destatis 2023f) herangezogen, wobei noch nicht vorliegenden Abfallstatistiken fortgeschrieben werden.

- 18 Die Daten für die Erzeugung von Mineralölprodukten (1.A.1.b) in der Frühschätzung der Energiebilanz stammen aus der Amtlichen Mineralölstatistik (BAFA 2024). Die Amtliche Mineralölstatistik liegt bis einschließlich Oktober des Berichtsjahres vor. Um die Monate November und Dezember zu extrapolieren, wird anhand der Veränderungsrate des Vorjahres fortgeschrieben.
- 19 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 (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2024) verwendet. Datengrundlage der Frühschätzung ist die Amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2024), die für fehlende Monate anhand der Veränderungsrate des Vorjahres fortgeschrieben wird, die Jahreserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (Destatis 2023h), die Statistik der Kohlenwirtschaft (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2024) und die Monatserhebung über die Gasversorgung (Destatis 2024c).
- 20 Die restlichen THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft sind den CRF-Kategorien 1.A.3.e „Pipelinetransport“ (0,5 %) und 1.B „Diffuse Emissionen aus der Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe“ (1,8 %) zuzuordnen. Die Aktivitätsdaten für den Pipelinetransport werden aus der Frühschätzung der Energiebilanz übernommen. Datengrundlage der entsprechenden Energiebilanzzeile der Frühschätzung ist die Amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2024), die Jahreserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (Destatis 2023h), die Statistik der Kohlenwirtschaft (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2024) und die Monatserhebung über die Gasversorgung (Destatis 2024c). In der Quellgruppe „Diffuse Emissionen aus der Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe“ unterscheiden sich die genutzten Verfahren je nach Brennstoff. Allgemein können vorwiegend noch keine offiziellen Statistiken verwendet werden. In diesen Fällen wird auf Indikatoren und Modellrechnungen zurückgegriffen. Für Mineralöl erfolgt eine Fortschreibung der Vorjahreswerte. Für die Kokereien werden die Werte mithilfe der Produktionsstatistik für Roheisenerzeugung (WV Stahl 2024) abgeschätzt, für stillgelegte Kohlengruben erfolgt eine Modellrechnung und für die Braunkohleförderung und die Produkterzeugung werden Daten aus der Statistik der Kohlenwirtschaft (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2024) verwendet. Bei Erdgas werden für die Abschätzung der THG-Emissionen aus dem Erdgastransport die Zubauraten des Gasnetzes aus dem Netzentwicklungsplan als Basis herangezogen sowie einzelne Betreiber nach verfügbaren Daten angefragt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Energiewirtschaftssektor

Energiewirtschaft	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
CRF 1.A.1	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz • Fortschreibung • Verwendung von amtlichen Statistiken aus dem Berichtsjahr • Verbandsstatistiken
CRF 1.B	<ul style="list-style-type: none"> • Fortschreibung von Vorjahreswerten • Verwendung von amtlichen Statistiken aus dem Berichtsjahr • Modellberechnung • Verbandsdaten
CRF 1.A.3.e	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung der Frühschätzung der Energiebilanz
Übergreifende Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 gegenüber dem Vorjahr	
<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Plausibilisierung der Berechnungen in der CRF-Kategorie 1.A.3.e mit Hilfe einer Sonderauswertung des Statistischen Bundesamtes zu den Eigenverbräuchen der Fernleitungsnetzbetreiber, Speicherbetreiber und Produzenten auf Basis der Destatis-Statistik 068. 	

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

21 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 THG-Emissionen aus Industrieprozessen und der Produktverwendung (CRF-Kategorie 2)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 ein Zehntel der gesamten THG-Emissionen des Industriesektors relevant.

22 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 primär die von der AGEB erstellte Frühschätzung der Energiebilanz. Aus dieser werden die Aktivitätsdaten mittels einer vom Umweltbundesamt durchgeführten Disaggregation bestimmt und mit den Emissionsfaktoren der Brennstoffe verrechnet (ERK 2024, Kapitel 2). Für die Verbrennung von Brennstoffen in der Industrie sind die Energiebilanzzeilen 12 (Industriewärme Kraftwerke (nur für Strom)), EBZ 41 (Fackel- und Leitungsverluste (nur Gicht- und Konvertergas)) und 60

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 2024c).

(Endenergieverbrauch Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe) der Frühschätzung der Energiebilanz relevant. Die Energiebilanzzeile 60 basiert auf zweistufigen, ökonomischen Modellen. Die 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 2024a) auf und verwendet Daten der Energiebilanz bzw. der Jahrerhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (Stat. 067) (Destatis 2023h). 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. Dies geschieht analog zur Methodik der Emissionsberichterstattung und soll eine Untererfassung von Sekundärbrennstoffen in bestimmten Wirtschaftszweigen vermeiden. In der CRF-Kategorie 1.A.2.g viii werden zudem neben der Frühschätzung der Energiebilanz Trend-Aussagen aus der Amtlichen Mineralölstatistik verwendet.

- 23 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.
- 24 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 2024a). Über diese relativen Änderungen werden die zuletzt veröffentlichten Daten extrapoliert. Zudem wird ein Standard-Emissionsfaktor verwendet. Bei der Bestimmung der Prozessemissionen hinsichtlich der Glasherstellung und des Keramikbrennens werden aufgrund einer mangelnder Datenlage Schätzungen von Expert*innen für die Produktionsmengen verwendet.
- 25 Für die Prozessemissionen der chemischen Industrie werden unterschiedliche Methoden für die diversen Produkte verwendet. Vielfach konnte auf Angaben von Herstellern und Verbänden zurückgegriffen werden. Dies gilt insbesondere für die Ammoniak-, Salpeter-, Carbid-, Adipinsäure- und Industrieroßproduktion. Für die petrochemische Chemie und Sodaherstellung konnten Produktionsmengen von Destatis genutzt werden. Dabei ist eine Fortschreibung fehlender Quartale notwendig. Im Fall der Produktion von Dodecandisäure werden die THG-Emissionen aus dem Vorjahr verwendet. Eine Expert*innen-Schätzung wird bei der F-Gas-Produktion und somit für die HFC-, PFC- und SF₆-Emissionen angewandt.
- 26 Die Berechnungen der Prozessemissionen in der Metallindustrie basieren im Fall der Stahl- und Roheisenerzeugung auf Verbandsangaben zu Produktionsmengen. Der Einsatz von Gicht- und Konvertergas für die Primärstahlerzeugung wird auf Basis der Frühschätzung der Energiebilanz ermittelt. Auch für die Produktionsmengen von Aluminium, Blei und Zink wird auf Verbandsdaten zurückgegriffen. Hinsichtlich der Produktionsmengen von Ferrolegierungen werden Vorjahreswerte verwendet.

- 27 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; 2023i). Fehlende Monate oder Quartale werden geschätzt. Die Lösemittlemissionen werden mit Hilfe von Verbandsdaten und Vorjahreswerten abgeschätzt.
- 28 Die THG-Emissionen fluorierter Treibhausgase werden durch Schätzungen von Expert*innen ermittelt.
- 29 Für die Lachgasemissionen aus dem Lachgaseinsatz wird auf Verbandsdaten zur Absatzmenge zurückgegriffen.
- 30 Die THG-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 3: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Industriesektor

Industrie	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
CRF 1.A.2	<ul style="list-style-type: none"> • Frühschätzung der Energiebilanz basierend auf Jahresdaten und ggf. monatlichen Indikatoren, teils basierend auf einem Energiebilanz-Prognose-Modell • Extrapolation historischer Daten • Verwendung von amtlichen Statistiken aus dem Berichtsjahr • Mobile Verbraucher (Fahrzeuge und Maschinen) der Bauwirtschaft: Expert*innenschätzung (auf Grundlage des Inventarwerts 2022) unter Berücksichtigung von Informationen zur Entwicklung im Baugewerbe.
CRF 2.A	<ul style="list-style-type: none"> • Expert*innenschätzung • Verwendung von amtlichen Statistiken aus dem Berichtsjahr
CRF 2.B	<ul style="list-style-type: none"> • Expert*innenschätzung • Verwendung von amtlichen Statistiken aus dem Berichtsjahr • Verwendung von Verbandsdaten aus dem Berichtsjahr
CRF 2.C	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres • Verwendung von Verbandsdaten aus dem Berichtsjahr • Frühschätzung der Energiebilanz
CRF 2.D	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres • Verwendung von Verbandsdaten aus dem Berichtsjahr • Verwendung von amtlichen Statistiken aus dem Berichtsjahr
CRF 2.E	<ul style="list-style-type: none"> • Expert*innenschätzung
CRF 2.F	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Verbandsdaten aus dem Berichtsjahr
CRF 2.G	<ul style="list-style-type: none"> • Expert*innenschätzung • Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr
Übergreifende Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 gegenüber dem Vorjahr	

- Für Blei und Zink wurden dieses Jahr Vorjahreswerte statt Verbandsangaben verwendet.
- Für Sekundäraluminium standen Produktionsmengen des Verbandes zur Verfügung. Diese mussten also nicht wie letztes Jahr mittels Expert*innen-Schätzungen ermittelt werden.
- Es mussten keine Schmierstoffmengen geschätzt werden, da vorläufige Mineralölzeiten für stationär eingesetzte Schmierstoffe vollständig verfügbar waren.
- Die Absatzmenge von Kerzenwachs konnte vollständig aus der nationalen Statistik abgerufen werden, sodass keine Fortschreibung einzelner Monate notwendig war.

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

31 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. 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 verrechnet werden. Für den Absatz/Verbrauch³ 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 Mineralölzeiten 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 aus einer gesonderten Auswertung der AGEB entnommen. Zur Erstellung der Frühenergiebilanz durch die AGEB wird für die Energiebilanzzeile der Haushalte (Zeile 66) der Endenergieverbrauch des Vorjahres angepasst mit der Bevölkerungsentwicklung und der veränderten Witterung (ERK 2024, Kapitel 2.2.2). Auch für GHD erfolgt für die meisten Brennstoffe eine modellbasierte Berechnung auf Basis der Vorjahreswerte welche den witterungsabhängigen Teil des Verbrauches (für Raumwärme) mit der Witterung anpasst und den nicht witterungsabhängigen Teil mit der Bruttowertschöpfung. Im Gebäudesektor werden für lagerfähige Energieträger außerdem Absätze statt Verbräuche berichtet, so dass die Lagerbestandsänderungen von leichtem Heizöl, welche modellbasiert bestimmt werden, noch addiert bzw. abgezogen werden. Die weitere Gruppe an Emittenten im Gebäudesektor sind mobile Verbraucher (CRF-Kategorie 1.A.4.a/b ii). Deren THG-Emissionen betragen 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).

³ Für lagerfähige Energieträger werden für Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistung Absätze berichtet, für andere Energieträger der Verbrauch.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 im Gebäudesektor

Gebäude	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
CRF 1.A.4 a/b i	<ul style="list-style-type: none"> • Haushalte: Daten aus Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB); Witterungs- und Bevölkerungsentwicklungsanpassung des Endenergieverbrauches des Vorjahres • GHD: Daten aus Frühschätzung der Energiebilanz (AGEB), Restgröße als Differenz des Gesamtabsatzes der Brennstoffe und der Absätze an die anderen Kategorien • GHD und Haushalte: berechneter Verbrauchswert wird für die Frühschätzung mit Lagerbestandsveränderungen aus dem AGEB-Modell verrechnet
CRF 1.A.4. a/b ii	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme aus dem THG-Inventar des Vorjahres
CRF 1.A.5	<ul style="list-style-type: none"> • Mobile Emittenten: Direkte Übernahme aus den amtl. Mineralöldata • Stationäre Emittenten: CRF 1.A.4. a i zugeordnet

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

32 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 Mineralöldata (BAFA 2024) die Menge der in Deutschland abgesetzten Kraft- und Treibstoffe für das Jahr 2023. 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 Transport Emission Model (TREMOM) auf einzelne Verkehrsträger aufgeteilt. Dabei werden für diese Aufteilung und zur Plausibilisierung zusätzliche Realdaten verwendet (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden**). 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 THG-Emissionen des zivilen innerdeutschen Flugverkehrs (CRF-Kategorie 1.A.3.a) werden die Gesamt-Energiemengen aus den Amtlichen Mineralöldata mithilfe von sogenannten Splitfaktoren aus dem Modell TREMOD Aviation 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. 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 5: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 im Verkehrssektor

Verkehr	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
1.A.3.a	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Daten des Berichtsjahres (BAFA 2024) • Modellberechnung (TREMODO Aviation)
1.A.3.b	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Daten des Berichtsjahres (indirekte Restmenge) (BAFA 2024) • Expert*innenschätzung • Modellberechnung
1.A.3.c	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres (UBA 2024c) • Expert*innenschätzung (originäre DB-Daten und Fahrplandaten übriger Betreiber) • Modellberechnung
1.A.3.d	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres (UBA 2024c) • Expert*innenschätzung • Modellberechnung

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

33 Im **Landwirtschaftssektor** (CRF-Kategorie 3) dominieren Methan und Lachgas mit rund 56 % bzw. 27% die Treibhausgasemissionen, CO₂-Emissionen spielen eine untergeordnete Rolle. Die Methan-Emissionen entstehen zu rund 76 % als ein Produkt der Fermentation bei der tierischen Verdauung, insbesondere bei den Rindern (CRF-Kategorie 3.A). Die Lachgas-Emissionen stammen zu rund 84 % aus landwirtschaftlich genutzten Böden (CRF-Kategorie 3.D). Das Wirtschaftsdüngermanagement (CRF-Kategorie 3.B) trägt rund 19 % zu den Methan-Emissionen und 14 % zu den Lachgas-Emissionen bei. Für die Bestimmung der Aktivitätsdaten im Landwirtschaftssektor werden drei Fachserien des Statistischen Bundesamtes herangezogen: die Statistiken zum Viehbestand (BMEL 2024), zur Düngemittelversorgung (Destatis 2023j) und zu Wachstum und Ernte von Feldfrüchten (Destatis 2023d). 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 Mineräldüngereinsatz und Kalkung für das Vorjahr vorhanden.

Zur Berechnung der THG-Emissionen wird das Landwirtschaftliche Emissions-Inventar-Modell (Py-Gas-EM) des Thünen-Instituts verwendet, das auch für die Berechnung der Treibhausgasinventare Anwendung findet (UBA 2024c) und im Thünen-Report 91 schematisch dargestellt ist (Vos et al. 2022, S. 33). Auf Basis von Viehbeständen und Leistungsdaten berechnet das Modell die Futteraufnahme der Tiere und auf Basis dessen die Methan- und Stickstoffemissionen. Anschließend wird der Massefluss durch das Landwirtschaftssystem und die dabei auftretenden THG-Emissionen modelliert. Die THG-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.

Die THG-Emissionen aus stationären Feuerungsanlagen in der Landwirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.4.c) werden ab dem Berichtsjahr 2023 mit einer neuen Methode ermittelt. Erstmals weist die AGEB den Energieverbrauch in der Landwirtschaft zusätzlich zur Frühschätzung mit aus. Deswegen werden die Aufteilungsraten zwischen Gebäude und Landwirtschaft in der Energiebilanzzeile 67 exakt berechnet (UBA 2024b). Dadurch entfällt die bisher notwendige Fortschreibung der Aufteilungsraten basierend auf Daten des Vorjahres.

Die Verbräuche der mobilen Emittenten des Sektors Landwirtschaft werden bottom-up durch das Modell Tremod MM des ifeu-Instituts modelliert und erstmals vollständig für die Inventarberichterstattung sowie die Berechnung der Emissionsdaten übernommen (E-Mail des UBA vom 25.03.2024). Diese Methodenänderung wurde eingeführt, um die bisherige Unterschätzung der THG-Emissionen der landwirtschaftlichen mobilen Emittenten zu beheben. Tabelle 6 fasst das Vorgehen bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft sowie Änderungen im Vorgehen zusammen. Im Prüfbericht (ERK 2024) werden die Änderungen im Vorgehen im Landwirtschaftssektor in Kapitel 2.2.4 beschrieben.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Landwirtschaftssektor

Landwirtschaft		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
CRF 1.A.4.c Stationäre Feuerungsanlagen	Neue Vorgehensweise <ul style="list-style-type: none"> Datentabelle der AGEB für die Landwirtschaft Exakte Berechnung der Aufteilungsraten basierend auf vorhandenen Daten für das Berichtsjahr. Konsistente Verwendung von biogenen und fossilen Anteilen auf einheitlicher Datenbasis wie im Sektor GHD. 	Bisherige Vorgehensweise <ul style="list-style-type: none"> Datenbasis: Energiebilanz. Mitberechnung in der EBZ 67 für GHD und anschließende Aufteilung basierend auf einer Fortschreibung der Anteile aus dem Vorjahr.
CRF 1.A.4.c mobile Feuerungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> Direkte Verwendung von bottom-up mit TREMOD MM modellierten Verbräuchen. Konsistente, sektorenübergreifende Verwendung der gleichen 	<ul style="list-style-type: none"> Ableitung der Energiemengen, die der Landwirtschaft zugewiesen werden, aus den Gesamtenergiemengen der EBZ 67 über Aufteilungsfaktoren aus TREMOD MM. Übernahme der Kraftstoffmengen aus dem Vorvorjahr, wenn sich die Rahmenbedingungen bezüglich

	Beimischungsanteile an biogenen und fossilen Kraftstoffen	Schadensereignisse und Agrardieselrückerstattung nicht deutlich verändert haben.
CRF 3	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der THG-Emissionen mittels des Emissionsinventarmodells Py-GAS-EM • Wenn möglich, Verwendung von Daten aus dem Berichtsjahr 	
Übergreifende Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 gegenüber dem Vorjahr		
<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Berechnungsmethode für indirekte Lachgasemissionen aus Auswaschung und Oberflächenabfluss • Berücksichtigung der THG-Emissionen aus der Ausbringung von importierten Wirtschaftsdüngern • Expliziter Bericht der THG-Emissionen aus der Haltung von Gehegewild, Pelztieren, Straußen und Kaninchen, die zuvor in der Kategorie "Other Animals" zusammengefasst waren. 		

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

34 THG-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. Die 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 von 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 von Destatis übermittelten Daten zur öffentlichen und privaten Wasserversorgung und Abwasserentsorgung stellen die Grundlage für Extrapolationen der Aktivitätsdaten in der CRF-Kategorie 5.D (ehemals Destatis 2018b; 2018a). Diese liegen 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 Lachgas-Emissionen werden über fortgeschriebene Aktivitätsdaten errechnet, die alle drei Jahre anhand diverser Statistiken aktualisiert werden (zuletzt 2020). Tabelle 7 zeigt auf übergeordneter Ebene die Verfahren zur Emissionsberechnung für den Sektor Abfallwirtschaft sowie etwaige Änderungen, die die Methoden und die Datengrundlage betreffen.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

Abfallwirtschaft und Sonstiges	
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien	
5.A	<ul style="list-style-type: none"> • Modellberechnung ("First-Order-Decay" Modell) mit extrapolierten (Abfallentsorgungsstatistik) und aus dem Vorjahr übernommenen Aktivitätsdaten
5.B	<ul style="list-style-type: none"> • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten (Abfallentsorgungsstatistik)
5.D.1	<ul style="list-style-type: none"> • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten (öffentliche und private Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Bevölkerung) • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen (Proteinversorgung)
5.D.2	<ul style="list-style-type: none"> • Modellberechnung • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
5.E.1	<ul style="list-style-type: none"> • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten (Abfallentsorgungsstatistik)
Übergreifende Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 gegenüber dem Vorjahr	
<ul style="list-style-type: none"> • Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas aus Kläranlagen überarbeitet 	

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

35 Die flächenbezogenen 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 2023b). 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 2024c) 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 CO_2 und Methan aus Böden für alle Landnutzungskategorien die Bestimmung der Emissionsfaktoren durch empirische Modelle. Eine Ausnahme stellt die Kategorie Wald (CRF-Kategorie 4.A) dar, bei der für organische Böden Default-Werte (IPCC 2014) verwendet werden. Für Lachgas werden nationale, jährliche Messdaten verwendet. Für jede Landnutzungskategorie und jedes

Treibhausgas wird im Anschluss ein impliziter Emissionsfaktor bestimmt. Im Falle einer Landnutzungsänderung wird der Emissionsfaktor der neuen Landnutzungskategorie verwendet. Für Mineralböden werden pro Bundesland 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, die bis 2008 verwendet wurde, wogegen Werte der nachfolgenden Jahre mit einem prozess-basierten Modell ermittelt werden. 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. Der Holzproduktespeicher (CRF 4.G) wird mithilfe eines Modells berechnet, dass unter anderem den Holzeinschlag und Produktion von Holzprodukten berücksichtigt. Tabelle 8 fasst die Änderungen im Vorgehen bei der Emissionsberechnung gegenüber dem Vorjahr für den Sektor LULUCF zusammen. Im Prüfbericht (ERK 2024) werden die Änderungen im Vorgehen im Sektor LULUCF in Kapitel 2.2.4 beschrieben.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 und Änderungen gegenüber dem Vorjahr im Sektor LULUCF

LULUCF		
Methoden und Daten zur Bestimmung der Aktivitätsdaten für die CRF-Kategorien		
4.A-F	<ul style="list-style-type: none"> • Aktualisierte Landnutzungsmatrix als Grundlage für flächenbezogene Aktivitäten 	
4.A	<p>Neue Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Angepasste Inputdaten für die Modellierung von organischen Kohlenstoffgehalten in mineralischen Böden 	<p>Bisherige Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Landnutzungsmatrix und Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.B	<p>Neue Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neue regionalisierte Emissionsfaktoren für Biomasse annueller, krautiger Ackerpflanzen 	<p>Bisherige Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Landnutzungsmatrix und Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen • Verwendung aktueller Statistiken soweit möglich
4.C	<p>Neue Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neue regionalisierte Emissionsfaktoren für Biomasse annueller, krautiger Grünlandpflanzen 	<p>Bisherige Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Landnutzungsmatrix und Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Verwendung aktueller Statistiken soweit wie möglich

4.D	<p>Neue Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neue regionalisierte Emissionsfaktoren für Mineralböden in terrestrische Feuchtgebieten • Neue Landnutzungskategorie: Schifffahrtsgewässer 	<p>Bisherige Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Landnutzungsmatrix und Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.E	<p>Neue Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neue Landnutzungskategorie: Bahnkörper 	<p>Bisherige Vorgehensweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Landnutzungsmatrix und Extrapolation historischer Aktivitätsdaten • Aktivitätsdaten werden aus dem Treibhausgasinventar des Vorjahres übernommen
4.G	<ul style="list-style-type: none"> • Extrapolation historischer Aktivitätsdaten 	
<p>Übergreifende Änderungen in Daten und Methoden für das Berichtsjahr 2023 gegenüber dem Vorjahr</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Anpassungen der Berechnungsmethode der Landnutzungsmatrix bei Biomasse mehrjähriger, verholzender Pflanzen sowie bei Mineralböden des Bundeslandes Bayern 		

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

- 36 Die Treibhausgasinventare enthalten Emissionsberechnungen 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 der letzten beiden Prüfberichte (ERK 2022b; 2023b) zeigte sich bereits, dass die erste Schätzung eines Berichtsjahrs, die als stabil betrachtet werden kann, aus dem zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+3)⁴ hervorgeht, da nachträgliche Korrekturbedarfe gering sind. Ebenfalls zeigten die Prüfberichte, dass es zu keiner systematischen Über- oder Unterschätzung der THG-Emissionen kam, die sich aus Korrekturen ergeben würde (ERK 2022b; 2023b). Dies bestätigte sich auch unter Einbeziehung der nun hinzugekommenen Schätzungen aus dem Treibhausgasinventar 2024 (UBA 2024c). Die im Folgenden durchgeführten Analysen beziehen hierzu die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bis hin zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar ein.
- 37 Die Korrekturen über alle Sektoren hinweg zeigen als Gesamtbetrachtung (276 Datenpunkte) keine statistisch feststellbare Tendenz zu Erhöhungen (129) oder Reduktionen (147; $\chi^2_1 = 1,17$, $p = 0,28$). Auch auf sektoraler Ebene sowie für die Summe aller THG-Emissionen (ohne LULUCF) können keine systematischen Ungleichgewichte nachgewiesen werden ($\chi^2_7 = 7,45$, $p = 0,38$). Tabelle 9 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.

⁴ Die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres wird wie in Kapitel 2 des Prüfberichts 2024 dargestellt zum 15. März des dem Berichtsjahr folgenden Jahres veröffentlicht (BJ+1), das zum Berichtsjahr korrespondierende Nationale Treibhausgasinventar jedoch erst mit einer zeitlichen Distanz von zwei Jahren (BJ+2, siehe Kapitel 2, ERK 2023a). Im Rahmen der nachfolgenden Analyse wird das Treibhausgasinventar, welches drei Jahre nach dem Berichtsjahr publiziert wird (BJ+3), als erste stabile Schätzung und als zweites nachfolgendes Treibhausgasinventar bezeichnet.

Tabelle 9: Übersicht und statistischer Vergleich der Korrekturen (keine, Erhöhung, Reduktion) zwischen der Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres bis zum vierten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+1 bis BJ+5) für alle Sektoren und die Gesamtemissionen.

	Keine	Erhöhung (E)	Reduktion (R)	Anteil Erhöhungen E/(E+R)	[95 % KI]	χ^2	p-Wert
Energiewirtschaft	0	25	21	54 %	[40 - 68] %	0,35	0,56
Industrie	0	17	29	37 %	[25 - 51] %	3,13	0,08
Gebäude	0	21	25	46 %	[32 - 60] %	0,35	0,56
Verkehr	0	21	25	46 %	[32 - 60] %	0,35	0,56
Landwirtschaft	0	25	21	54 %	[40 - 68] %	0,35	0,56
Abfallwirtschaft	0	20	26	43 %	[30 - 58] %	0,78	0,38
Summe (ohne LULUCF)	0	18	28	39 %	[26 - 54] %	2,17	0,14

Eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen auf Basis der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) und der Treibhausgasinventare (TI) des Umweltbundesamtes der Berichtsjahre 2010–2022. 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]) folg aus einem zweiseitigem Chi-Squared Test für Proportionen mit einem Freiheitsgrad mit dem kritischen Wert ($\chi_{1,2}^2$) und zugehörigem p-Wert (< 0,05 entspricht systematischen Überhängen).

- 38 Die Korrekturbedarfe nehmen in der Regel, wie in vergangenen Prüfberichten (ERK 2022a; 2023a) festgestellt und oben beschrieben über die Zeit ab und stellen sich im zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+3) auf stabile Verhältnisse ein (Tabelle 10). Dieser Korrekturbedarf liegt für alle Sektoren zwischen 0,2 % und 0,7 %, ausgenommen die Sektoren Landwirtschaft sowie 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 des zweiten nachfolgenden Treibhausgasinventar (BJ+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 THG-Emissionen angibt (ERK 2024, Kapitel 4.3).

Tabelle 10: 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 %	0,2 %
Industrie	1,9 %	1,6 %	0,5 %	0,5 %
Gebäude	2,7 %	3,4 %	0,8 %	0,7 %
Verkehr	0,8 %	0,6 %	0,3 %	0,3 %
Landwirtschaft	2,6 %	2,7 %	2,7 %	3,1 %
Abfallwirtschaft und Sonstiges	11,0 %	10,3 %	8,2 %	8,4 %
Summe (ohne LULUCF)	0,7 %	0,7 %	0,3 %	0,3 %

Eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen auf Basis der Treibhausgasemissionsdaten des Vorjahres (BVE) und der Treibhausgasinventare (TI) des Umweltbundesamtes der Berichtsjahre 2010–2022. Die gemittelten Werte basieren auf den Beträgen der relativen Korrekturbedarfe. Die Farbskala ist von 0 % bis 10 % genormt und rot repräsentiert das Tabellenmaximum.

- 39 Die relativen Korrekturen der Gesamtemissionen (Summe ohne LULUCF) waren über die Zeit im Vergleich zu denen der einzelnen Sektoren durchweg gering (0,7 % 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 %.
- 40 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

- 41 Die 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 2024c).
- 42 Aufgrund der Anforderungen an die Buchführung für weite Bereiche wirtschaftlicher Aktivität sind Aktivitätsdaten tendenziell von einer geringeren Unsicherheit geprägt als Emissionsfaktoren. Laut Umweltbundesamt (UBA 2024c) 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 der 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 2023

- 43 Wie bereits in den vergangenen Berechnungen der Vorjahres-Emissionen wies das Umweltbundesamt auch dieses Jahr eine Abschätzung der Unsicherheiten aus. Dabei wird die qualitative Einschätzung im begleitenden Bericht (UBA 2024b) zusätzlich um eine quantitative Abschätzung des Unsicherheitsbereiches (UBA 2024e) der jeweiligen sektoralen Punktschätzung ergänzt, die dem Expertenrat für Klimafragen vorliegt. Für die Bestimmung der Unsicherheit sektoraler THG-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 THG-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.

- 44 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 2023 im Vergleich zum Treibhausgasinventar für das Jahr 2023 (UBA 2024e) wider. Das Umweltbundesamt verwendet hierfür einen "Booster" auf Basis einer Expert*innenschätzung, um die zusätzliche Unsicherheit systematisch auf die Unsicherheit in den Aktivitätsdaten anzuwenden.
- 45 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 bestimmt⁵. 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 widerspiegelt⁶. Hierdurch ergibt sich eine neue (höhere) Gesamtunsicherheit. Die Konfidenzintervalle der sektoralen Emissionsfaktoren wurden vom Umweltbundesamt aus dem Treibhausgasinventar für 2022 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.

⁵ 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.

⁶ Die entsprechenden Boosterfaktoren für die einzelnen Sektoren sind: Energiewirtschaft 1,1; Industrie 1,3; Gebäude 1,5; Verkehr 1,03; Landwirtschaft 1,1; Abfallwirtschaft und Sonstiges 1,1; LULUCF 1,3.

A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen

A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung

A.3.1.1 Methodik

46 Bei der Indexdekompositionsanalyse (IDA) werden die THG-Emissionen als Funktion von zentralen, vorab definierten Faktoren ausgedrückt. Dabei wird die Veränderung der THG-Emissionen mit der Veränderung der Faktoren assoziiert. Der Beitrag der Faktoren wird dadurch in der gleichen Einheit wie die THG-Emissionen ausgedrückt (Mt CO₂-Äq.). 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).

47 Die allgemeine Dekompositionsidentität der THG-Emissionen THG mit n Faktoren ist gegeben als

$$THG = \sum_i THG_i = \sum_i x_{1,i} \cdot \dots \cdot x_{n,i},$$

wobei i mögliche Unterkategorien (z.B. verschiedene Branchen in der Industrie) definiert. THG_i sind somit die Treibhausgasemissionen der jeweiligen Unterkategorie und $x_{1,i}, \dots, x_{n,i}$ stellen die n Faktoren in der Unterkategorie i dar. Eine detaillierte Darstellung bietet (Ang 2005). Beispiele für Faktoren sind die Bevölkerungszahl oder die Wirtschaftsentwicklung (BIP pro Kopf).

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

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

Für einen spezifischen Faktor k aus $1, \dots, n$ entspricht ΔTHG_{x_k} dem über alle Unterkategorien aggregiertem Beitrag an den THG-Emissionen, der einer Veränderung im Faktor x_k zugeschrieben wird. In der LMDI I Methode wird ΔTHG_{x_k} berechnet als

$$\Delta THG_{x_k} = \sum_i \frac{THG_i^T - THG_i^0}{\ln THG_i^T - \ln THG_i^0} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right).$$

ΔTHG_{x_k} ist also abhängig von der logarithmischen Veränderung des jeweiligen Faktors im Verhältnis zu der logarithmischen Veränderung der THG-Emissionen.

49 Als Basisjahr 0 wird in diesem Bericht jeweils das Vorjahr gewählt. Die Ergebnisse werden grafisch in Form eines Wasserfalldiagramms dargestellt, um die jeweilige Veränderung gegenüber dem Vorjahr zu verdeutlichen. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die Dekompositionsmethode zwar nützlich für die Analyse der Veränderung der Faktoren 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

Sektorenübergreifend

50 Die sektorenübergreifende Dekomposition umfasst die gesamten jährlichen THG-Emissionen (ohne LULUCF) (THG_{Gesamt}). Diese werden in die Faktoren 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 11). 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 11: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifend

Daten	Quelle	Details
CO ₂ -Emissionen gesamt (ohne LULUCF)	(UBA 2024b)	Aus den Trendtabellen
Bevölkerung	(Destatis 2024e) (Destatis 2024d)	Genesis Datenbank, Tabelle 12111-0001 (bis 2022) und Schätzung von Destatis (für 2023)
Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2024k)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0001
Primärenergieverbrauch	(AGEB 2023) (AGEB 2024c)	Entnommen aus EBZ 8 der Energiebilanzen (bis 2022) und der Frühschätzung der Energiebilanz (für 2023)
Endenergieverbrauch	(AGEB 2023) (AGEB 2024c)	Entnommen aus EBZ 45 der Energiebilanzen (bis 2022) und der Frühschätzung der Energiebilanz (für 2023)

Eigene Darstellung.

Industrie

51 Die Dekomposition des Brennstoffanteils im Endenergiebedarf der Industrie, $EEV_{Brennstoffe, Industrie}$, umfasst die gesamten jährlichen Brennstoffbedarfe (Endenergie abzüglich Strom, Fernwärme und erneuerbaren Energieträgern). Diese werden in die Faktoren Aktivitätseffekt der gesamten Industrie (Ausgedrückt durch den Produktionsindex PI_{Gesamt}), Struktureffekt ($\frac{PI_{Branche i}}{PI_{Gesamt}}$) und Intensitätseffekt (Verhältnis des brennstoffbezogenen Endenergieeinsatzes zu Produktionsindex ($\frac{EEV_{Brennstoffe, Branche i}}{PI_{Branche i}}$)) zerlegt. Die Betrachtung der Branchen i erfolgt hierbei auf Ebene der Energiebilanzzeilen 46 bis 59. Die hierbei nötige Aggregation der Produktionsindizes der jeweils enthaltenen Wirtschaftszweige erfolgt basierend auf Vogel et al. (2023). Die hierbei verwendeten Gewichte (basierend auf der Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten) wurden von Destatis zur Verfügung gestellt und stellen die wirtschaftliche Struktur von 2015 dar.

52 Die Faktorzerlegung ist somit gegeben als:

$$EEV_{Brennstoffe, Industrie} = PI_{Gesamt} \cdot \sum_i \frac{PI_{Branche i}}{PI_{Gesamt}} \cdot \frac{EEV_{Brennstoffe, Branche i}}{PI_{Branche i}}$$

Gemäß der verwendeten additiven LMDI I Methode (Ang et al. 1998) ergeben sich die zu ermittelnden Anteile für die Veränderungen im Brennstoffverbrauch zwischen den Zeitpunkten 0 und T dementsprechend als:

$$\Delta EEV_{\text{Aktivitätseffekt}} = \frac{EEV_{\text{Brennstoffe, Industrie}}^T - EEV_{\text{Brennstoffe, Industrie}}^0}{\ln(EEV_{\text{Brennstoffe, Industrie}}^T) - \ln(EEV_{\text{Brennstoffe, Industrie}}^0)} \ln\left(\frac{PI_{\text{Gesamt}}^T}{PI_{\text{Gesamt}}^0}\right)$$

$$\Delta EEV_{\text{Struktureffekt}} = \sum_i \frac{EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^T - EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^0}{\ln(EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^T) - \ln(EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^0)} \ln\left(\frac{PI_{\text{Branche } i}^T}{PI_{\text{Branche } i}^0} \frac{PI_{\text{Gesamt}}^0}{PI_{\text{Gesamt}}^T}\right)$$

$$\Delta EEV_{\text{Intensitätseffekt}} = \sum_i \frac{EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^T - EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^0}{\ln(EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^T) - \ln(EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^0)} \ln\left(\frac{PI_{\text{Branche } i}^0}{PI_{\text{Branche } i}^T} \frac{EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^T}{EEV_{\text{Brennstoffe, Branche } i}^0}\right)$$

Tabelle 12: Dekomposition Variablen – Industrie

Daten	Quelle	Details
Brennstoffanteil im Endenergiebedarf der Industrie (Endenergie abzüglich Strom, Fernwärme und erneuerbaren Energieträgern)	(UBA 2023c)	Aus den AGEB-Energiebilanzen (2019-22) sowie der AGEB-Frühbilanz (2023)
Produktionsentwicklung	(Destatis 2024i)	Produktionsindex für das verarbeitende Gewerbe, Genesis Datenbank, Tabelle 42153-0001, 2015=100

Eigene Darstellung.

A.3.2 Bestimmung des marginalen Kraftwerks anhand der Merit Order

- 53 Der Großhandelsstrompreis wird in Deutschland anhand der sogenannten Merit Order gebildet.
- 54 Als Merit-Order wird in der Energiewirtschaft die Einsatzreihenfolge der stromproduzierenden Kraftwerke bezeichnet, welche sich an den Grenzkosten der bietenden Kraftwerke orientiert. Dabei werden die Kraftwerke nach Grenzkosten in aufsteigender Reihenfolge sortiert. Unter der Annahme perfekten Wettbewerbs stellt die Merit-Order die kurzfristige Angebotskurve dar, sodass die Grenzkosten des teuersten Kraftwerks, welches zur Deckung der Stromnachfrage im Gleichgewicht benötigt wird, dem Gleichgewichtspreis entspräche (FFE 2022).
- 55 Basierend auf den Großhandelsstrompreisen kann daher für jede Stunde das marginale Kraftwerk näherungsweise ermittelt werden. Das marginale Kraftwerk ist das letzte Kraftwerk in der Merit-Order, dessen Grenzkosten noch unter dem stündlichen Großhandelsstrompreis liegen. Die Datengrundlage liefert das Merit-Order Tool von Arnold et al. (2024). Die stündlichen Großhandelspreise für Strom sind BNetzA (2024) entnommen. In der Merit-Order wurden Kernkraftwerke bis zu ihrer Abschaltung am 15.04.2023 berücksichtigt. Es muss beachtet werden, dass die Ermittlung des marginalen Kraftwerks nur eine Annäherung darstellt, da das tatsächliche marginale Kraftwerk nicht bekannt ist.

56 In jeder Stunde wird der Emissionsfaktor für den Energieträger des dazugehörigen marginalen Kraftwerks ausgewiesen. Der Emissionsfaktor ist der Quotient aus den CO₂-Emissionen der Stromerzeugung und der Nettostromerzeugung je Energieträger. Die Daten für die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung sind durch das UBA (2024d) bereitgestellt. Die Nettostromerzeugung umfasst die Netzeinspeisung und die industrielle Eigenproduktion (Fraunhofer ISE).

A.3.3 Kontrafaktische Szenarien

Im Folgenden wird beschrieben, wie der Einfluss der Witterung und des Rückgangs der energieintensiven Industrie auf die THG-Emissionen der Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude jeweils quantifiziert wird.

Witterungseffekt im Sektor Energiewirtschaft

57 Um die Größenordnung des Witterungseffekts in der Energiewirtschaft abzuschätzen, wird die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern im Jahr 2023 mit dem langjährigen Mittel verglichen und die Abweichung zwischen beidem mit dem Emissionsfaktor des jeweiligen marginalen Kraftwerks⁷ multipliziert. Als Indikator für die Witterungsbedingungen dienen die Volllaststunden der erneuerbaren Energieträger. Die Volllaststunden werden als Quotient der realisierten Erzeugung und der installierten Erzeugungskapazität je erneuerbarem Energieträger berechnet und stellen ein Maß für die Auslastung einer Anlage dar. Es werden die Energieträger Wind an Land, Wind auf See, Photovoltaik und Wasserkraft berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt jährlich für die Jahre 2003 bis 2023 und basiert auf Daten von AGEE-Stat (2024). Auf Basis der Volllaststunden der Jahre 2003 bis 2022 wird ein langjähriges Mittel errechnet. Für Wind auf See basiert das langjährige Mittel auf den Daten für die Jahre 2009 bis 2022, da zuvor keine installierte elektrische Leistung von Windenergieanlagen auf See mit Netzanschluss bestand. Anhand des langjährigen Mittels wird je Energieträger die prozentuale Abweichung der Volllaststunden im Jahr 2023 berechnet. Die Höhe und Richtung der Abweichung der Volllaststunden vom langjährigen Mittel unterscheidet sich je nach Energieträger.

58 Die prozentuale Abweichung der Volllaststunden gegenüber dem langjährigen Mittel wird mit den stündlichen Erzeugungsdaten für das Jahr 2023 multipliziert. Die stündlichen Erzeugungsdaten basieren auf der Datenbank von BNetzA (2024). Das Ergebnis ist die stündliche Veränderung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieträger gegenüber dem langjährigen Mittel in Megawattstunden. Die Summe über die stündlichen THG-Emissionen des Jahres 2023 wird als Abschätzung des Witterungseffekts in der Energiewirtschaft herangezogen.

59 Die Abschätzung beruht auf mehreren Annahmen: Zum einen wird angenommen, dass die Veränderung der Volllaststunden über das Jahr gleich verteilt ist. Zum anderen wird die Veränderung der Volllaststunden komplett den Witterungsbedingungen zugeschrieben. Andere Effekte, wie Effizienzgewinne, die trotz ungünstigen Witterungsbedingungen zu einer höheren Auslastung führen können, werden nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wird angenommen, dass die veränderte Stromerzeugung aufgrund des Witterungseffekts durch inländische Erzeugungskapazitäten gedeckt wird und nicht durch Stromimporte. Würde sie durch Stromimporte gedeckt werden, würde der Witterungseffekt geringer ausfallen.

⁷ Das marginale Kraftwerk ist das letzte Kraftwerk in der Merit-Order, dessen Grenzkosten noch unter dem jeweiligen Großhandelsstrompreis liegen.

Witterungseffekt im Sektor Gebäude

- 60 Im Gebäudesektor sind 93,5 % der THG-Emissionen auf die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in stationären Feuerungsanlagen in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung zurückzuführen. Diese stationären Feuerungsanlagen werden genutzt, um Heizwärme und Warmwasser bereit zu stellen, wobei Heizwärme hiervon den weitaus größeren Teil ausmacht. Der Heizenergieverbrauch und somit auch die THG-Emissionen werden von der Witterung in einem gegebenen Jahr beeinflusst, die unabhängig von anderen Einflussfaktoren wie der technischen Energieeffizienz eines Gebäudes ist.
- 61 Im Gebäudesektor wird der Witterungseffekt basierend auf dem Vergleich der Gradtagzahlen im Jahr 2023 und den Gradtagzahlen im langjährige Mittel⁸ abgeschätzt. 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. Um abzuschätzen, wie die THG-Emissionen bei einer Witterung wie im langjährigen Mittel gewesen wären (*THG_{Gebäudesektor kontrafaktisch}*), wird der Teil der THG-Emissionen, der als temperaturabhängig eingestuft wird, mit dem Klimafaktor multipliziert. Als temperaturunabhängig werden die THG-Emissionen durch mobile Verbraucher, das Militär sowie den Warmwasserverbrauch, der mit 15 % angenommen wurde, eingestuft. Diese sind von der Multiplikation mit dem Klimafaktor ausgeschlossen:

$$THG_{\text{Gebäudesektor kontrafaktisch}} = 0,85 \cdot \text{Klimafaktor} \cdot THG_{\text{Gebäudesektor}} + 0,15 \cdot THG_{\text{Gebäudesektor}}$$

- 62 Das Verfahren unter Nutzung der Gradtagzahlen ist diversen Unsicherheiten unterworfen. Zum einen ist die Frage, welcher Anteil der THG-Emissionen temperaturabhängig ist. Zum anderen wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem temperaturabhängigen Teil der THG-Emissionen und den Gradtagzahlen angenommen. Darüber hinaus 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. Beide Verfahren führen zu unterschiedlichen Ergebnissen, was wiederum auch zu verschiedenen Ergebnissen bei den temperaturbereinigten THG-Emissionen führen.

Effekt der energieintensiven Industrie im Sektor Energiewirtschaft

- 63 Für die Abschätzung des Effekts der energieintensiven Industrie auf die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft wird der Stromverbrauch der energieintensiven Industrie im Jahr 2023 mit dem mittleren Stromverbrauch der Jahre 2005 bis 2022 verglichen. Der Stromverbrauch der energieintensiven Industrie wird als Summe von folgenden Wirtschaftszweigen der Energiebilanz berechnet: Papiergewerbe, Grundstoffchemie, Sonstige chemische Industrie, Glas und Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden, Metallerzeugung, Nichteisenmetalle und -gießereien und

⁸ Als Referenz wird der Mittelwert über die letzten 20 Jahre herangezogen (2003-2022).

Metallbearbeitung. Die Daten stammen für die Jahre 2005 bis 2022 aus den Energiebilanzen der AGEb. Für das Jahr 2023 werden die Daten der Frühschätzung der Energiebilanz (AGEb 2024c) entnommen. Die Auswahl der Wirtschaftszweige orientiert sich an der Definition des Produktionsindex der energieintensiven Industrie (Vogel et al. 2023). Die Wirtschaftszweige stimmen allerdings nicht komplett überein, da die Daten zum Stromverbrauch teilweise in einer anderen Auflösung vorliegen als die Daten, die dem Produktionsindex der energieintensiven Industrie zugrunde liegen.

- 64 Die Differenz aus dem Stromverbrauch der energieintensiven Industrie im Jahr 2023 und dem Stromverbrauch der energieintensiven Industrie im langjährigen Mittel, wird mit dem durchschnittlichen Emissionsfaktors des marginalen Kraftwerks im Jahr 2023 multipliziert. Dieser ist der Mittelwert aus den stündlichen Emissionsfaktoren des Energieträgers des jeweiligen marginalen Kraftwerks. Dies beruht auf der Annahme, dass die zusätzliche Strommenge komplett durch das marginale Kraftwerk gedeckt worden wäre (und nicht beispielsweise durch eine Erhöhung des Stromimports). Der durchschnittliche Emissionsfaktor für das Jahr 2023 beträgt 0,9 t CO₂/MWh.
- 65 Die Veränderung im Stromverbrauch der energieintensiven Industrie gegenüber dem langjährigen Mittel wird bei dieser Abschätzung komplett den Produktionsrückgängen zugeschrieben. Dies stellt eine Vereinfachung dar, da auch andere Aspekte, wie Effizienzgewinne, zu einem Rückgang der Stromnachfrage führen können. Dies führt tendenziell zu einer Überschätzung des Effekts, allerdings lassen sich beide Effekte nur schwer trennen.

Effekt der energieintensiven Industrie im Sektor Industrie

- 66 Für den Industriesektor wird der Einfluss des Rückgangs der energieintensiven Industrie auf die THG-Emissionen mithilfe eines Zeitreihenmodells geschätzt. Das Modell enthält den Produktionsindex der energieintensiven Industrie⁹ als erklärende Variable. Der Produktionsindex der energieintensiven Industrie dient dabei als Indikator für den Rückgang der energieintensiven Industrie. Dieser lag im Jahr 2023 um rund 21 % unter dem Wert des langjährigen Mittels¹⁰. Für eine Diskussion der Ursachen siehe auch ERK (2024, Kapitel 6.2.2). Basierend auf dem geschätzten Zeitreihenmodell, werden kontrafaktische THG-Emissionen berechnet, die bei einem Produktionsindex wie im langjährigen Mittel zu erwarten gewesen wären. Dies gibt eine Abschätzung, wie hoch die THG-Emissionen der Industrie ohne die beobachteten Produktionsrückgänge der energieintensiven Industrie gewesen wären.
- 67 Da die Zeitreihe der THG-Emissionen der Industrie nicht stationär¹¹ ist, werden die eingehenden Zeitreihen differenziert. Tests auf Autokorrelation zeigen, dass die differenzierten THG-Emissionen keine Autokorrelation aufweisen. Folgendes Modell wird geschätzt:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + \varepsilon_t,$$

wobei y_t die differenzierten THG-Emissionen der Industrie, x_t den Produktionsindex der energieintensiven Industrie und ε_t einen nicht-systematischen Fehlerterm darstellen. Die Parameter

⁹ Dieser bildet die Entwicklung der Produktion der fünf energieintensivsten Industriezweige ab. Diese sind "Herstellung von chemischen Erzeugnissen", "Metallerzeugung und -bearbeitung", "Kokerei und Mineralölverarbeitung", "H.v.Glas,-waren, Keramik, Verarb. V.Steinen u.Erden", und "Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus" (Vogel et al. 2023). Dieser Produktionsindex ist als Indikator besonders geeignet, da die durch ihn abgebildeten Wirtschaftszweige gut drei Viertel des Energieverbrauchs (Stand 2021 ,Destatis 2023b) der Industrie ausmachen.

¹⁰ Der Produktionsindex der energieintensiven Industrie steht ab dem Jahr 2005 zur Verfügung. Daher wird der Mittelwert über die Jahre 2005-2022 als Referenz herangezogen.

¹¹ Stationarität wurde mit dem Augmented Dickey-Fuller (ADF)-Test (Dickey und Fuller 1979) und dem Kwiatkowski-Phillips- Schmidt-Shin (KPSS)-Test (Kwiatkowski et al. 1992) überprüft.

werden mit der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Der geschätzte Koeffizient des Produktionsindex der energieintensiven Industrie ist signifikant (5 % Niveau).

- 68 Basierend auf dem geschätzten Modell, werden die THG-Emissionen der Industrie bestimmt, die sich bei einem Produktionsindex der energieintensiven Industrie wie im langjährigen Mittel ergeben hätten. Datengrundlage für die THG-Emissionen bis zum Jahr 2022 ist der Nationale Inventarbericht (UBA 2023a). Die Zeitreihe des Produktionsindex der energieintensiven Industrie ist dem Statistischen Bundesamt entnommen (Destatis 2024i). Als langjähriges Mittel dient der Mittelwert über den Zeitraum der Jahre 2005-2022. Es wird angenommen, dass sich die aus den Vergangenheitsdaten ergebenden strukturellen Zusammenhänge über die Zeit nicht ändern.

A.4 Prüftabellen

Tabelle 13: Definition der Prüfkriterien

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	<ul style="list-style-type: none"> Zu prüfende CRF-Kategorie.
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	<ul style="list-style-type: none"> Durch das UBA übermittelte Dokumente und Daten. Vorgehen des UBA bei der Berechnung der Emissionsdaten.
Prüfmethodik des ERK	<ul style="list-style-type: none"> Nachvollziehen mit Hilfe von UBA und AGEB. Plausibilisierung des zugrundeliegenden Prozesses. Schriftliche Klärung verbliebener Fragen.
Daten	<ul style="list-style-type: none"> Zu prüfende Dokumente, Tabellen und Übermittlungen.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> Die Berechnung der THG-Emissionen auf Basis der Frühschätzung und entsprechender Emissionsfaktoren konnte vollständig nachvollzogen werden (im Sinne von nachgerechnet). Die Berechnung der THG-Emissionen auf Basis der Frühschätzung und entsprechender Emissionsfaktoren konnte nicht vollständig nachvollzogen werden (im Sinne von nachgerechnet).
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> 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)	<ul style="list-style-type: none"> Keine bekannt. Option für bekannte Alternativen nennen.
Kritische Punkte	<ul style="list-style-type: none"> Keine bekannt. Option für kritische Punkte.
Gesamtfazit	<ul style="list-style-type: none"> Insgesamt kann bestätigt/ kann nicht bestätigt werden, dass richtig gerechnet wurde. Die Datengrundlage für die Aktivitätsdaten ist plausibel/ nicht plausibel. Die Berechnung der THG-Emissionen ist nachvollziehbar/nicht nachvollziehbar und plausibel/ nicht plausibel.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Prüfung der Frühschätzung der Energiebilanz der AGEB

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	<ul style="list-style-type: none"> Betrifft die CRF-Kategorien 1.A.1, 1.A.3.e, 1.B, 1.A.2, 1.A.4, 1.A.5, deren THG-Emissionen auf Basis der Daten aus der Frühschätzung berechnet werden.
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	<ul style="list-style-type: none"> Frühschätzung der Energiebilanz der AGEB.
Prüfmethodik des ERK	<ul style="list-style-type: none"> Nachvollzug der Methode für die Frühschätzung der Energiebilanz gemeinsam mit der AGEB.

Beschreibung	Ergebnis
Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Frühschätzung der Energiebilanz der AGEB für das Jahr 2020, 2022, 2023, Dokumentation zum Pilotprojekt zur Frühschätzung der Energiebilanz 2020 (UBA 2023d). • Schriftliche Antworten der AGEB.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> • Die Methode zur Berechnung der Frühschätzung der Energiebilanz konnte für alle geprüften Abschnitte nachvollzogen werden. Für eine nähere Beschreibung der Methode wird auf den Prüfbericht (ERK 2024) Kapitel Frühschätzung und Energiebilanzprognosemodell der AGEB verwiesen.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	<p>Energiebilanzprognosemodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Endenergieverbrauch in der Industrie wird von der AGEB mit einem zweistufigen Modell ermittelt. In der ersten Stufe wird der gesamte Brennstoffeinsatz einer Energiebilanzzeile bestimmt, in der zweiten Modellstufe wird dieser dann auf einzelne Brennstoffe aufgeteilt. Auf beiden Stufen erfolgt die Fortschreibung mittels Regressionsmodellen. Dabei wurden von der AGEB verschiedene Erklär-Ansätze ausprobiert, indem alternative Variablen geprüft wurden. Es ist allerdings anzumerken, dass bisher keine alternativen Modell-Typen oder andere Effekt-Typen in der Modellierung getestet wurden. Zudem ist hervorzuheben, dass die zur Schätzung verwendeten Stützzeiträume nicht die Entwicklungen verschiedener erklärender Variablen adäquat abdecken. Vorhersagen anhand dieser erklärenden Variablen („out-of-sample prediction“) sind somit in krisenhaften Jahren inhärent mit höheren Unsicherheiten behaftet. • Sowohl die AGEB als auch der Expertenrat für Klimafragen bewerten das eingesetzte Lagerbestandsmodell aufgrund seiner veralteten Datenbasis (2004-2015) als große Unsicherheit in der Berechnung. Zudem sieht der Expertenrat für Klimafragen den Ansatz kritisch Verbräuche und Lagerbestandsänderungen jeweils mit einem Modellansatz zu bestimmen und dann zu verrechnen, weil sich dadurch die Fehler beider Modelle addieren und die Unsicherheit der Berechnung weiter steigt. Dies wird durch stichprobenartige Betrachtung der Ergebnisse des Jahres 2022 bestätigt: Das Lagerbestandsmodell hat zum Beispiel den Lagereffekt für das Jahr 2022 schlecht geschätzt. Das ist einer der Gründe, warum sich nachträglich hohe Korrekturen bei der endgültigen Energiebilanz gegenüber der Frühschätzung ergeben haben. Für das Jahr 2023 werden Lagerbestandserhöhungen von etwa 74 PJ angenommen, was ca. 5,5 Mt CO₂-Äq. entspricht. Die Unsicherheiten in der Berechnung der Absätze über das Lagerbestandsmodell können nicht genau beziffert werden, Abweichungen in der Größenordnung mehrerer Megatonnen CO₂-Äq. sind aber möglich und nicht auszuschließen. • Durch die Auslagerung der Berechnung der Brennstoffeinsätze zur Energieumwandlung in Energiewirtschaft, Industrie und Gebäudesektor an die AGEB sind die Fristen zur Einbindung externer Datenquellen kürzer geworden, die Frühenergiebilanz wurde Ende Januar erstellt. Dadurch stehen gegebenenfalls einzelne Monate bestimmter Statistiken nicht zur Verfügung, die bei direkter Bearbeitung am Umweltbundesamt noch eingebunden werden können. Ein Beispiel ist die amtliche Mineralölstatistik, welche für die Berechnung der THG-Emissionen im Verkehrssektor bis einschließlich Dezember vorlag (Veröffentlichung Ende Februar) und genutzt wurde, während für die Erstellung der Frühenergiebilanz die Monate November und Dezember für das Jahr 2023 geschätzt werden mussten. Die Schätzung des Jahreswertes 2023 erfolgt, in dem die Änderungsrate zwischen den vorliegenden Monaten für das Jahr 2023 und den gleichen Monaten für das Jahr 2022 auf den Jahreswert für das Jahr 2022

Beschreibung	Ergebnis
	<p>übertragen wird. Da die amtlichen Mineralöldaten für November und Dezember inzwischen vorliegen, kann berechnet werden, welcher Fehler sich dadurch ergeben hat. Relevante Brennstoffe für den Energieeinsatz im Energiewirtschafts-, Industrie- und Gebäudesektor sind Heizöl leicht, Raffineriegas und Flüssiggas. Andere Mineralölprodukte werden zu größten Teilen im Verkehrssektor oder zur chemischen Weiterverarbeitung genutzt. Die Abweichungen liegen für leichtes Heizöl bei 36 kt CO₂-Äq., für Flüssiggas bei 56 kt CO₂-Äq. Und für Raffineriegas bei 37 kt CO₂-Äq. und damit im vernachlässigbaren Bereich. Dabei muss festgestellt werden, dass die Gradtagzahlen für die Monate November und Dezember in den Jahren 2022 und 2032 nahezu identisch waren. In Jahren, in denen die Gradtagzahlen für die zu schätzenden Monate voneinander abweichen, muss auch mit höheren Abweichungen zwischen der Schätzung der amtlichen Mineralölstatistik und den endgültigen Werten gerechnet werden.</p> <p>Vergleich Frühschätzung und endgültige Energiebilanz 2022</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Vergleich zwischen der Frühschätzung der Energiebilanz von 2022 und der endgültigen Energiebilanz 2022 ermöglicht erste empirische Erkenntnisse über die Güte der für die Zwecke der Frühschätzung verwendeten Methodik. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in ERK (2024, Kapitel 3) • Die beiden großen absoluten Abweichungen, die dem Sektor Industrie zugeordnet werden, treten beide in der Industriebranche Metallherzeugung auf. Das zweistufige Modell schätzt dabei auf der ersten Stufe die gesamte Energiemenge für die Metallherzeugung. Auf der zweiten Stufe wird die Aufteilung der gesamten Energiemenge auf die einzelnen Brennstoffe modelliert. Die Differenzen legen nahe, dass das Modell bei der Aufteilung auf die einzelnen Energieträger in der Metallherzeugung insbesondere die Steinkohle-Nutzung zu hoch und dadurch die Erdgas-Nutzung zu niedrig vorhergesagt hat. Dies begründet sich darin, dass die Erdgas-Nutzung auf der zweiten Stufe mittels einer Restrechnung bestimmt wird, nachdem die Nutzung aller anderen Energieträger bestimmt wurde. Wenn die gesamte zusätzliche Erdgas-Menge statt Steinkohle eingesetzt wurde, ergäben sich daraus Minderemissionen von 1,7 Mt CO₂-Äq. • Für den Energiesektor ergibt sich eine Minderwirkungen von 1,6 Mt CO₂-Äq. durch die Differenz in Energiebilanzzeile 38 / „Gase – Naturgase – Erdgas Erdölgas. • Die beiden Korrekturen des Absatzes an leichtem Heizöl für den Gebäudesektor (Haushalte: EBZ 66 und GHD: Teile von EBZ 67) zwischen Frühenergiebilanz und endgültiger Energiebilanz führten zu Mehremissionen von 4,3 Mt CO₂-Äq. in Haushalten und zu 4,7 Mt CO₂-Äq. Minderemissionen im Gewerbe, Handel und Dienstleistungssektor (GHD). Der absolute Fehler liegt daher in einer Größenordnung von 9 Mt CO₂-Äq. Da die Effekte zufällig gegenläufig waren, führte die Korrektur für den Gebäudesektor zu einer saldierten Reduktion der THG-Emissionen von 0,4 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022. Da die Berechnungen der Brennstoffabsätze für die Frühschätzung der Energiebilanz für GHD und Haushalte unabhängig voneinander auf Basis unverbundener Modellrechnungen erfolgen, ist das Ausgleichen der Mehremissionen in den Haushalten durch die Minderemissionen in GHD nicht zwangsläufig und eine Addition des Fehlers in Haushalten und GHD kann auch zu höheren Abweichungen zwischen der Frühschätzung der Energiebilanz und der endgültigen Energiebilanz führen. Durch dieses Beispiel zeigt sich die Größenordnung der Unsicherheit, die mit der Schätzung des Lagerbestandsauf- bzw. -abbaus einhergeht. • Der Lagerbestandsaufbau macht im Jahr 2023 laut Frühschätzung der Energiebilanz rund 5,5 Mt CO₂-Äq. bzw. 20 % der THG-Emissionen durch leichtes Heizöl aus. Auch die vertiefende Überprüfung der Frühschätzung der

Beschreibung	Ergebnis
	Energiebilanz 2022 bestätigt damit die Vorbehalte gegen die derzeit verwendete Methode aus Absatz und Lagerbestandsmodell.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	<ul style="list-style-type: none"> Seit dem Berichtsjahr 2022 wird die Frühenergiebilanz zur Berechnung der energiebedingten Emissionen für den Industrie- und Gebäudesektor genutzt. Zuvor erfolgte die Bestimmung der Emissionen aus dem Einsatz von leichtem Heizöl an die Industrie und den Gebäudesektor auf Basis des berichteten Absatzes von leichtem Heizöl „An Sonstige“ aus der amtlichen Mineralölstatistik. Die Berechnungsmethode für die Bestimmung des Absatzes an die beiden Sektoren überträgt die Änderungsrate des Gesamtabsatzes „An Sonstige“ zwischen dem Vorjahr und dem aktuellen Jahr auf die Emissionswerte des Vorjahres. Für diese Berechnung wird die amtliche Mineralölstatistik bis einschließlich Dezember genutzt, welche dem UBA ab Ende Februar vorlag und im Verkehrssektor durch das UBA auch genutzt wurde. Mit dieser Methode ergeben sich andere Absatzmengen an leichtem Heizöl und somit andere Emissionswerte als über die Berechnung im Rahmen der Frühschätzung der Energiebilanz. Der Unterschied zwischen der Berechnung über die Frühschätzung der Energiebilanz und der alten Methode des Umweltbundesamtes beträgt für Haushalte -273 kt CO₂-Äq., für GHD (inkl. Landwirtschaft) -116 kt CO₂-Äq. und im Industriesektor 27 kt CO₂-Äq.
Kritische Punkte	<ul style="list-style-type: none"> Eine Verbesserung des Lagerbestandsmodells könnte durch eine Kalibrierung mit aktuelleren Daten erfolgen. Laut AGEB liegen solche Daten jedoch nicht vor und auch dem Expertenrat sind keine geeigneten Daten für die Modellkalibrierung bekannt. Eine andere Möglichkeit wäre statt einem Modell für die Verbrauchsberechnung und einem Modell für die Lagerbestandsberechnung den Mineralölabsatz an Sonstige aus der amtlichen Mineralölstatistik zu nutzen. Dieser umfasst unter anderem Industrie und Gebäude. Da diese Daten auf Vollerhebungen beruhen, ist die Qualität der Daten hoch (ERK 2021). Allerdings ist auch über die amtlichen Mineralölstatistik keine sektorspezifische Zuordnung der Absätze möglich und Annahmen müssen über die Aufteilung auf die Sektoren getroffen werden. Der Expertenrat empfiehlt der AGEB und dem Umweltbundesamt jedes Jahr eine strukturierte Auswertung der Abweichungen zwischen Frühenergiebilanz und endgültiger Bilanz vorzunehmen, um die Schwachpunkte des Energiebilanzprognosemodells zu identifizieren und gegebenenfalls die Modelle anzupassen, wo nötig.
Gesamtfazit	<ul style="list-style-type: none"> Die Frühschätzung der Energiebilanz ist die wesentliche Datengrundlage für die Berechnung der energiebedingten THG-Emissionen. Der Expertenrat konnte das Vorgehen der AGEB nachvollziehen. Zum Stichtag der Frühschätzung fehlen teilweise Monatswerte für die letzten Monate des Vorjahres. Der Expertenrat hat die Extrapolationsmethodik stichprobenartig geprüft. Für die fehlenden Werte der Mineralölstatistik liegt die resultierende Ungenauigkeit für das Jahr 2023 unterhalb von einem Promille bezogen auf die geschätzten Gesamtemissionen aus Mineralölen und ist damit sehr gering. Je nach Jahresverlauf hätte der resultierende Fehler allerdings auch größer ausfallen können, so dass das Umweltbundesamt diesen Datenpunkt zukünftig vor Veröffentlichung der Emissionsdaten des Vorjahres auf Basis der zu diesem Stichtag in der Regel vorliegenden vollständigen Mineralölstatistik für das Vorjahr prüfen und ggf. transparent und nachvollziehbar anpassen könnte. Auch die geprüften Extrapolationen im Industriesektor erweisen sich als schlüssig, führen aber in krisenhaften Jahren (wie 2023) zu höheren Unsicherheiten als in einem stabilen Umfeld. Herausfordernd ist für die AGEB die Bestimmung des Absatzes von

Beschreibung	Ergebnis
	<p>leichtem Heizöl im Sektor Gebäude, da zum Stichtag keine Informationen über die Entwicklung der Lagerhaltung im Berichtsjahr vorliegen. Das von der AGEB zu diesem Zweck verwendete Lagerbestandsmodell beruht auf veralteten Daten und wird sowohl von der AGEB als auch vom Expertenrat als wenig verlässlich eingeschätzt. Eine grundsätzliche Neukonzeptionierung dieses Vorgehens, einschließlich der möglichen Erweiterung der Datenerhebung durch ein verbessertes Monitoring des Gebäudesektors, wird empfohlen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine rückblickende Auswertung der größten Abweichungen zwischen Frühschätzung und endgültiger Energiebilanz für das Jahr 2022 bestätigt die Vorbehalte bezüglich der Schätzmethode im Gebäudesektor. Auch im Sektor Industrie kommt es zu teils erheblichen Anpassungen. Vor dem Hintergrund des hohen Korrekturbedarfs empfiehlt der Expertenrat, regelmäßig eine strukturierte Auswertung der Korrekturen zwischen Frühenergiebilanz und endgültiger Energiebilanz vorzunehmen und das Vorgehen nach Möglichkeit zu verbessern.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Prüfung der Aufteilungsdaten der Energiebilanzzeile 12 aus der Frühenergiebilanz

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	<ul style="list-style-type: none"> • CRF-Kategorien 1.A.1 und 1.A.2
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	<ul style="list-style-type: none"> • Aufteilungsdaten für die EBZ 12 aus der Frühschätzung der Energiebilanz. Die EBZ 12 enthält Brennstoffe, die mittels der Aufteilungsdaten auf die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie aufgeteilt werden.
Prüfmethodik des ERK	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamer Nachvollzug der Daten mit dem UBA.
Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Aufteilungsdaten der Werte aus EBZ 12 auf die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie für die Brennstoffe Steinkohle, Mineralöle, Erdgas, Braunkohle und Sonstige für die Jahre 2020-2023. • Schriftliche Antworten im Nachgang zum Prüftermin.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> • Die Übernahme des Vorjahreswertes für die Erstellung der Emissionsdaten des Vorjahres kann nachvollzogen werden. Ob eine Autokorrelation der Werte zwischen verschiedenen Jahren vorliegt, kann auf Basis der vier vorhandenen Datenpunkte nicht bewertet werden. Diese Analyse erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> • Die Aufteilung der EBZ 12 erfolgt nach folgender Logik: Die Raffineriekraftwerke werden der Energiewirtschaft zugeordnet, die restlichen Industriekraftwerke dem Sektor Industrie. Die Berechnung der Aufteilungsdaten für das Inventar erfolgt auf Basis endgültiger statistischer Daten. Kritisch ist die Aufteilungsrate, welche für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres verwendet wird. Da die Daten zu diesem Zeitpunkt nicht vorliegen, wird die Aufteilungsrate aus dem Vorjahr übernommen. Da keine anderen Informationen zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehen, wird dieser Berechnungsschritt als unvermeidbar und somit adäquat bewertet. • Um einschätzen zu können, welcher Fehler sich durch diese Annahme ergibt, wird analysiert zwischen welchen Jahren die größte Abweichung der Anteile der Energiewirtschaft vorliegt und um welche Emissionswerte sich somit das

Beschreibung	Ergebnis
	<p>endgültige Ergebnis vom vorläufigen Ergebnis unterscheiden würde. Die größte Änderung der Aufteilungsrate der vorliegenden Daten liegt zwischen den Jahren 2021 und 2022 vor. Hier hat sich die Aufteilungsrate um acht Prozentpunkte geändert. Dies entspricht THG-Emissionen in der Höhe von 196,5 kt. Entscheidend ist also die Frage, ob es in der Vergangenheit bereits zu deutlich größeren Änderungen der Aufteilungsrate gekommen ist und ob diese auch in der Zukunft auftreten können. Eine abschließende Bewertung kann aber aufgrund der begrenzten Datenlage des Zeitraums 2020-2023 nicht erfolgen (siehe kritische Punkte).</p>
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	<ul style="list-style-type: none"> • Es sind keine alternativen Methoden bekannt.
Kritische Punkte	<ul style="list-style-type: none"> • Angefragt wurden die Aufteilungsrate ab dem Jahr 2000, die dem UBA auch vorliegen, da die Aufteilung auch für die Inventarberechnung vorgenommen werden muss. Zur Verfügung gestellt wurden die Daten jedoch lediglich für die Jahre 2020-2023. Begründet wurde dies <ol style="list-style-type: none"> 1. zum einen damit, dass die Daten gemäß den Anforderungen des KSG zur Verfügung gestellt wurden und zwischen der Prüfung der Emissionsdaten des Vorjahres und der Daten der Inventare unterschieden werden muss. Dabei sieht das Gesetz nicht vor, dass auch lediglich für den Zeitraum ab 2020 Daten zur Verfügung gestellt werden, um dem Prüfauftrag der Emissionsdaten des Vorjahres nachzukommen. Im KSG heißt es dazu: "Alle öffentlichen Stellen des Bundes im Sinne des § 2 Absatz 1 des Bundesdatenschutzgesetzes gewähren dem Expertenrat für Klimafragen Einsicht in die zur Wahrnehmung seiner Aufgaben benötigten Daten und stellen diese zur Verfügung" 2. und zum zweiten, dass für die Daten von 2003-2021 gerade eine interne Revision stattfindet, deren Endergebnis noch abgewartet werden soll. • Es wurde vereinbart, dass die Daten ab dem Jahr 2003 im Anschluss an die Revision dem Expertenrat für Klimafragen zur Prüfung zur Verfügung gestellt werden.
Gesamtfazit	<ul style="list-style-type: none"> • Eine abschließende Bewertung kann erst erfolgen, wenn die Daten vom UBA ab dem Zeitpunkt 2003 zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 2.A aus dem Industriesektor

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	<ul style="list-style-type: none"> • CRF-Kategorie 2.A
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	<ul style="list-style-type: none"> • Die Berechnungen des UBA zu den prozessbedingten THG-Emissionen der mineralischen Industrie für das Jahr 2023. Dies umfasst THG-Emissionen aus den Kategorien Zementklinkerproduktion (2.A.1), Kalkbrennen (2.A.2), Glasherstellung (2.A.3), Keramikproduktion (2.A.4.a), Sodaverwendung (2.A.4.b), Herstellung von nicht-metallurgischen Magnesiumprodukten (2.A.4.c) und Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d).
Prüfmethodik des ERK	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamer Nachvollzug der Daten und Methoden mit dem UBA. • Nachrechnen der CRF-Kategorien 2.A.1 und 2.A.2.
Daten	Vom UBA zur Verfügung gestellte Dokumente:

Beschreibung	Ergebnis
	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnungstabellen der Aktivitätsdaten für die Produkte Zementklinker (CRF-Kategorie 2.A.1), Kalk unterteilt in Branntkalk und Dolomitkalk (CRF-Kategorie 2.A.2), Glas (CRF-Kategorie 2.A.3) und Keramikprodukte (CRF 2.A.4.a). • NID 2024 (UBA 2024c). • Schriftliche Antworten im Nachgang zum Prüftermin. • Tabelle mit Emissionsfaktoren.
<p>Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das UBA hat in einem gemeinsamen Prüftermin für alle CRF-Kategorien der mineralischen Industrie detailliert beschrieben, wie die Berechnung der prozessbedingten THG-Emissionen erfolgt. • Für die Zementklinkerproduktion und das Kalkbrennen wurden die Vorjahreswerte der Produktionsmenge des Inventars mittels einer Veränderungsrate für das Jahr 2023 fortgeschrieben. Die Veränderungsrate wird durch amtliche Statistiken für die Jahre 2022 und 2023 ermittelt, indem die prozentuale Veränderung der Produktionsmengen der ersten drei Quartale berechnet wird. Anschließend werden dem NID folgend die für 2023 extrapolierten Produktionsmengen mit dem jeweiligen Emissionsfaktor multipliziert. Bei der Zementklinkerproduktion ist anzumerken, dass die Fortschreibung lediglich auf der Aktivitätsrate ohne Staub beruht. Dieser Wert wird um 2 % erhöht, um den Bypassstaub mit einzubeziehen. Eine detaillierte Beschreibung ist im NID (UBA 2024c, Seite 281) gegeben. • Für die Berechnung der prozessbedingten THG-Emissionen aus der Glasherstellung und der Keramikproduktion verwendet das UBA nach eigener Angabe Expertenschätzungen. Die Glasherstellung und die Keramikproduktion setzen sich jeweils aus mehreren Produkten zusammen. Teils liegen für die einzelnen Produkte amtliche Statistiken vor, sodass analog zum Vorgehen der Zementklinkerproduktion und des Kalkbrennens die Vorjahreswerte der Produktion aus dem Inventar mittels Veränderungsdaten fortgeschrieben werden können. Teils kann nicht auf aktuelle amtliche Statistiken zurückgegriffen werden. Dies ist insbesondere bei der Glasherstellung der Fall. Als Alternative wird der Durchschnitt früherer Jahre verwendet. Dabei liegt es in der Einschätzung der UBA-Expert*innen, welche Jahre geeignet erscheinen. Für die Sodaverwendung wurde aufgrund fehlender Daten auf den Emissionswert des Vorjahres zurückgegriffen. Die Expertenschätzungen, die nicht auf amtlichen Statistiken beruht, sind prinzipiell mit einer höheren Unsicherheit behaftet. Allerdings sind die Anteile der Kategorien Glasherstellung, Keramikproduktion und Sodaverwendung an den prozessbedingten THG-Emissionen ohnehin gering. • Für die Kategorien Herstellung von nicht-metallurgischen Magnesiumprodukten und weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit fallen keine THG-Emissionen an. Im ersten Fall wird auf eine Berichterstattung verzichtet, da der Beitrag zum Emissionsgeschehen gering ist und eine Abschätzung nicht gewährleistet werden kann (UBA 2024c, Seite 296). Im zweiten Fall werden die THG-Emissionen in den Quellgruppen berichtet, in denen die Produkte verwendet werden (UBA 2024c, Seite 297). • Im Nachgang an den Prüftermin wurden vom Expertenrat für Klimafragen die Kategorien mit dem größten Emissionsanteil an den prozessbedingten THG-Emissionen der mineralischen Industrie nachgerechnet. Diese zwei Kategorien sind die Zementklinkerproduktion mit 67,1 % und das Kalkbrennen mit 23,8 % im Jahr 2023. Für diese zwei Kategorien bestätigt der Expertenrat, dass die Daten korrekt aus den Primärquellen übernommen wurden und die Fortschreibung

Beschreibung	Ergebnis
	korrekt durchgeführt wurde. Der Expertenrat kommt beim Nachrechnen mit derselben Methode zu denselben Emissionswerten.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> Für die Zementklinkerproduktion und das Kalkbrennen wird die Berechnung der prozessbedingten THG-Emissionen vom Expertenrat zudem als schlüssig eingeschätzt, da auf die Standard-Methodik des Inventars und auf aktuelle Daten zurückgegriffen wird. Lediglich die Fortschreibung auf Basis amtlicher Statistiken unterscheidet sich aufgrund fehlender Verbandsdaten vom Vorgehen des NID. Das für die Extrapolation der fehlenden Werte gewählte Vorgehen ist jedoch gegeben der verfügbaren Daten plausibel. Aus denselben Gründen erscheint die Berechnung der THG-Emissionen aus der Glasherstellung, der Keramikproduktion und der Sodaverwendung schlüssig. Es existieren mögliche alternative Fortschreibungs-Methoden für fehlende Datenpunkte der Aktivitätsdaten, die teilweise im Prüftermin besprochen wurden. Zur Plausibilisierung der Aktivitätsdaten-Fortschreibung könnten weitere Datenquellen herangezogen werden, wie beispielsweise die Produktionsindizes der Zement- und Kalkherstellung. Zudem wurde für alle Kategorien eine Plausibilisierung der Ergebnisse mittels Pressemitteilungen der Verbände und Destatis durchgeführt. Auf Anfrage des Expertenrats für Klimafragen wurde außerdem eine Tabelle zur Verfügung gestellt, die die historischen Abweichungen der Schätzung von den Inventar-Werten für das Zementklinkerbrennen darstellt. Diese betragen durchschnittlich ca. einen Prozentpunkt (entspricht etwa 130 kt CO₂-Äq.). Ebenso ist in diesem Zeitraum eine jährliche Veränderung der Aktivitätsrate im einstelligen Prozentpunktbereich zu beobachten. Allerdings liegt der beobachtete Rückgang der Jahresdaten Q1-Q3 2023 zu Q1-Q3 2022 mit -15,3 % deutlich über der in der historischen Zeitreihe beobachteten Veränderungsrate (höchste betragsmäßige Abweichung im Jahr 2021 zu 2022 mit 8,1 %). Daher kann der Schätzfehler der Extrapolationsmethode im Betrachtungsjahr 2023 deutlich höher ausfallen als zuvor beobachtet.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	<ul style="list-style-type: none"> Keine bekannt.
Kritische Punkte	<ul style="list-style-type: none"> Keine bekannt.
Gesamtfazit	<ul style="list-style-type: none"> Insgesamt kann für die gezogene Stichprobe bestätigt werden, dass das Umweltbundesamt richtig gerechnet hat. Sowohl die Datengrundlage für die Aktivitätsdaten als auch die Berechnung der THG-Emissionen sind nachvollziehbar und plausibel. Auch werden die Ergebnisse des Umweltbundesamts durch einen Vergleich mit den Entwicklungen der Produktionsindizes in den betroffenen Branchen unterstützt.

Tabelle 17: Zusammenfassung der Prüfung der Berechnung der Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 4.A aus dem Sektor LULUCF

Beschreibung	Ergebnis
CRF-Kategorie	<ul style="list-style-type: none"> CRF-Kategorie 4.A Wald.
Prüfgegenstand (vom UBA zur Verfügung gestellt bzw. erläutert)	<ul style="list-style-type: none"> Nationales Inventardokument (UBA 2024c) Begleitbericht (UBA 2024b) Trendtabelle (UBA 2024e) Zeitreihenvergleich zu den Holzprodukten (Thünen-Institut 2024)

Beschreibung	Ergebnis
Prüfmethodik des ERK	<ul style="list-style-type: none"> Nachvollziehen mit Hilfe von Thünen-Institut und UBA. Schriftliche Klärung weiterer Fragen.
Daten	<ul style="list-style-type: none"> Siehe Tabelle 1 [Querverweis auf Datentabelle im TB] für eine Auflistung der vom UBA genutzten Daten und deren Aktualität. Die statistischen Zeitreihen sowie andere Werte (z.B. IPCC-Default Werte) und einige (prozess-basierten) Modelle, die der Berechnung zugrunde liegen, sind Großteils öffentlich einsehbar. Das übergreifende Landnutzungsmodell des Thünen-Instituts ist nicht öffentlich.
Nachvollziehbarkeit (wurde richtig gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> Das Vorgehen bei der Berechnung ist größtenteils nachvollziehbar. Die Schritte des Qualitätsmanagements konnten nachvollzogen werden.
Sinnhaftigkeit (wurde das Richtige gerechnet?)	<ul style="list-style-type: none"> Die angewendeten Methoden wird hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und des Detailgrads als adäquat und sinnvoll eingeschätzt.
Alternative Methoden (die zu anderen Ergebnissen führen könnten)	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung von Fernerkundungsdaten. Diese Verwendung ist für nachfolgende Inventare und Berechnungen der THG-Emissionen des Vorjahres bereits geplant. Gain-Loss-Methode für Kohlenstoffspeicher, bei der jährliche Änderungen (bzw. Emissionsfaktoren) explizit, statt implizit für die Zeitperioden zwischen den Wald/Kohlenstoff-Inventuren ermittelt werden (Stock-Difference-Methode). Durch die Verfügbarkeit von Inventuren als Datengrundlage ist die Stock-Difference-Methode jedoch vorzuziehen. Alternative Formulierungen für prozess-basierte oder empirische (Teil-)Modelle, z.B. für Bodenkohlenstoffspeicher oder Baumallometrie. Höhere Tier-Ansätze für organische Böden in Wäldern.
Kritische Punkte	<ul style="list-style-type: none"> Die Unsicherheit der Emissionsdaten ist groß (siehe UBA 2024e) und wird auch klar durch das Thünen-Institut und Umweltbundesamt kommuniziert. Grund dafür ist, dass viele Datensätze für das Berichtsjahr noch nicht vorliegen oder nur in großen Abständen erfasst werden. Das macht eine Fortschreibung der Daten nötig. Verlässliche Werte zur Emissionsdynamik lassen sich bislang nur in Abständen mehrerer Jahre durch Wald/Kohlenstoff-Inventuren ermitteln, die ebenfalls zu Rückrechnungen führen. Kurzfristige Entwicklungen, wie Störungsereignisse, lassen sich daher in der Regel nur mit mehrjähriger Verzögerung abbilden. Die Berechnungsmethode für den Holzproduktespeicher (CRF 4.G) basiert nicht auf den bestmöglichen Daten. Das zuständige Thünen-Institut hat wegen der Geheimhaltungspflicht einzelner Statistiken von Destatis (§16 Bundesstatistikengesetz) nicht die Möglichkeit, nationale und produkt-spezifische Umrechnungsfaktoren anzuwenden. Stattdessen muss auf weniger detaillierte und teils weniger aktuelle Datensätze der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen zurückgegriffen werden. Hieraus ergeben sich laut Thünen-Institut deutlich höhere Unsicherheiten, die zu Abweichungen bei der Emissionsberechnung führen können; eine quantitative Einschätzung hiervon ist wegen der Geheimhaltungspflicht bislang nicht möglich. Der Gesetzgeber sollte prüfen, ob hier Nachsteuerungsbedarf besteht. Die rechtliche Grundlage für Datenzugänge und -flüsse könnte z.B. im Bundes-Klimaschutzgesetz adressiert werden.
Gesamtfazit	<ul style="list-style-type: none"> Der Expertenrat hat keine eigenen Berechnungen durchgeführt. Die Datengrundlage für die Aktivitäten und Emissionsfaktoren ist plausibel. Die Berechnung der THG-Emissionen ist plausibel und weitgehend nachvollziehbar.

A.5 Literaturverzeichnis

AGEB (2024a): Energiebilanz der Bundesrepublik 2022 (unveröffentlicht). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2024b): Energieverbrauch der Bauwirtschaft sowie der Land- und Forstwirtschaft (Sonderauswertung AGEB). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2024c): Frühschätzung der Energiebilanz der Bundesrepublik 2023 (unveröffentlicht). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023): Internetseite. Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 bis 2022 (Stand: 30.11.2023). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/auswertungstabellen/> (22.03.2024).

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).

AGEE-Stat (2024): Tabellen. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung der Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2024). Hg. v. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren> (11.03.2024)

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.

Arnold, F., Junkermann, J., Lange, M. (2024): EWI Merit-Order Tool 2023. Hg. v. Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/ewi-merit-order-tool-2023/> (22.03.2024).

BAFA (2024): Amtliche Mineralöl Daten für die Bundesrepublik Deutschland – Dezember 2023. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

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).

BKG (2000): Karte. Corine Land Cover. Hg. v. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). Online verfügbar unter: <https://gdz.bkg.bund.de/> (03.04.2024).

BMEL (2024): Daten. 3100200-0000. Viehbestand. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL). Online verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/3100200-0000.xlsx> (11.03.2024).

BNetzA (2024): Daten. SMARD Marktdaten. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: <https://www.smard.de/home/downloadcenter/download-marktdaten/> (15.03.2024).

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 (2024a): Internetseite. Statistik. 42131. Vierteljährliche Produktionserhebung i.Verarb.Gew. (GP19). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&code=42131&levelindex=0&levelid=168016025236_5#abreadcrumb (22.03.2024).

Destatis (2024b): Internetseite. Statistik. 42321. Düngemittelstatistik. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=42321&option=table#a_breadcrumb (22.03.2024).

Destatis (2024c): Internetseite. Statistik. 43321. Monatserhebung über die Gasversorgung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1575888121393&code=43321#abreadcrumb> (22.03.2024).

Destatis (2024d): Pressemitteilung. Bevölkerung wächst im Jahr 2023 um gut 0,3 Millionen Personen. Pressemitteilung Nr. 035 vom 25. Januar 2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/01/PD24_035_124.html (04.04.2024).

Destatis (2024e): Tabelle. 12111-0001 Bevölkerung (Zensus): Deutschland, Stichtag, Nationalität, Geschlecht 2023. 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=1712216257058#abreadcrumb> (04.04.2024).

Destatis (2024f): Tabelle. 12411-0020. Bevölkerung: Deutschland, Stichtag zum Quartalsende, Geschlecht. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=12411-0020&bypass=true&levelindex=0&levelid=1710097775084#abreadcrumb> (11.03.2024).

Destatis (2024g): Tabelle. 41254-0001: Erzeugter Wein: Deutschland, Jahre, Rebsorte, Weinkategorien. 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> (22.03.2024).

Destatis (2024h): Tabelle. 41362-0004: Aquakulturbetriebe, Anlagengröße: Deutschland, Jahre, Anlagenarten. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=41362-0004&bypass=true&levelindex=0&levelid=1712219961611#abreadcrumb> (03.04.2024).

Destatis (2024i): Tabelle. 42153-0001. Produktionsindex für das Verarbeitende Gewerbe: Deutschland, Monate, Original- und bereinigte Daten, Wirtschaftszweige (Hauptgruppen und Aggregate). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42153-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1677161208080#abreadcrumb> (08.03.2024).

Destatis (2024j): Tabelle. 43311-0002: Elektrizitätserzeugung, Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz: Deutschland, Monate, Energieträger. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=43311-0002#astructure> (22.03.2024).

Destatis (2024k): Tabelle. 81000-0001: VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre (Stand 2023). 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=1666791247971#abreadcrumb> (04.04.2024).

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. Industrie, Verarbeitendes Gewerbe. Bedeutung der energieintensiven Industriezweige in Deutschland. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/produktionsindex-energieintensive-branchen.html> (27.02.2023).

Destatis (2023c): 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 (2023d): Internetseite. Statistik. 41241. Ernte-u. Betriebsbericht: Feldfrüchte und Grünland. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=41241#abreadcrumb> (22.03.2024).

Destatis (2023e): Internetseite. Statistik. 41261. Holzeinschlagsstatistik (forstl. Erzeugerbetriebe). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=41261#abreadcrumb> (22.03.2024).

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. 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 (2023i): 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 (2023j): Tabelle. 42321-0001. Inlandsabsatz von Düngemitteln: Deutschland, Wirtschaftsjahr, Düngemittelsorten. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=42321-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1707383333520#abreadcrumb> (08.03.2024).

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 (2024): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

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

ERK (2022a): Prüfbericht 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).

ERK (2021): Bericht zur Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de/publikationen/> (08.04.2022).

FAO (2023): Internetseite. FAOSTAT - Forestry Production and Trade. Hg. v. Food and Agriculture Organization (FAO). Online verfügbar unter: <https://www.fao.org/home/en> (03.04.2024).

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.

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

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

Fraunhofer ISE (2024): Internetseite. Energy-Charts. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) vertreten durch Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V (Fraunhofer-Gesellschaft). Online verfügbar unter: <https://www.energy-charts.info/index.html?!=de&c=DE> (12.04.2023).

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

IGV (2024): Verbandsdaten Industriegaseverband (Lachgasverwendung in Produkten) (unveröffentlicht). Hg. v. Industriegaseverband (IGV).

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

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hg. v. Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngaru, 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.

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.

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 Kohlenwirtschaft e.V. (2024): Internetseite. Informationen zu Braunkohle (Datenstand: 27.01.24). Hg. v. Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. Online verfügbar unter: <https://kohlenstatistik.de/> (22.03.2024).

Thünen-Institut (2024): Zeitreihenvergleich Holzprodukte im Treibhausgasinventar und in der Vorjahresschätzung der THG-Emissionen zwischen 2022 und 2024 (unveröffentlicht). Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut).

UBA (2024a): Aufteilungsfaktoren. Datenstand: 15.02.2024 (nicht frei verfügbar). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2024b): Berechnung der bundesdeutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023 gemäß Bundesklimaschutzgesetz (unveröffentlicht). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2024c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2024 (unveröffentlicht). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2024d): CO₂-Emissionen [Mio. t] der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE-Datenstand und Randjahr geschätzt (unveröffentlicht). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2024e): Daten und Grafiken. Emissionsübersichten KSG-Sektoren 1990-2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx (22.03.2024).

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

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

UBA (2023c): 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 (2023d): 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 (2024a): Verbandsdaten chemische Industrie (2.B Vorläufige jährliche Emissionen für Teilbereiche der chemischen Industrie) (unveröffentlicht). Hg. v. Verband der chemischen Industrie e. V. (VCI).

VCI (2024b): Verbandsdaten chemische Industrie (Industrie Produktionsentwicklung der Sparten im Vergleich zum Vorjahr als prozentuale Angabe) (unveröffentlicht). Hg. v. Verband der chemischen Industrie e. V. (VCI).

Vogel, L., Neumann, M., Linz, S. (2023): Berechnung und Entwicklung des neuen Produktionsindex für energieintensive Industriezweige. WISTA – Wirtschaft und Statistik (02), S. 39-48.

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.

WV Stahl (2024): Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Stahl. Hg. v. Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl). Online verfügbar unter: <https://www.stahl-online.de/> (22.03.2024).

WVMetalle (2024): Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle (unveröffentlicht). Hg. v. Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVMetalle).



Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15

10117 Berlin

www.expertenrat-klima.de
