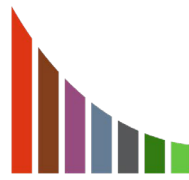


Expertenrat
für Klimafragen

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

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





Expertenrat
für Klimafragen



13. April 2022

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

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

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

Die Ratsmitglieder bedanken sich für die sachkundige und engagierte Unterstützung durch die Mitarbeiter:innen des wissenschaftlichen Stab des ERK.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär)

Iska Brunzema

Dr. Christopher Hedemann

Dr. Katrin Kohnert

Nicole Niesler

Simon Schnier

Charlotte Senkpiel

Dr. Jan Stede

Dr. Annette Steingrube

Marie-Louise Zeller

Inhaltsverzeichnis

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

Abbildungen

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

Tabellen

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

Abkürzungsverzeichnis

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

Technisches Begleitdokument

- 1 Der vorliegende Bericht ist das Technische Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 des Expertenrats für Klimafragen (ERK 2022). Der Prüfbericht des Expertenrats für Klimafragen bewertet basierend auf § 12 Abs. 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG 2019) die jährlich vom Umweltbundesamt vorgelegten Berechnungen der Vorjahresemissionen (UBA 2022d). Dieses Begleitdokument zum Prüfbericht enthält weiterführende technische und fachliche Erläuterungen.
- 2 In Kapitel A.1 dieses Dokumentes werden Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Emissionen gegeben. Kapitel A.2 liefert weiterführende Informationen zu Korrekturbedarfen und Unsicherheiten und Kapitel A.3 zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Kapitel A.4 enthält Tabellen mit einer Übersicht zu den Prüfungen in den einzelnen Sektoren (siehe (ERK 2022, Kap.3)).

A.1 Erläuterungen zur Nationalen Berichterstattung der Treibhausgasemissionen

A.1.1 Grundlagen der Emissionsberichterstattung

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

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

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

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

A.1.2 Daten für die Berechnung der Vorjahresemissionen

A.1.2.1 Emissionsfaktoren

- 8 Die Daten für die Emissionsfaktoren werden für die Berechnung der Vorjahresemissionen grundsätzlich dem Zentralen System Emissionen (ZSE) entnommen, und jährlich mit Veröffentlichung des Nationalen Treibhausgasinventars nach dem Common Reporting Format publiziert werden. Die Datenquellen für die Emissionsfaktoren sind vielfältig. Beispielsweise wird auf Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zurückgegriffen, welche auf gemessenen Werten basieren. Ebenfalls werden Emissionsfaktoren aus zahlreichen Forschungsberichten entnommen (Deichnik 2019; Rentz et al. 2002; Mathivanan et al. 2021). Die Methodik zur Ermittlung der Emissionsfaktoren ist im Nationalen Inventarbericht ausführlich und nachvollziehbar dokumentiert. Wo keine Daten vorliegen, werden vom IPCC festgelegte Default-Werte verwendet (beispielsweise für Rohöl, Rohbenzin, Flugbenzin und Schmierstoffe).
- 9 Die Berechnung der Vorjahresemissionen wird sektorenweise für die nach Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren durchgeführt. Die Emissionsfaktoren für die Berechnung der Vorjahresemissionen werden dafür aus dem aktuellen Treibhausgasinventar übernommen. Die Veränderungen der spezifischen Emissionsfaktoren sind zwischen den Jahren gering, weswegen die Übernahme der Emissionsfaktoren aus dem aktuellen Inventar nachvollziehbar und unkritisch ist.
- 10 Emissionen ergeben sich zum einen aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe (energetisch und in Prozessen), zum anderen aus biologischen Prozessen. Bezogen auf die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren kann folgendes berichtet werden. Für den Verbrauch fossiler Brennstoffe können die zugehörigen Emissionsfaktoren gut gemessen werden. Die CO₂-Emissionsfaktoren vieler Brennstoffe werden von Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle abgeleitet. Dort liegen gemessene Werte zu den CO₂-Emissionen sowohl zu Brennstoffen unterschiedlicher Herkunft als auch bei unterschiedlichen Anwendungen vor. Weil die Zusammensetzung in der Regel geringen Schwankungen unterliegt, lassen sich repräsentative Emissionsfaktoren gut von diesen Daten ableiten und weisen eine geringe Unsicherheit auf. Prozessbedingte Emissionen entstehen z.B. in den Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft durch biologische Zersetzungsprozesse. Die Emissionsfaktoren der Aktivitäten in diesen

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

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

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

A.1.2.2 Primärenergie- und Mineralölkosten

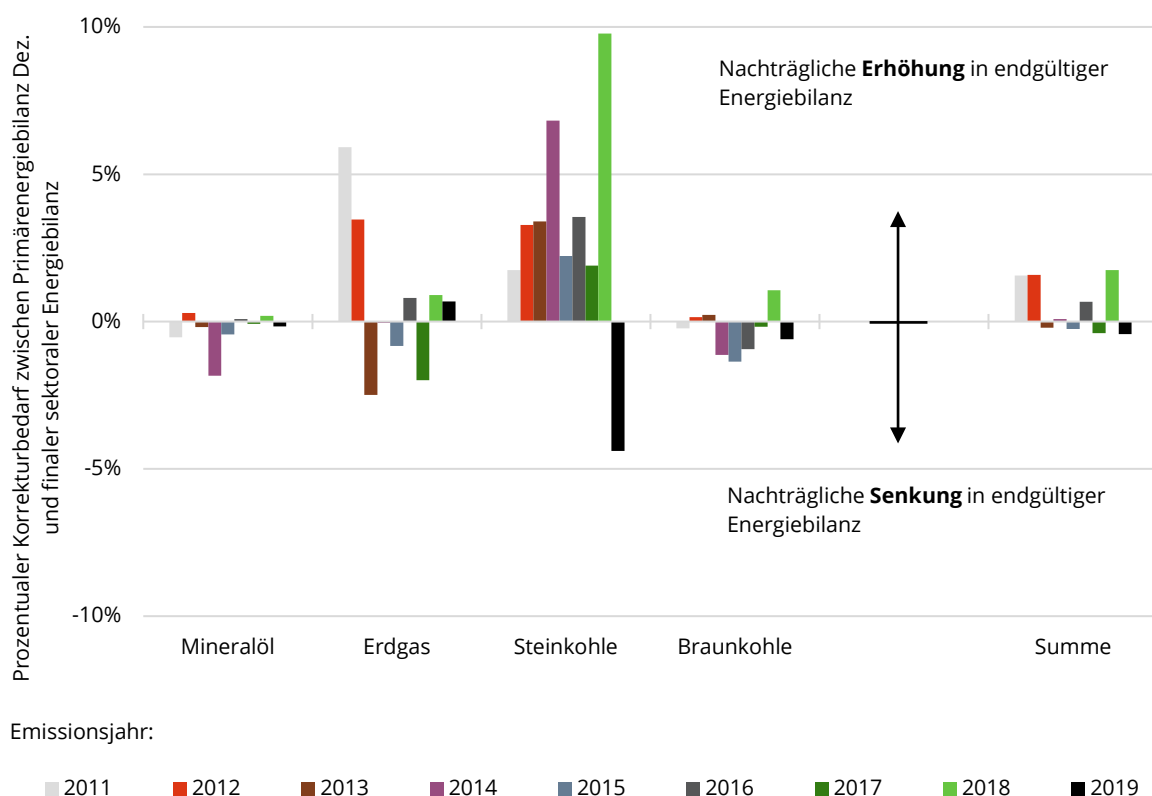
- 14 Wichtige Datenquellen zur Bestimmung der Emissionen des Vorjahres sind beispielsweise Primärenergiedaten. Im Folgenden wird als Hintergrundinformation eine Einordnung der Primärenergiedaten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) sowie der amtlichen Mineralölkosten vorgenommen. Die AGEB veröffentlicht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

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

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

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

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



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

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

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

A.1.2.3 Aktivitätsdaten in den Sektoren

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

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

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

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

- 24 Für die Bestimmung der Aktivitätsdaten im **Landwirtschaftssektor** werden drei Fachserien des Statistischen Bundesamtes herangezogen: die Statistiken zum Viehbestand (Destatis 2021d), zur Düngemittelversorgung (Destatis 2021e) und zu Wachstum und Ernte von Feldfrüchten (Destatis 2021c). Die beiden erstgenannten Datenquellen basieren auf einer Vollerhebung der jeweiligen Betriebe und die Daten zu Wachstum und Ernte von Feldfrüchten basieren auf einer Kombination aus Schätzung, Erhebung und Hochrechnung. Für den Viehbestand und die Feldfrüchte liegen zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen vorläufige Daten vollständig vor, allerdings noch keine konsolidierten Werte. Die Daten für die Düngemittelversorgung liegen für das letzte Wirtschaftsjahr, das den Zeitraum der Monate Juli bis Juni abdeckt, vollständig vor. Damit sind alle benötigten Daten für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Mineraldüngereinsatz und Kalkung für das Vorjahr vorhanden.
- 25 Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** beruhen die Aktivitätsdaten zur Berechnung der Vorjahresemissionen ebenfalls auf Daten des Statistischen Bundesamtes. Die Aktivitätsdaten zur Abfalldeponierung, der biologischen Abfallbehandlung sowie der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (letzte veröffentlichte Reihe Destatis 2019) werden direkt an das Umweltbundesamt übermittelt, da die Veröffentlichung 2020 eingestellt wurde. Die Daten liegen in den Monaten Juli/August zwei Jahre nach dem Emissionsjahr der Berechnung der Vorjahresemissionen vor, sodass zum jetzigen Zeitpunkt Daten für 2018 vorliegen und die Werte für 2021 auf Basis dieser Daten extrapoliert werden. Die meisten Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges entstammen der Abfalldeponierung. Bei dieser Emissionsquelle spielen bereits deponierte, nicht behandelte organische Abfälle eine deutlich größere Rolle als neu hinzukommende Abfalldeponierungen, sodass die Aktualität der Daten nur einen geringen Einfluss auf die Bestimmung der Aktivitätsdaten hat. Die Anzahl an abflusslosen Gruben wird alle drei Jahre, zwei Jahre nach Ablauf des Jahres der Berechnung der Vorjahresemissionen, veröffentlicht, sodass die für die Berechnung der Vorjahresemissionen verwendeten Daten bis zu fünf Jahre zurückliegen können (Destatis 2018b; 2018a). Für das Jahr 2021 liegen entsprechend die Daten aus dem Jahr 2016 vor.
- 26 Die Aktivitäten im Sektor **LULUCF** werden aufgesplittet nach Landnutzungskategorien und Landnutzungsänderungen in einer Landnutzungsmatrix erfasst. Diese wird für Zeitpunkte ab dem Jahr 2000 überwiegend auf dem Basis-Digitales Landschaftsmodell (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS®)), das fortlaufend erneuert wird, ermittelt. Für weiter zurückliegende Zeitpunkte, sowie um Datenlücken im Basis-Digitales Landschaftsmodell zu schließen, wird weiteres Kartenmaterial herangezogen (UBA 2022b). Die Karte organischer Böden (Roßkopf et al. 2015) dient zur Unterscheidung zwischen organischen und mineralischen Böden.
- 27 Insgesamt liegen an vielen Stellen zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen keine aktuellen Aktivitätsdaten des Vorjahres vor. Diese Aktivitätsdaten müssen auf andere Weise bestimmt werden, wobei die verwendeten Ansätze teilweise auch kombiniert werden. So werden für die Berechnung der Vorjahresemissionen für das Jahr 2021 an einigen Stellen die Aktivitätsdaten aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des Vorjahres fortgeschrieben bzw. der Wert des Vorjahres übernommen. Dieses Verfahren wird vor allem dann gewählt, wenn die Treibhausgasemissionen des jeweiligen Subsektors nur einen geringen Anteil haben, aber eine Schätzung entweder sehr aufwendig ist oder wenn aus Vorjahren bekannt ist, dass es in diesem Subsektor zu nahezu keinen Änderungen

der Treibhausgasemissionen zwischen einzelnen Jahren kommt. Des Weiteren wird dieser Ansatz verwendet, wenn keinerlei Information zur Verfügung stehen, die eine genauere Abschätzung des Wertes erlauben, wie z. B. im Industriesektor). Expert:innenschätzungen werden herangezogen, wenn keine Aktivitätsdaten vorliegen, zugleich aber eine größere Änderung der Aktivitätsdaten erwartet wird, die eine reine Fortschreibung nicht rechtfertigt. Hierbei kann es sich sowohl um Expert:innen aus dem Umweltbundesamt als auch um externe Expert:innen, vor allem aus der Industrie, handeln. Sind in der Vergangenheit klare Trends in der Änderung der Aktivitätsdaten zu verzeichnen, wird eine Extrapolation der Aktivitätsdaten vorgenommen. Schließlich werden in einigen Fällen die Aktivitätsdaten auch über einen Modellansatz berechnet, der sich durch Extrapolation von oder Korrelation zu anderen Aktivitätsdaten ergibt. Insbesondere in den CRF-Kategorien 1.B (Energiewirtschaft: diffuse Emissionen aus Gewinnung und Verteilung fossiler Brennstoffe), 3 (Landwirtschaft) und 5.B.1 (Abfallwirtschaft: biologische Abfallbehandlung) werden Modelle genutzt, um Aktivitätsdaten oder Emissionen abzuschätzen. Eine Übersicht und Zusammenfassung der beschriebenen Datenquellen für die einzelnen Sektoren in der Berechnung der Vorjahresemissionen befindet sich in Tabelle 1.

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

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

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

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2021, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
Destatis Fachserie 3 Reihe 3.2.1 (Wachstum und Ernte – Feldfrüchte) (Destatis 2021c)	Landwirtschaft, LULUCF	Statistiken zu Anbaufläche und Ernte der Feldfrüchte (bei den vorläufigen Statistiken fehlen Angaben zu Dauergrünland, Körnermais, Zuckerrüben, Klee gras und Grasanbau)	Vorläufige Daten für 2021 vom 22.09.2021, frei verfügbar
Abfallentsorgung: Siedlungsabfälle, schriftliche Mitteilung von Destatis	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5A : Tab 2.1 Abfallmengen und -zusammensetzungen, Deponien-Input 5A + 5B : Tab 1.5 Deponiegasmengen und -nutzung/ Verwendung Biogas	Jährlich, werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr an das UBA übermittelt, seit 2020 nicht mehr frei verfügbar
Abfallentsorgung: Biolog. Behandlungsanlagen, schriftliche Mitteilung von Destatis	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5B: Tab 7.1, Input nach Art der Anlage, Abfallarten und Jahren 5B : Tab 7.3, Abgesetzter Kompost, abgesetzte Gärrückstände nach Verwendungszweck	Jährlich, werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr an das UBA übermittelt, seit 2020 nicht mehr frei verfügbar
Destatis Abfallbilanz 2019 (32111-0003; Zeile/Spalte: Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen) (Destatis 2021a)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5B + 5E1: Abfallentsorgung Deutschland, Jahre, Anlagenart	Jährlich, werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert: Daten vollständig für 2019, Stand 30.06.2021, frei verfügbar
Destatis Fachserie 19, Reihe 2.1.2 (Abwasserbehandlung und -entsorgung) (Destatis 2018a) Destatis Fachserie 19, Reihe 2.1.3 (Wasserwirtschaft) (Destatis 2018b)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5D1: Ermittlung %-Nährstoffelimination 5D1: Einwohner an abflusslosen Gruben	R 2.1.2: Letzte erhältliche Version, 3-jährig, wird 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert, vollständig für 2016, Stand 18.12.2018, frei verfügbar R 2.1.3: Letzte erhältliche Version, 3-jährig, wird 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert: Vollständig für 2016, Stand 20.12.2018, frei verfügbar
Destatis Einwohnerzahlen Deutschland (Destatis 2021b)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5A + 5D1: Schnellmitteilung der Bevölkerungsfortschreibung	Daten vom 30.09.2021, frei verfügbar
CH ₄ -Emissionsfaktoren und Werte des chemischen Sauerstoffbedarfs aus der Abwasserreinigung der relevantesten Industriebereiche.	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5D2: Anwendung der Annahmen aus Berechnungsmodell – keine aktuellen Aktivitätsraten notwendig bzw. vorhanden	Die Daten von 2013 für den Anlagenbestand und die Frachten des chemischen Sauerstoffbedarfs der relevanten Wirtschaftszweige in Deutschland werden durch das Modell mit einer kontinuierlichen Steigerung um jährlich 2 % fortgeschrieben.
Destatis (versch.) und andere	Abfallwirtschaft und Sonstiges	5D2: Für N ₂ O wird eine Vielzahl von Publikationen verwendet – aufgrund der geringen Emissionen der Quellgruppe hier nicht abgebildet.	Überwiegend 1-jährig (aber auch 3-jährig), Daten werden 2 Jahre nach dem Emissionsjahr publiziert, keine Daten für das Jahr der Berechnung der Vorjahresemissionen verfügbar

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit der Daten für das Jahr 2021, Veröffentlichungsdatum, Verfügbarkeit
Basis-Digitales Landschaftsmodell (BKG)	LULUCF	Ausweisung der Landnutzung und Landnutzungsänderung	seit 2000 kontinuierlich aktualisiert, nicht frei verfügbar
Karte organischer Böden Deutschlands (Roßkopf et al. 2015)	LULUCF	Organische Böden	Nicht frei verfügbar, Stand der Daten 2013
Open Street Map (OpenStreetMap contributors)	LULUCF	Landnutzung: Straßennetz	Daten aus den Jahren 2015; 2020; 2021, frei verfügbar

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes.

A.1.3 Vorgehensweise bei der Berechnung der Vorjahresemissionen

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

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

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

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

A.1.3.2 Vorgehensweise für die Emissionsschätzung in den Sektoren

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

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

- 32 Im **Gebäudesektor** (CRF-Kategorien 1.A.4/5) sind die großen Emittenten die stationären Feuerungsanlagen in Haushalten (CRF-Kategorie 1.A.4.b i) und in Gewerbe, Handel, Dienstleistung (CRF-Kategorie 1.A.4.a i), die Mineralölprodukte (leichtes Heizöl und Flüssiggas) und Gas nutzen (ca. 87,9 % in 2021). Die entsprechenden Aktivitätsdaten können aus den Amtlichen Mineralöldaten und den Gasabsätzen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft abgeleitet werden. Wie bereits für den Industriesektor erläutert, liegt die amtliche Mineralölstatistik nicht sektorenspezifisch vor. Die beiden im Sektor Gebäude genutzten Mineralölprodukte, leichtes Heizöl und Flüssiggas, werden zusätzlich auch im Industriesektor eingesetzt. Die Anteile von Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung am Brennstoffabsatz werden normalerweise aus dem Vorjahr übernommen. Dieses Jahr wurde die Änderung des Mineralölabsatz zwischen den Jahren 2018 und 2021 bestimmt. Dies wird mit Lagereffekten in den Jahren 2019 und 2020 begründet, die zu größeren Änderungen zwischen vorläufiger (für das Treibhausgasinventar des Vorjahres genutzter) und finaler sektoraler Energiebilanz führten. Für die Bestimmung des Gasabsatzes wird normalerweise der absolute Endenergieverbrauch an Gas aus dem aktuellen Treibhausgasinventar mit der Änderung des Absatzes von 2020 nach 2021 aus den Gasabsatzzahlen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft angepasst. Aufgrund der großen Änderungen zwischen vorläufiger, im Treibhausgasinventar genutzter sektoraler Energiebilanz, und finaler sektoraler Energiebilanz, wurden dieses Jahr direkt die Gasabsätze des BDEW für die Haushalte übernommen und für Gewerbe, Handel Dienstleistung für das Jahr 2020 als Ausgangsbasis der Gasabsatz einer Bilanz des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung genutzt. Der Einsatz von Kohle in stationären Feuerungsanlagen spielt nur eine untergeordnete Rolle und wird aus dem Vorjahr übernommen. Die zweite Gruppe an Emittenten im Gebäudesektor sind mobile Verbraucher (CRF-Kategorie 1.A.4.a/b ii). Deren Emissionen betrugen ca. 1,4 % der Gesamtemissionen

des Gebäudesektors im Jahr 2021. Sie werden aus dem aktuellen Treibhausgasinventar übernommen und geringfügig angepasst, um einer geänderten Biokraftstoffquote Rechnung zu tragen. Die dritte Gruppe sind die Treibhausgasemissionen des Militärs (CRF-Kategorie 1.A.5). Der Mineralölabsatz an das Militär ist gesondert in den amtlichen Mineralölstatistiken aufgeführt. Somit können die Treibhausgasemissionen direkt berechnet werden. Der Gasabsatz an das Militär ist dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung zugeordnet.

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

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

für die Berechnung der Treibhausgasinventare Anwendung findet (UBA 2022b) und im Thünen-Report 91 schematisch dargestellt ist (Vos et al. 2022, S. 33). Auf Basis von Viehbeständen und Leistungsdaten berechnet das Modell die Futteraufnahme der Tiere und auf Basis dessen die Methan- und Stickstoff-Emissionen. Anschließend wird der Massefluss durch das Landwirtschaftssystem und die dabei auftretenden Emissionen modelliert. Die Emissionen durch Düngemittel und Stickstoffeintrag werden über Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren berechnet. Genutzt werden für das Modell die in Kapitel A.1.2.3 beschriebenen Daten. Weitere benötigte Daten werden aus dem Vorjahr übernommen, betreffen aber Emissionsquellen, die einen geringen Einfluss auf die Gesamtemissionen der Landwirtschaft haben und historisch keine großen Änderungen aufweisen. Stationäre Feuerungsanlagen in der Landwirtschaft (CRF-Kategorie 1.A.4.c) sind im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung der Energiebilanz der AGEB enthalten. Sie werden zunächst dort mit berechnet und dann mit dem aus dem Vorjahr übernommen Anteil aus dem Sektor Gebäude herausgerechnet und dem Landwirtschaftssektor zugerechnet. Die den mobilen Emittenten des Sektors zugewiesenen Gesamt-Energiemengen werden aus dem Vorvorjahr übernommen (UBA 2022d). Die aktuelle Untererfassung der Emissionen des landwirtschaftlichen Verkehrs wird laut mündlicher Mitteilung des Umweltbundesamtes durch eine Methodenänderung ab dem Emissionsjahr 2022 behoben.

- 35 Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** werden die Emissionen vor allem durch die Deponierung (CRF-Kategorie 5.A) bestimmt, die 76 % der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor ausmacht (UBA 2022b), und hier insbesondere durch historische Deponierungen. In dieser Kategorie werden meist Aktivitätsdaten aus den Vorjahren extrapoliert. Dies ist dadurch begründet, dass die genutzten Datenquellen zum einen frühestens zwei Jahre nach Ablauf des Emissionsjahres veröffentlicht werden und zum anderen nicht alle Daten jedes Jahr erhoben werden. Die Emissionen aus Kläranlagen (CRF-Kategorie 5.D) werden fortgeschrieben. Für die Berechnung der Emissionen aus der Abfalldeponierung (CRF-Kategorie 5.A) wird ein Modell des Weltklimarats genutzt, welches auf Basis der verschiedenen Müllfraktionen, also Kategorien der Mülltrennung, die Methan-Emissionen der Deponierung bestimmt. Der Posten Abfallverbrennung (CRF-Kategorie 5.C) entfällt, weil die Abfallverbrennung in Deutschland ausschließlich inklusive einer energetischer Nutzung erfolgt und die entsprechenden Emissionen somit der Energiewirtschaft zugeordnet werden. Die Emissionen aus Bränden (CRF-Kategorie 5.E.2) (z. B. von Fahrzeugen und Gebäuden) werden vernachlässigt, da diese unter den Grenzwerten liegen, ab denen Emissionen berichtet werden müssen.
- 36 Im Sektor **LULUCF** (CRF-Kategorie 4) basieren die Berechnungen auf dem Inventarmodell, das für das aktuelle Nationale Treibhausgasinventar (UBA 2022b) verwendet wird. Im Inventarmodell werden die Treibhausgasemissionen für alle CRF-Subkategorien des Sektors berechnet. Dabei werden sowohl die sogenannten Verbleibkategorien, in denen eine Fläche in derselben Landnutzungskategorie verblieben ist, berichtet, als auch die Übergangskategorien, in denen eine Landnutzungsänderung stattgefunden hat. Der Übergangskategorie werden Flächen für 20 Jahre nach der Nutzungsänderung zugeordnet. Anschließend gehen sie in die entsprechende Verbleibkategorie über. Die Grundlage für das Inventarmodell bildet eine Landnutzungsmatrix, die für Zeitpunkte ab dem Jahr 2000 überwiegend auf dem Basis-Digitales Landschaftsmodell, der Grundlage des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS®) erstellt wird. Für weiter zurückliegende Zeitpunkte sowie für die Füllung von Datenlücken wird weiteres Kartenmaterial herangezogen (UBA 2022b). Für jede Landnutzungskategorie werden nutzungsspezifische Emissionsfaktoren (Einheit: $\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ermittelt. Für organische Böden werden die Emissionsfaktoren nach den Richtlinien des 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC 2014a) bestimmt. Dabei erfolgt für CO_2 und Methan aus Böden für alle

Landnutzungskategorien die Bestimmung der Emissionsfaktoren durch empirische Modelle. Eine Ausnahme stellt die Kategorie Wald (CRF-Kategorie 4.A) dar, bei der für organische Böden Default-Werte (IPCC 2014b) verwendet werden. Für Lachgas werden nationale, jährliche Messdaten verwendet. Für jede Landnutzungskategorie und jedes Treibhausgas wird im Anschluss ein impliziter Emissionsfaktor bestimmt. Im Falle einer Landnutzungsänderung wird der Emissionsfaktor der neuen Landnutzungsklasse verwendet. Für Mineralböden werden pro Land für jede Landnutzungskategorie Kohlenstoffvorräte durch Bodenzustandserhebungen ermittelt. Bei Verbleibkategorien innerhalb der Mineralböden wird davon ausgegangen, dass es zu keiner Kohlenstoffveränderung im Boden kommt. Eine Ausnahme stellt auch hier die Kategorie Wald (CRF-Kategorie 4.A) dar. Aus den Bodenzustandserhebungen wurde hier eine Kohlenstoffvorratsveränderung ermittelt. Für Übergangskategorien bei den Mineralböden werden jährlich neue implizite Emissionsfaktoren pro Landnutzungsänderungskategorie ermittelt. Die impliziten Emissionsfaktoren entsprechen den mittleren Emissionsfaktoren für die vergangenen 20 Jahre. In Deutschland werden für die CRF-Kategorien 4.F (Sonstiges Land) und 4.H (Andere Bereiche) keine separaten Treibhausgasquellen oder -senken berichtet.

A.2 Erläuterungen zur Gütebetrachtung

A.2.1 Korrekturbedarfe

A.2.1.1 Vorgehensweise und Entwicklung der relativen Korrekturbedarfe aufeinanderfolgender Schätzungen

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

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

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

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

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

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

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

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

A.2.2 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland

A.2.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

- 45 Emissionsberechnungen basieren auf der Konzeptualisierung der Treibhausgasinventare (geografische Abgrenzung, erfasste Gase etc.), Modellen sowie Inputdaten und Annahmen (beispielsweise zu Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren). Auf jeder dieser Ebenen können Unsicherheiten auftreten. Beispielsweise sind Modelle – als vereinfachtes Abbild realer, komplexer Systeme – sowie deren Inputdaten mit einem systematischen Fehleranteil (Bias) und einem Zufallsfehler behaftet. Die Unsicherheitsschätzung des Umweltbundesamtes bezieht sich dabei auf zufällige (statistische) Fehler bei der Messung/Erhebung von Daten, welche die Präzision dieser Messung/Erhebung beeinflussen. Für die jeweiligen geschätzten Werte werden Konfidenzintervalle ermittelt, die in 95 % der Fälle den wahren, nicht beobachtbaren Wert umfassen. Systematische Fehler, die die Genauigkeit (Richtigkeit) einer Messung verzerren, werden bei Bekanntwerden des Bias korrigiert, sofern möglich, und sind daher in der Unsicherheitsschätzung nicht erfasst. In den IPCC-Richtlinien wird angegeben, wie Unsicherheiten beispielsweise mittels statistischer Analyse empirischer Daten, durch Kodierung von Expert:innenmeinungen und der Identifizierung angemessener Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen quantifiziert werden können. Das Umweltbundesamt setzt diese Richtlinien um, indem Konfidenzintervalle der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren auf Basis von Literaturangaben und Expert:innenschätzungen in der zentralen nationalen Emissionsdatenbank (ZSE) hinterlegt sind (UBA 2022c, S. 133).
- 46 Aufgrund der Anforderungen an die Buchführung für weite Bereiche wirtschaftlicher Aktivität sind Aktivitätsdaten tendenziell von einer geringeren Unsicherheit geprägt als Emissionsfaktoren. Laut

Umweltbundesamt (UBA 2022c, S. 133) sind insbesondere die Aktivitätsdaten, die auf Brennstoffeinsätzen und der bundesdeutschen Energiebilanz basieren, mit geringer Unsicherheit behaftet. Größere Unsicherheiten in Emissionsfaktoren treten insbesondere dann auf, wenn Emissionsfaktoren von einer Vielzahl an Faktoren abhängig und schwierig zu messen sind (zum Beispiel: Methan-Emissionsfaktor in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung). Die Unsicherheitsintervalle sind eher gering, wenn beispielsweise Messdaten zu Brennstoffqualitäten und somit unter anderem auch zu Kohlenstoffgehalten vorliegen, aus denen die Emissionsfaktoren konkret berechnet bzw. abgeschätzt werden können (zum Beispiel: CO₂-Emissionsfaktoren für Benzin und Diesel).

A.2.2.2 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Berechnung der Vorjahresemissionen 2021

- 47 Wie bereits im Jahr 2021 wies das Umweltbundesamt in seiner Berechnung der Vorjahresemissionen auch dieses Jahr eine Abschätzung der Unsicherheiten aus. Dabei wird die qualitative Einschätzung im begleitenden Bericht (UBA 2022b) zusätzlich um eine quantitative Abschätzung des Unsicherheitsbereiches (UBA 2022d) der jeweiligen sektoralen Punktschätzung ergänzt, die dem Expertenrat für Klimafragen vorliegt. Für die Bestimmung der Unsicherheit sektoraler Emissionen wird in der Berechnung der Vorjahresemissionen die Methode der Fehlerfortpflanzung nach IPCC-Richtlinien angewendet. Dafür werden zunächst auf unterster Subkategorieebene die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren der entsprechenden Emissionen ermittelt. Anschließend werden diese Unsicherheiten für jeden Sektor sowie für die Gesamtemissionen aggregiert. Bei diesem Vorgehen liegt die Annahme normalverteilter sowie unkorrelierter Unsicherheitsangaben zugrunde. Bestehen asymmetrische Unsicherheitsangaben in einzelnen Bereichen, wird, gerechtfertigt durch die Annahme der Normalverteilung, der größere Wert der beiden Intervallgrenzen für jeweils beide Grenzen verwendet.
- 48 Zum Zeitpunkt der Berechnung der Vorjahresemissionen lagen in vielen Bereichen lediglich vorläufige Daten vor. Datenlücken wurden u. a. durch Expert:innenschätzungen gefüllt, die tendenziell jedoch einer größeren Unsicherheit als Realdaten unterliegen. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Unsicherheitsbereiche in den sektoralen Aktivitätsdaten (als Aggregat der Unsicherheiten auf Subkategorieebene). Dies spiegelt sich in dem größeren Unsicherheitsbereich in Aktivitätsdaten für die Berechnung der Emissionsdaten des Vorjahres 2021 im Vergleich zum Treibhausgasinventar für das Jahr 2020 (UBA 2022d) wider. Das Umweltbundesamt verwendet hierfür einen "Booster" auf Basis einer Expert:innenschätzung, um die zusätzliche Unsicherheit systematisch auf die Unsicherheit in den Aktivitätsdaten anzuwenden.
- 49 Beim Anwenden des Boosters auf die Unsicherheiten in den Aktivitätsdaten geht das Umweltbundesamt methodisch wie folgt vor: Zunächst werden die sektoralen Unsicherheiten auf Basis der für jede CRF-Kategorie spezifischen kombinierten Unsicherheit (Gesamtunsicherheit von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren) berechnet. Anschließend wird auf Basis einer Expert:innenschätzung das Verhältnis zwischen Unsicherheiten in den Aktivitätsdaten und Unsicherheiten bei den Emissionsfaktoren bestimmt¹⁰. Die Berechnung über die kombinierten Unsicherheiten und einer anschließenden

¹⁰ Die vom Umweltbundesamt festgelegten Verhältnisse der Unsicherheiten (Emissionsfaktor/Aktivitätsraten) für die jeweiligen Sektoren sind: Energiewirtschaft 1,0; Industrie 1,5; Gebäude 2,0; Verkehr 2,0; Landwirtschaft 5,0; Abfallwirtschaft und Sonstiges 5,0; LULUCF 5,0.

Aufteilung durch eine Expertenschätzung löst die Problematik nicht vergleichbarer Recheneinheiten der Aktivitätsdaten. Hierdurch können die Unsicherheiten bei den sektorspezifischen Aktivitätsraten und den Emissionsfaktoren geschätzt werden. Da die Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren kaum Schwankungen unterliegen, werden für den durch die Aktivitäten induzierten Anteil der Unsicherheit zusätzlich Boosterfaktoren auf Basis einer weiteren Expert:innenschätzung festgelegt, die die zusätzliche Unsicherheit durch die Vorläufigkeit der Daten widerspiegelt¹¹. Hierdurch ergibt sich eine neue (höhere) Gesamtunsicherheit. Die Zunahme der Zufallsfehler gegenüber dem Treibhausgasinventar 2020 verläuft zwischen den Sektoren nicht proportional. Dies ist insbesondere auf größere Unsicherheiten in den Aktivitätsdaten des Gebäudesektors zurückzuführen. Die Konfidenzintervalle der sektoralen Emissionsfaktoren wurden vom Umweltbundesamt aus dem Treibhausgasinventar für 2020 für die Berechnung der Vorjahresemissionen übernommen. Die Annahme, dass die Fehler der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren unabhängig und normalverteilt sind, ist laut Umweltbundesamt nicht in allen Fällen gegeben. Jedoch führt, nach Aussagen des Umweltbundesamtes, der komplexere Ansatz einer Monte-Carlo Simulation zur Unsicherheitsbestimmung, der für die Treibhausgasinventare verwendet wird, zu ähnlichen Ergebnissen. Für die Unsicherheitsbestimmung der Berechnung der Vorjahresemissionen erscheint es deswegen als nachvollziehbar, den einfacheren Ansatz zu wählen.

A.2.3 Vergleich und Einordnung

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

¹¹ Die entsprechenden Boosterfaktoren für die einzelnen Sektoren sind: Energiewirtschaft 1,1; Industrie 1,3; Gebäude 1,5; Verkehr 1,1; Landwirtschaft 1,1; Abfallwirtschaft und Sonstiges 1,1; LULUCF 1,1.

A.3 Erläuterungen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen

A.3.1 Dekomposition der Emissionsentwicklung

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

Tabelle 2: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifende Betrachtung

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

Eigene Darstellung.

A.3.2 Temperaturbereinigung

- 53 Im Gebäudesektor hat der Temperatureffekt im Vergleich zu den anderen Sektoren einen wichtigen Einfluss auf die Emissionshöhe der einzelnen Jahre. Dies ist darauf zurückzuführen, dass 93,5 % der Emissionen dieses Sektors auf die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in stationären Feuerungsanlagen in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung zurückzuführen sind. Diese stationären Feuerungsanlagen werden genutzt, um Heizwärme und Warmwasser bereit zu stellen, wobei Heizwärme hiervon den weitaus größeren Teil von ca. 80 % einnimmt. Der Heizenergieverbrauch und somit auch die Emissionen werden von der Witterung in einem gegebenen Jahr beeinflusst, die unabhängig von anderen Einflussfaktoren wie der technischen Energieeffizienz eines Gebäudes ist.
- 54 Um eine Abschätzung des Einflusses der Temperatur auf den Heizenergieverbrauch in einem bestimmten Jahr vorzunehmen, kann eine Witterungsbereinigung durchgeführt werden. Diese bereinigt den Emissionswert um den Effekt, der auf die Witterung zurückzuführen ist, indem die in einem spezifischen Jahr vorherrschende Witterung mit einem langjährigen Mittel verglichen wird. Als Kennzahl für die Witterung werden häufig über das Jahr kumulierte Gradtagzahlen genutzt. Gradtagzahlen gemäß VDI 3807/1 sind hierbei definiert als die Temperaturdifferenz zwischen einer mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem Tagesmittelwert der Außentemperatur, sofern diese unter der Heizgrenze von 15 °C liegt und der Tag damit als ein Heiztag zu klassifizieren ist (Mellwig et al. 2022). Je kälter es in einem Jahr ist, desto höher ist die Summe der Gradtagzahlen, da die Differenz zwischen Aussentemperatur und Heizgrenztemperatur dementsprechend höher ist. Der Quotient aus den kumulierten Gradtagzahlen des langjährigen Mittels und den kumulierten Gradtagzahlen für das spezifische Jahr wird Klimafaktor genannt. Dieser kann genutzt werden, um die Emissionen einer Witterungsbereinigung zu unterziehen, indem der Teil der Emissionen, der als witterungsabhängig eingestuft wird, mit diesem Klimafaktor multipliziert wird. Durch die Multiplikation der tatsächlichen Emissionen bzw. Verbräuche mit dem Klimafaktor wird implizit eine Elastizität von 1 unterstellt.
- 55 Das Verfahren unter Nutzung der Gradtagzahlen ist diversen Unsicherheiten unterworfen. Zum einen ist die Frage, welcher Anteil der Emissionen witterungsabhängig ist und für welchen Anteil somit eine Witterungsbereinigung durchgeführt werden sollte. Zum anderen ist auch die Bildung der aggregierten Gradtagzahlen bzw. Klimafaktoren zur Bereinigung des Heizenergieverbrauchs mit Unsicherheiten behaftet. Da die Gradtagszahlen auf täglichen Durchschnittstemperaturen von Messstationen in ganz Deutschland beruhen, muss zunächst eine Methode ausgewählt werden, wie diese Daten zu einem deutschlandweiten Mittel aggregiert werden. Übliche Verfahren sind zum Beispiel, die Durchschnittstemperaturen der 42 Wetterstationen des deutschen Wetterdiensts (DWD) mit der Einwohner:innenzahl oder dem Gasabsatz zu gewichten, wobei beide Verfahren zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, die wiederum auch zu verschiedenen Ergebnissen bei den witterungsbereinigten Emissionen führen.

A.4 Prüftabellen

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

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

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

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

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

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

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

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

A.5 Literaturverzeichnis

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

UBA (2022b): Berechnung der Treibhausgasemissionsdaten für das Jahr 2021 gemäß Bundesklimaschutzgesetz. Begleitender Bericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/220310_vjs_2021_-_begleitender_bericht_-_sauber_vbs_korr_kurzfassung.pdf.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Buchholzweg 8

13627 Berlin

www.expertenrat-klima.de

