

Unterrichtung

durch den Expertenrat für Klimafragen

Bericht zur Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020 – Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten

Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

Unter Mitarbeit von

Charlotte Senkpiel, Fraunhofer ISE (Koordination)

Sven Alsheimer, Fraunhofer ISI

Amir Ashour Novirdoust, EWI

Jessica Berneiser, Fraunhofer ISE

Dr. Elisabeth Dütschke, Fraunhofer ISI

Nadia Galati, Technopolis

Konstantin Gruber, EWI

Dr. Martin Hintermayer, EWI

Sebastian Kraus, MCC

Dominic Lencz, EWI

Lorenzo Montrone, MCC

Nicole Niesler, EWI

Nils Ohlendorf, MCC

Dr. Patrick Plötz, Fraunhofer ISI

Dr. Matthias Reuter, Fraunhofer ISI

Dr. Clemens Rohde, Fraunhofer ISI

Prof. Dr. Joachim Schleich, Fraunhofer ISI

Dr. Shivenes Shammugam, Fraunhofer ISE

Dr. Jan Christoph Steckel, MCC

Dr. Jan Stede, Technopolis

Dr. Annette Steingrube, Fraunhofer ISE

Jérôme Treperman, Technopolis

Theresa Wildgrube, EWI

Theresa Witt, Technopolis

Marie-Louise Zeller, Technopolis

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
1 Auftrag und Herangehensweise	15
Teil I: Prüfung und Bewertung der Vorjahresschätzung	19
2 Allgemeines, Daten und Vorgehensweise in der Vorjahresschätzung	19
2.1 Allgemeines	19
2.2 Daten	21
2.2.1 Emissionsfaktoren.....	21
2.2.2 Primärenergie- und Mineralöl­daten	23
2.2.3 Aktivitätsdaten in den Sektoren.....	24
2.3 Vorgehensweise	26
2.3.1 Iteratives Vorgehen zur sektoralen Aufteilung des Primärenergieverbrauchs.....	26
2.3.2 Vorgehensweise in den Sektoren.....	27
2.4 Fazit	31
3 Prüfung.....	33
3.1 Einleitung	33
3.2 Prüfung durch Nachrechnen.....	34
3.2.1 Primärenergieverbrauchsbedingte CO ₂ Emissionen	34
3.2.2 Energiewirtschaft (CRF Kategorie 1.A.1).....	35
3.3 Gemeinsames Nachvollziehen mithilfe des Umweltbundesamtes.....	36
3.3.1 Gebäude (CRF Kategorien 1.A.4.a.i und 1.A.4.b.i)	36
3.3.2 Straßenverkehr (CRF Kategorie 1.A.3.b).....	38
3.4 Eigenständige Plausibilisierung auf Basis zusätzlicher Datenquellen	38
3.5 Fazit	39
4 Güte.....	41
4.1 Allgemeine Überlegungen.....	41
4.2 Korrekturbedarfe	41
4.2.1 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	41
4.2.2 Zeitspanne bis zum Erreichen einer stabilen Schätzung.....	42
4.2.3 Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung bis zur ersten stabilen Schätzung.....	44
4.3 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland	47
4.3.1 Allgemeine Vorgehensweise.....	47

4.3.2	Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Vorjahresschätzung 2020	47
4.4	Vergleich und Einordnung	50
4.5	Fazit	53
5	Feststellung zur Vorjahresschätzung.....	55
5.1	Feststellungen zur Zielerreichung.....	55
5.2	Feststellungen zum Ausgleichsmechanismus	60
5.3	Fazit	61
Teil II: Weiterführende Betrachtungen		63
6	Entwicklung der Treibhausgasemissionen: Analyse der Sondereffekte im Jahr 2020	63
6.1	Dekompositionsanalyse: Entwicklung der Treibhausgasemissionen von 2019 auf 2020	63
6.2	Trendfortschreibung für das Jahr 2020	67
6.3	Qualitative Betrachtung zum Einfluss der Covid-19-Pandemie auf die Emissionsentwicklung.....	72
6.4	Fazit	76
7	Die deutschen Minderungsziele und die europäische Zielverschärfung.....	79
7.1	Die deutschen Minderungsziele im europäischen Kontext	79
7.2	Auswirkungen der EU-Entscheidungen auf KSG-Ziele	82
7.3	Quantitativer Ausblick	83
7.4	Fazit	85
Teil III: Schlussfolgerungen.....		87
8	Weiterführende Vorschläge	87
8.1	Zur Verbesserung der Vorjahresschätzung.....	87
8.2	Zur Wirkungsweise des Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	89
8.3	Zur Vervollständigung des Bildes der deutschen Treibhausgasemissionen	92
9	Anhang.....	95
	Vorjahresschätzung - Ergänzende Informationen	95
A.1.1	Nachträgliche Korrekturen in der Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen	95
A.1.2	Übersicht Datenquellen zur Vorjahresschätzung	96
A.2	Dekompositionsanalyse	98
A.2.1	Ergänzende Erläuterungen zur Methodik	98
A.2.2	Ergänzende Ergebnisdarstellung.....	110
A.3	Strukturelle Daten-Fortschreibung – Ergänzende Erläuterungen zu Methodik und Ergebnissen	118
10	Literaturverzeichnis	123

Abbildungen

Abbildung Z-1 Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz.....	7
Abbildung Z-2 Zielwertvergleich Vorjahresschätzung (VJS) des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	10
Abbildung Z-3 Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr	11
Abbildung Z-4 Vergleich der Emissionsdaten der Vorjahresschätzung (Ist-Wert) mit den in der Trendanalyse ermittelten Werten für das Jahr 2020 in Relation zu den Zielwerten im Bundes-Klimaschutzgesetz	12
Abbildung 1 Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz.....	16
Abbildung 2 Zusammenfassende Darstellung der für die Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen genutzten Methoden und deren Anwendung auf die jeweilige CRF-Kategorie	30
Abbildung 3 Relative Korrekturbedarfe (der Beträge) gegenüber der jeweils vorangegangenen Emissionsschätzung	44
Abbildung 4 Relative Korrekturbedarfe im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der jeweiligen Vorjahresschätzung.....	46
Abbildung 5 Gegenüberstellung der Unsicherheiten des Umweltbundesamtes mit den relativen Korrekturbedarfen im zweiten Inventarbericht gegenüber der jeweiligen Vorjahresschätzung.....	51
Abbildung 6 Zielwertvergleich Vorjahresschätzung (VJS) des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes.....	62
Abbildung 7 Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr	64
Abbildung 8 Dekomposition Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr	65
Abbildung 9 Dekomposition Treibhausgasemissionen des Anteils der Emissionsintensität in der Energiewirtschaft nach Energieträgern – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr	66
Abbildung 10 Vergleich der Emissionsdaten der Vorjahresschätzung (Ist-Wert) mit den in der Trendfortschreibung ermittelten Werten für das Jahr 2020.....	69
Abbildung 11 Monatliche Umsatzentwicklung des Verarbeitenden Gewerbes in ausgewählten Branchen (Basisjahr 2015=100).....	74
Abbildung 12 Gewerbliche Fleischproduktion (Basisjahr 2000=100).....	76
Abbildung 13 Übersicht von Umsetzungsmöglichkeiten der Zielverschärfung auf EU-Ebene.....	82
Abbildung 14 Minderung in den deutschen ESR-Sektoren zur Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele in Abhängigkeit der Minderung des EU-ETS gegenüber 2005.	85
Abbildung 15 Nachträgliche Korrekturen in der endgültigen Energiebilanz gegenüber der jeweiligen vorläufigen Primärenergiebilanz aus dem Dezember	95

Abbildung 16 Dekomposition Treibhausgasemissionen sektorenübergreifende Betrachtung – Änderungen im Vergleich zu 1990.....	111
Abbildung 17 Dekomposition Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft – Änderungen im Vergleich zu 1990.....	112
Abbildung 18 Dekomposition Treibhausgasemissionen des Anteils der Emissionsintensität in der Energiewirtschaft nach Energieträgern – Änderungen im Vergleich zu 1990	112
Abbildung 19 Dekomposition Treibhausgasemissionen Industrie, energetische Nutzung von Brennstoffen – Änderungen im Vergleich zu 1995	113
Abbildung 20 Dekomposition Treibhausgasemissionen Industrie, Industrieprozesse – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	113
Abbildung 21 Dekomposition Treibhausgasemissionen Gebäude, Gebäude privater Haushalte – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	114
Abbildung 22 Dekomposition Treibhausgasemissionen Gebäude, Gebäude aus GHD – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	114
Abbildung 23 Dekomposition Treibhausgasemissionen Verkehr, Personenverkehr – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	115
Abbildung 24 Dekomposition Treibhausgasemissionen Verkehr, Güterverkehr – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	115
Abbildung 25 Dekomposition Treibhausgasemissionen Landwirtschaft, Nutztiere – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	116
Abbildung 26 Dekomposition Treibhausgasemissionen Landwirtschaft, Agrarwirtschaft – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	116
Abbildung 27 Dekomposition Treibhausgasemissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges, Abfallwirtschaft – Änderungen im Vergleich zu 1995.....	117
Abbildung 28 Dekomposition Treibhausgasemissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges, Abwasserbehandlung – Änderungen im Vergleich zu 1995	117

Tabellen

Tabelle 1: Unsicherheit der sektoralen und aggregierten Emissionsschätzungen.....	49
Tabelle 2: Unsicherheitsangabe des Umweltbundesamts im Vergleich zu durchschnittlichen jährlichen Minderungszielen gemäß Anlage 2 zu § 4 KSG.....	52
Tabelle 3: Zielwertvergleich Vorjahresschätzung (VJS) des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG).....	56
Tabelle 4: Aus Trendfortschreibung abgeleitete Treibhausgasmissionen im Jahr 2020 in allen Sektoren und im Vergleich mit den realen Emissionen sowie dem Zielwert im KSG	68
Tabelle 5: Übersicht über weiterführende Vorschläge und Maßnahmen, um diese anzugehen	94
Tabelle 6: Zusammenfassung aller wesentlichen Datenquellen für die Vorjahresschätzung.....	96

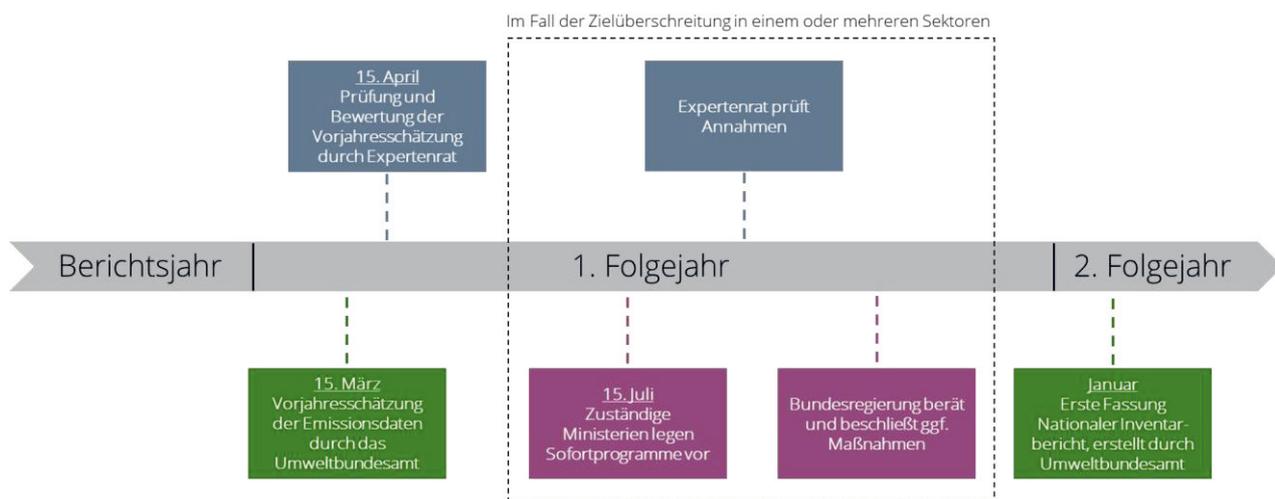
Tabelle 7: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifende Betrachtung	99
Tabelle 8: Dekomposition Variablen – Energiewirtschaft	100
Tabelle 9: Dekomposition Variablen – Industrie	102
Tabelle 10: Dekomposition Variablen – Gebäude	104
Tabelle 11: Dekomposition Variablen - Verkehr	106
Tabelle 12: Dekomposition Variablen - Landwirtschaft.....	108
Tabelle 13: Dekomposition Variablen – Abfallwirtschaft und Sonstiges	109
Tabelle 14: Vergleich der THG-Emissionen in 2019 aus Nationaler Inventarbericht und die abgedeckten THG-Emissionen in der Dekompositionsanalyse.....	119
Tabelle 15: Fehlender Datensatz aus der Dekompositionsanalyse, der direkt mit den Emissions- zeitreihen aus Nationaler Inventarbericht in dem AR(1)-Modell regressiert wurde.....	120
Tabelle 16: Fortgeschriebene Identitäten aus der Dekompositionsanalyse für die kontrafaktischen THG-Emissionen im Jahr 2020	121

Zusammenfassung

Am 12. Dezember 2019 hat der Deutsche Bundestag das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) beschlossen. Es trat am 18. Dezember 2019 in Kraft. Zweck des Gesetzes ist es, „zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten“. Das Klimaschutzgesetz beinhaltet die Einrichtung eines unabhängigen Expertenrates für Klimafragen. Der Expertenrat, bestehend aus fünf sachverständigen Personen verschiedener Disziplinen, wurde zum 1. September 2020 für fünf Jahre berufen.

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz hat Deutschland seine Klimaziele auf sechs verbindliche jährliche Sektorziele für die Absenkung der Treibhausgasemissionen heruntergebrochen sowie einen gesetzlichen Rahmen festgelegt, der das Erreichen dieser Ziele sicherstellen soll. Dafür ist im Gesetz ein Mechanismus mit einer genauen zeitlichen Abfolge definiert (Abbildung Z-1): Jeweils am 15. März des dem Berichtsjahr folgenden Jahres veröffentlicht das Umweltbundesamt die Emissionsdaten des Vorjahres (§ 5 Abs. 1 KSG). Diese zeitnahe Berichterstattung beruht teilweise auf vorläufigen Daten und Schätzungen, die in später folgenden Inventarberichten aktualisiert werden. Innerhalb eines Monats nach Übersendung durch das Umweltbundesamt legt der Expertenrat für Klimafragen eine Bewertung der veröffentlichten Daten vor (§ 12 Abs. 1 KSG). Überschreiten die Emissionsdaten den zulässigen Wert in einem Sektor, so legt das zuständige Ministerium innerhalb von 3 Monaten nach der Bewertung durch den Expertenrat für Klimafragen ein Sofortprogramm für den jeweiligen Sektor vor, das die Einhaltung der Ziele für die folgenden Jahre sicherstellen soll (§ 8 Abs. 1 KSG).

Abbildung Z-1 Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz



Eigene Darstellung

Für das Jahr 2020 legt der Expertenrat für Klimafragen mit diesem „Bericht zur Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020“ nun erstmals eine Prüfung und Bewertung der vom Umweltbundesamt übermittelten Emissionsdaten entsprechend (§ 12 Abs. 1 KSG) vor. Der vorliegende Bericht bietet im ersten Teil eine detaillierte Analyse der Datenbasis und der Methode der

Vorjahresschätzung der Entwicklung der Treibhausgasemissionen sowie eine Einordnung. Darüber hinaus werden im zweiten Teil weiterführende Analysen zur Änderung des Emissionsgeschehens vom Jahr 2019 auf 2020 vorgenommen, unter anderem mit Blick auf die Effekte der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie auf die Emissionsentwicklung. Zudem werden die Auswirkungen der anstehenden Verschärfung der Klimaziele auf europäischer Ebene betrachtet. Im dritten Teil folgen Anregungen zur Verbesserung des Mechanismus im Bundes-Klimaschutzgesetz sowie zu dessen Weiterentwicklung. Der Bericht lässt sich anhand der nachstehenden Kernaussagen zusammenfassen.

Teil I: Prüfung und Bewertung der Vorjahresschätzung

- Z1 **Das methodische Vorgehen des Umweltbundesamtes zur Ermittlung der Emissionsdaten für die Vorjahresschätzung ist konsistent mit der Inventarberichterstattung.** Die Vorjahresschätzung verwendet grundsätzlich dieselbe Methode wie der Nationale Inventarbericht (NIB) und folgt damit den internationalen Vorgaben. In dieser frühen Veröffentlichung kann das Umweltbundesamt nur auf einen eingeschränkten und teilweise noch vorläufigen Datenbestand zurückgreifen, was spezielle methodische Anpassungen bei dessen Bearbeitung erfordert. Nur ein Teil der für die Vorjahresschätzung herangezogenen Daten beruht auf echten Messungen und auch diese haben teilweise noch vorläufigen Charakter. Ein weitaus größerer Teil beruht auf Schätzungen unterschiedlicher Institutionen. Insbesondere bei der Aufteilung sektorenübergreifender Primärdaten auf einzelne KSG-Sektoren müssen in vielfältiger Form Annahmen getroffen werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand des Expertenrates nutzt das Umweltbundesamt fast alle relevanten und zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung verfügbaren Daten.
- Z2 **Eine stichprobenartige Auseinandersetzung mit der komplexen Methodik zur Erstellung der Vorjahresschätzung hat auf keine grundsätzlichen Konsistenzprobleme hingedeutet.** Stichprobenartig wurden verschiedene Gegenrechnungen vorgenommen. Das Vorgehen des Umweltbundesamtes konnte in allen Fällen grundsätzlich nachvollzogen werden. Insbesondere ergeben sich bezüglich der Setzungen, die vom Umweltbundesamt im Rahmen der Schätzungen vorgenommen wurden, keine Anhaltspunkte für eine bewusste systematische Verzerrung. Allerdings basieren die Abschätzungen auf unterschiedlichen Datenquellen und -ständen, in die zusätzlich Erfahrungswissen mit eingeht, für das keine vollständige Dokumentation noch eine stringente Methodik vorliegt. Besonderes Augenmerk lag bei der Analyse auf dem Gebäudesektor. Die Setzungen des Umweltbundesamtes für die Zuordnung der Emissionen führten an dieser Stelle zu einer Verschiebung von Emissionen vom Sektor Gebäude zum Sektor Industrie (um rund 2 Mt CO₂e), die durch den Expertenrat nicht geprüft und im Umfang nicht nachvollzogen werden konnte.
- Z3 **Die Aussagekraft der Vorjahresschätzungen ist durch die mangelnde Verfügbarkeit von Datenquellen zum frühen Zeitpunkt ihrer Erarbeitung gegenüber späteren Versionen des Nationalen Inventarberichts grundsätzlich eingeschränkt.** Zur Überprüfung der Belastbarkeit der Vorjahresschätzung 2020 wurde eine Analyse der bisherigen Korrekturbedarfe in den Nationalen Inventarberichten durchgeführt. Für die untersuchten Vorjahresschätzungen der Jahre 2010 bis 2018 ergaben sich insbesondere bis zum zweiten Nationalen Inventarbericht deutliche Korrekturen. Die verwendete Datengrundlage und Methodik unterscheiden sich in der Vorjahresschätzung für 2020 nicht erheblich von denen vorheriger Jahre. Daher kann erwartet werden, dass es voraussichtlich mindestens bis zum Jahr 2023 noch zu nennenswertem Anpassungsbedarf bei den in der Vorjahresschätzung für 2020 genannten Zahlen kommen wird. So ergaben sich bereits in der Phase zwischen Veröffentlichung der Emissionsdaten 2020

durch das Umweltbundesamt und der Abgabe des hier vorgelegten Berichts relevante Aktualisierungen der Primärenergieverbrauchsdaten durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Die vom Umweltbundesamt veröffentlichten Emissionsdaten für das Jahr 2020 müssen daher in allen Sektoren als vorläufig betrachtet werden. Das Umweltbundesamt selbst verweist in seiner Veröffentlichung zur Vorjahresschätzung (UBA 2021b) auf die vollständigen, offiziellen und detaillierten Inventardaten, die im Januar 2022 an die Europäische Kommission übermittelt werden.

- Z4 Die relativen Korrekturen der gesamten Treibhausgasemissionen waren über die Jahre gering. In einzelnen Sektoren lagen sie allerdings teilweise in der Größenordnung der jährlichen im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Minderungsmengen oder darüber. Der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung zum zweiten Inventarbericht betrug für die Gesamtemissionen durchschnittlich 0,9% (entsprechend 7,8 Mt CO₂e). Für die einzelnen Sektoren reichte dieser Wert von 0,8% bei Energiewirtschaft und Verkehr, über 2,6% bei der Industrie, 3,2% bei Gebäude und 3,4% bei der Landwirtschaft bis hin zu 11,3% bei der Abfallwirtschaft. Damit liegt der historische Korrekturbedarf in den Bereichen Energiewirtschaft und Verkehr bei ungefähr einem Viertel der jährlich festgeschriebenen Minderungsmengen, bei Gebäude und Industrie ist er in einer ähnlichen Größenordnung wie die jährlich festgeschriebenen Minderungsmengen, und bei Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges liegt er um ein Mehrfaches höher.
- Z5 Der historisch beobachtete Korrekturbedarf passt bis auf eine Ausnahme in allen Sektoren zu den Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes. Das Umweltbundesamt weist im Einklang mit internationalen Standards Konfidenzintervalle für die tatsächlichen Emissionsdaten in den einzelnen Sektoren aus – in der hier betrachteten Vorjahresschätzung erstmalig auch für das Berichtsjahr. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten erfolgt im Einklang mit den IPCC-Richtlinien¹. Die Gegenüberstellung der historischen Korrekturbedarfe mit den Konfidenzintervallen des Umweltbundesamtes zeigt auf Ebene der Gesamtemissionen sowie in allen Sektoren außer der Industrie keine unerwartete Abweichung. Für den Sektor Industrie kann das Konfidenzintervall nicht ohne Weiteres bestätigt werden.
- Z6 In Summe liefert die Prüfung und Bewertung der in der Vorjahresschätzung 2020 nach § 5 Abs. 1 KSG bereitgestellten Daten keinen Anhaltspunkt dafür, dass das Umweltbundesamt bei seinen Punktwertschätzungen zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen. Es zeigt sich zugleich, dass die Unsicherheit, die mit dieser Schätzung verbunden ist, in einigen Sektoren groß ist.
- Z7 Unter Berücksichtigung der vom Umweltbundesamt verwendeten Konfidenzintervalle ist es *unwahrscheinlich*, dass der Gebäudesektor im Jahr 2020 sein Sektorziel erreicht hat (Abbildung Z-2). Auf Basis der Angaben des Umweltbundesamtes zum Konfidenzintervall hat der Gebäudesektor sein Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 67,3% verfehlt. Nach IPCC Richtlinie² wird die Zielerreichung damit als *unwahrscheinlich* bezeichnet. Im Bereich Landwirtschaft und Abfallwirtschaft ist eine Zielüberschreitung *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*. Der Verkehrssektor hat sein Ziel *sehr wahrscheinlich* erreicht.

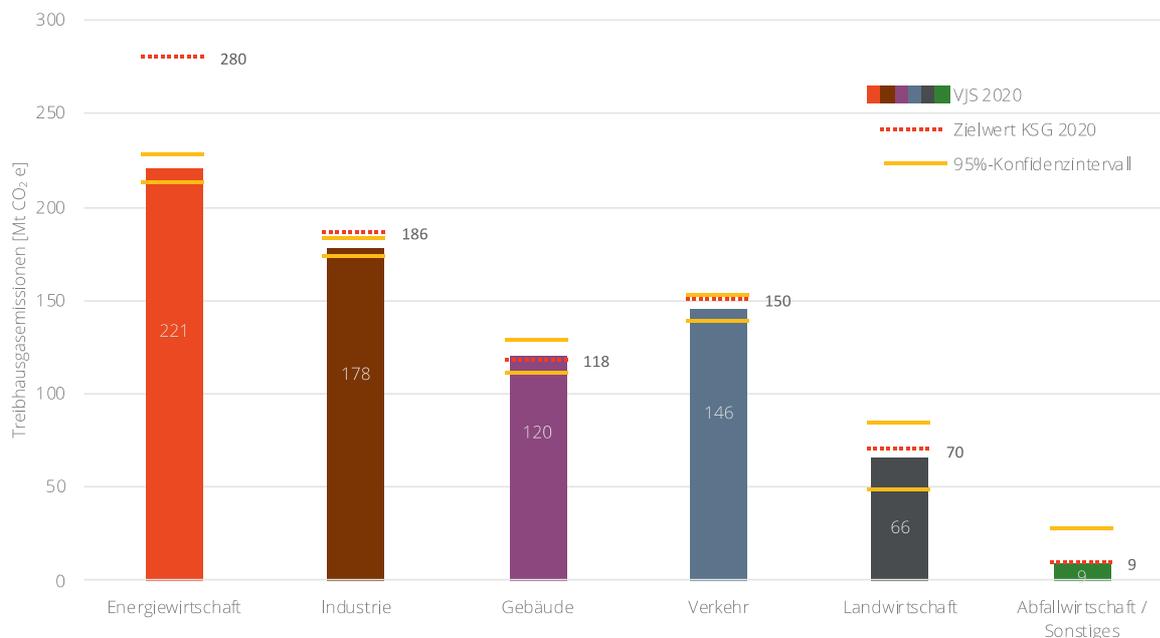
¹ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

² Folgende Begriffe wurden verwendet, um die bewertete Wahrscheinlichkeit eines Ergebnisses anzugeben, wobei die IPCC Nomenklatur für die Beschreibung von Unsicherheiten verwendet wurde (Mastrandrea et al. 2010): praktisch sicher 99–100% Wahrscheinlichkeit, sehr wahrscheinlich 90–100%, wahrscheinlich 66–100%, etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht 33–66%, unwahrscheinlich 0–33%, sehr unwahrscheinlich 0–10%, besonders unwahrscheinlich 0–1%.

Energiewirtschaft und Industrie haben unter Beachtung der Konfidenzintervalle ihr Ziel *praktisch sicher* erreicht.

- Z8 Die Punktwertschätzungen des Umweltbundesamtes bedeuten, dass die berichteten Emissionswerte für alle der in § 4 Abs. 1 KSG genannten Sektoren mit Ausnahme des Gebäudesektors unterhalb der Zielwerte lagen. Der Gebäudesektor lag 2 Mt CO₂e über dem Sektorziel, woraus sich die Notwendigkeit zur Vorlage eines Sofortprogramms ableitet. Die Frage, ob bei einer umfassenden Analyse ein solches Sofortprogramm für den Gebäudesektor tatsächlich notwendig wäre, stellt sich nicht aufgrund des im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Mechanismus. Bei einer derartigen umfassenden Analyse hätten weitere Gesichtspunkte wie bereits in Kraft getretene Gesetze oder Sondereffekte im Jahr 2020 Berücksichtigung finden müssen. Derartige weitergehende Analysen gehen nicht in die Bewertung der Emissionsdaten ein.

Abbildung Z-2 Zielwertvergleich Vorjahresschätzung (VJS) des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes



Daten basierend auf der Vorjahresschätzung 2021 des Umweltbundesamtes und den dort angegebenen Unsicherheiten der Schätzung. Für die Abfallwirtschaft und Sonstiges wurde der untere Rand des Unsicherheitsbereichs nicht dargestellt. Er liegt bei Minus 10,5 Mt CO₂e. Dieses negative Unsicherheitsminimum ergibt sich aus der Symmetrie der Normalverteilung, ist für die Bewertung aber nicht relevant.

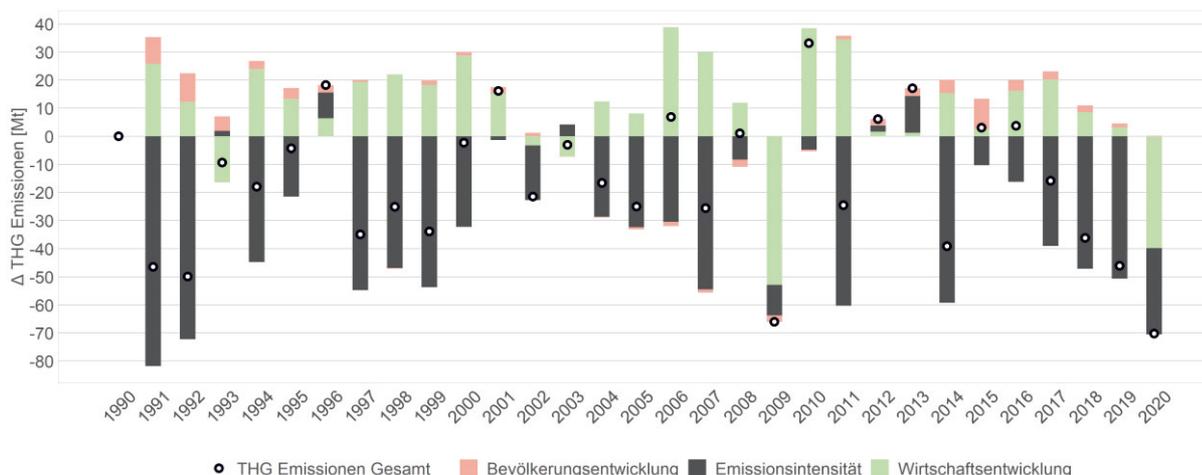
Eigene Darstellung.

Teil II: Weiterführende Betrachtungen

- Z9 Mehr als die Hälfte der Emissionsreduktion im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr 2019 kann mit einer einfachen Dekompositionsanalyse dem Faktor einer verringerten Wirtschaftsleistung (gemessen in BIP pro Kopf) zugeschrieben werden (Abbildung Z-3). Die Änderung des Emissionsgeschehens vom Jahr 2019 auf 2020 wird mit Hilfe einer Dekomposition analysiert, welche auf Basis einer Zerlegung der Emissionsentwicklung in die Faktoren Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsentwicklung sowie

Emissionsintensität erfolgt. Die gesamte Minderung der Emissionen im Jahr 2020 war im Vergleich zum Vorjahr ähnlich groß wie vom Jahr der Finanzkrise 2008 zum Jahr 2009, allerdings war 2020 der Einfluss der verringerten Wirtschaftsleistung größer. Die Verringerung der Emissionsintensität wird als weiterer wichtiger Faktor beim Rückgang der Emissionen zwischen 2019 und 2020 ausgemacht, wie schon in den Vorjahren seit dem Jahr 2014. Die Bevölkerungsentwicklung spielt laut dieser Analyse beim Emissionsgeschehen derzeit keine größere Rolle mehr.

Abbildung Z-3 Dekomposition der Treibhausgasemissionen gesamt – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr



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

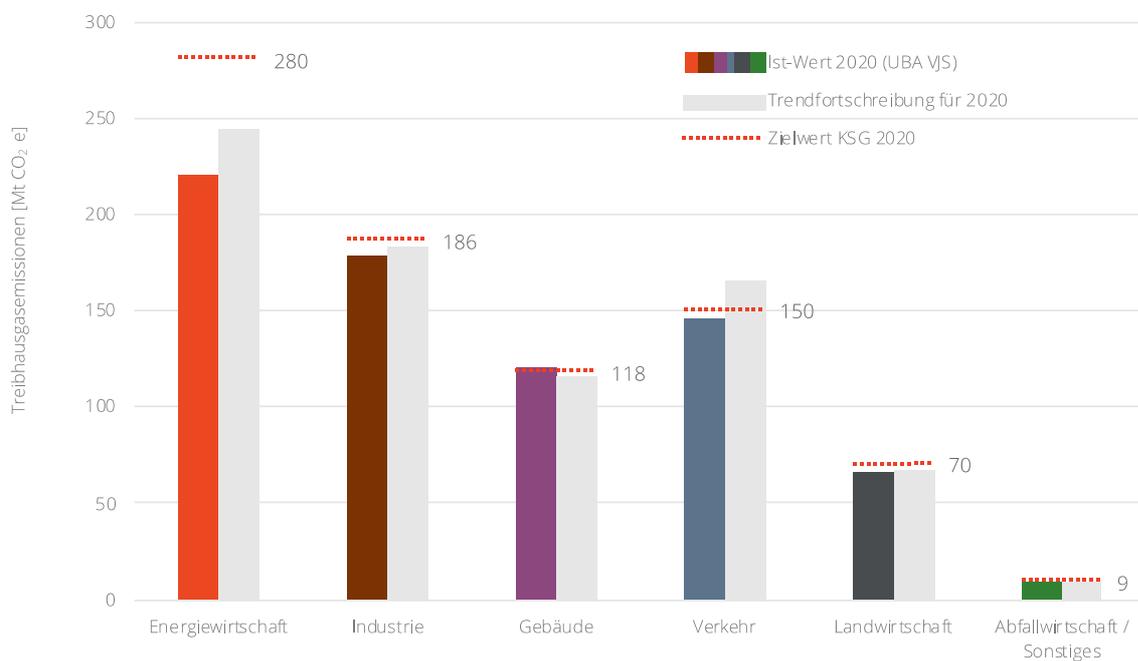
Eigene Darstellung

Z10 Auf Basis einer Trendfortschreibung hätten im Jahr 2020 die gesamten Treibhausemissionen um 45 – 48 Mt CO₂e höher gelegen als jetzt in der Vorjahresschätzung berichtet. Das entspräche einem Anteil von 64% – 68% am gesamten beobachteten Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Vorjahr. In der Trendfortschreibung hätte der Gebäudesektor sein Sektorziel im Jahr 2020 um rund 2% (2 Mt CO₂e) unterschritten, während der Verkehrssektor sein Sektorziel deutlich um rund 10% (15 Mt CO₂e) überschritten hätte (Abbildung Z-4). Auf Basis einer Trendfortschreibung der historischen Emissionsdaten für das Jahr 2020 können die Sondereffekte quantitativ abgeschätzt werden. Als erste, grobe Annäherung können die Emissionsdaten für 2020 mit denjenigen Werten verglichen werden, die sich aus einer einfachen Fortschreibung der historischen Trends ergeben. Auf dieser Grundlage wird eine hypothetische Emissionsentwicklung für das Jahr 2020 berechnet. Demnach hätten alle Sektoren ihr jeweiliges Ziel eingehalten, bis auf den Verkehrssektor. Für den Verkehrssektor ergibt eine unabhängige Abschätzung der hypothetischen Emissionsmenge auf Basis von GPS-Daten einen Wert von 160 Mt CO₂e für 2020 und damit ebenfalls eine Überschreitung des Sektorziels.

Z11 Auch bei empirischer Betrachtung der Aktivitätsdaten in allen Sektoren zeigt sich, dass diese von Sondereffekten beeinflusst worden sind, unter anderem von den Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie. Der Einfluss der Sondereffekte war substanziell und unterschiedlich in der Wirkrichtung. Es ist davon auszugehen, dass die Covid-19-Pandemie einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionsdaten gehabt hat, insbesondere im Verkehrssektor. Im Energiesektor spielten dagegen noch

andere Faktoren eine wichtige Rolle, wie der niedrige Erdgas- und Ölpreis und das Wettergeschehen im Jahr 2020. Im Gebäudesektor kamen zusätzlich Lagereffekte zum Tragen, vor allem von leichtem Heizöl – vermutlich u.a. aufgrund des kurzzeitig abgesenkten Mehrwertsteuersatzes sowie im Vorgriff auf den ab 2021 neu eingeführten Brennstoffemissionshandel. Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen schätzt die korrespondierende Emissionsmenge implizit auf 1,7 Mt CO₂e (AGEB 2021).

Abbildung Z-4 Vergleich der Emissionsdaten der Vorjahresschätzung (Ist-Wert) mit den in der Trendanalyse ermittelten Werten für das Jahr 2020 in Relation zu den Zielwerten im Bundes-Klimaschutzgesetz



Eigene Darstellung

Z12 In welcher Weise sich die Anhebung des europäischen Klimaschutzziels von 40% auf 55% bis 2030 gegenüber 1990 auf die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes auswirkt, hängt von den Entscheidungen auf der EU-Ebene über die genaue Umsetzung ab. Die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Ziele sollen auch die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben gewährleisten und reflektieren daher die gemeinsame europäische Zielarchitektur. Das derzeitige übergeordnete nationale Ziel von mindestens 55% Minderung bis 2030 gegenüber 1990 ist konsistent mit einer Minderung von 40% auf EU-Ebene. Was die europäische Zielverschärfung von 40% auf 55% bis 2030 gegenüber 1990 für die deutschen Sektorziele genau bedeutet, kann noch nicht abschließend bewertet werden, denn dies hängt maßgeblich von noch ausstehenden Entscheidungen auf EU-Ebene ab, für die im Sommer 2021 erste Vorschläge erwartet werden. Sofern darin die Zielarchitektur und der Instrumentenmix nicht grundsätzlich verändert werden, müssen voraussichtlich zum Vermeiden einer Implementierungslücke mindestens die Sektorziele für diejenigen Sektoren angepasst werden, die der europäischen Lastenteilung unterliegen, also Verkehr, Gebäude, Teile der Industrie, Landwirtschaft und Abfall.

Allerdings werden auf EU-Ebene auch grundlegende Alternativen diskutiert, insbesondere die Ausweitung des bestehenden Europäischen Emissionshandelssystems (EU-ETS) auf alle Sektoren oder die Einführung eines weiteren EU-Emissionshandelssystems für Verkehr und/oder Gebäude.

- Z13 **Der deutsche Emissionspfad bis 2030 wird sich in Folge der Verschärfung des EU-Ziels substantiell gegenüber dem Status Quo verändern, in jedem Fall mittelbar und gegebenenfalls auch unmittelbar über eine Verschärfung der KSG-Ziele.** Die Anteile zwischen europäischem Emissionshandel und Lastenteilungsverordnung (ESR) sind noch nicht fixiert. Die Folgenabschätzung der EU-Kommission (EU 2020d) geht davon aus, dass die ETS-Sektoren europaweit um 65% statt bisher 43% bis 2030 gegenüber 2005 mindern. Für die ESR-Sektoren in Deutschland könnte sich daraus eine Minderung von 46-50% (gegenüber derzeit 38%) ergeben, abhängig von verschiedenen illustrativen Verteilungsschlüsseln. Variiert man die Annahmen anhand von denkbar erscheinenden Szenarien, könnte sich im Jahr 2030 eine Bandbreite von 62-68% Gesamtminderung gegenüber 1990 für die deutschen Treibhausgasemissionen ergeben. Die derzeitige Unklarheit über den zukünftigen Emissionspfad erschwert in erheblichem Maße die Planung von Unternehmen und Haushalten. Daher erscheint es sinnvoll, mögliche Szenarien frühzeitig zu beleuchten, insbesondere im Hinblick auf die heute gültige Aufteilung in ETS- und ESR-Sektoren. In diesem Zuge sollte auf eine stärkere Harmonisierung zwischen europäischem Rahmen und Bundes-Klimaschutzgesetz hingewirkt werden (siehe Randziffer Z18).
- Z14 **Die Emissionsdaten der Vorjahresschätzung implizieren einen unmittelbaren Handlungsbedarf gemäß § 8 Abs. 1 KSG nur im Gebäudesektor. Unter Berücksichtigung von Sondereffekten und Unsicherheiten wird deutlich, dass die Emissionsdaten der Vorjahresschätzung nur eine Momentaufnahme darstellen. Die Aussagekraft über die strukturelle Emissionsentwicklung ist eingeschränkt, insbesondere im Hinblick auf eine eventuelle Erhöhung der Sektorziele aufgrund der europäischen Zielverschärfung.** Zwar sind im Corona-Jahr 2020 die Sektorziele bis auf den Gebäudesektor erreicht worden, unter Berücksichtigung der Unschärfe könnte es allerdings in allen Sektoren außer Energiewirtschaft und Industrie nachträglich zu einer Veränderung dieser Bewertung in den späteren Nationalen Inventarberichten kommen. Aufgrund der gesetzlichen Regelung würde sich daraus allerdings keine gesonderte Wirkung ergeben. Zudem liegen mit Ausnahme der Energiewirtschaft alle Sektoren recht knapp bei den Werten ihres jeweiligen Sektorziels (Abbildung Z-2). Zusätzlicher Handlungsbedarf wird durch eine Trendanalyse deutlich, die den Einfluss von Sondereffekten auf die Emissionsminderung des Jahres 2020 zu quantifizieren versucht. Hätten sich die historischen Trends fortgesetzt, wäre es zu einer Zielüberschreitung im Verkehrssektor gekommen. Weiterhin ist zu erwarten, dass die jüngsten Entscheidungen der EU zur Zielverschärfung zu Handlungsbedarf bei der Anpassung der Ziele im Bundes-Klimaschutzgesetz führen. Auf dieser Basis besteht ohne weitere Maßnahmen nicht viel Spielraum, eine mögliche Zielverschärfung zu erreichen, gegebenenfalls mit Ausnahme der Energiewirtschaft.

Teil III: Schlussfolgerungen

- Z15 **Die Genauigkeit der Vorjahresschätzung ließe sich erhöhen durch eine frühere Verfügbarmachung wesentlicher Daten, die Erschließung weiterer Datenquellen und einer Erweiterung der Methoden.** Angesichts der großen Relevanz der sektorbezogenen Werte der Treibhausgasemissionen der Vorjahresschätzung für die Entwicklung von Sofortprogrammen im Sinne des § 8 Abs. 1 KSG sollte sich die Erfassungsmethodik auf weitere Datenquellen stützen und auf weitere unabhängige

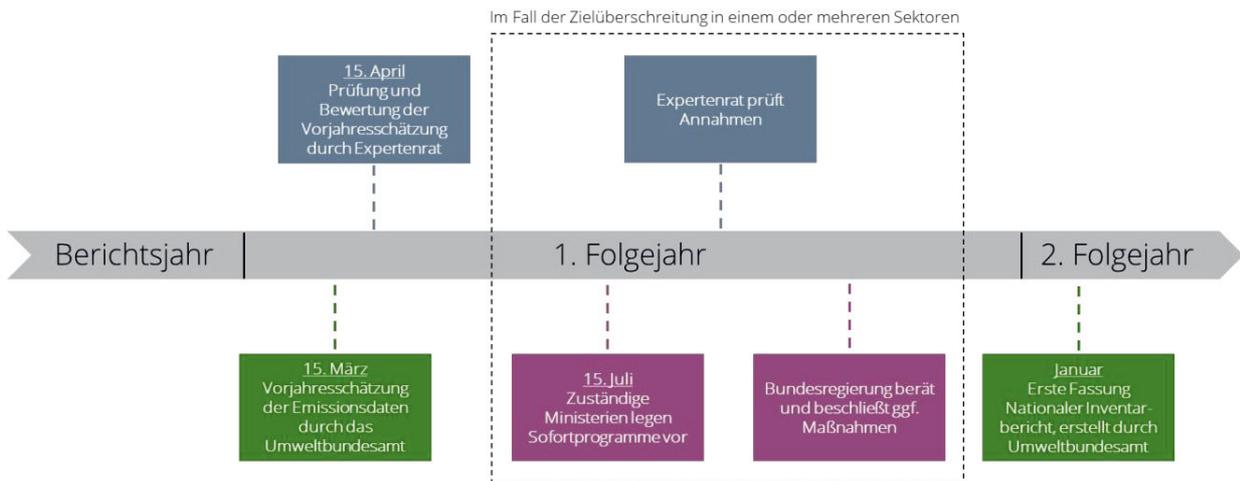
Erhebungsmethoden wie z.B. eine physikalische Messung von Emissionswerten zurückzugreifen. Darüber hinaus wäre eine systematische Analyse der Ursachen für die Korrekturbedarfe in der Vergangenheit hilfreich, um Aufschluss darüber zu erlangen, wo wesentliche Gründe für nachträglich erfolgte Korrekturen der im März berichteten Emissionsdaten lagen.

- Z16 **Zur Weiterentwicklung der Wirkungsweise des Bundes-Klimaschutzgesetzes wird angeregt, einen zusätzlichen Prüfmechanismus für diejenigen Sektoren zu etablieren, die gemäß Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes das Sektorziel für das Vorjahr erreicht haben.** Nach noch zu definierenden Kriterien könnte die Bundesregierung im Zusammenhang mit der Vorjahresschätzung erwägen, ob trotz der berichteten Unterschreitung die Erstellung eines Sofortprogramms angezeigt sein könnte. Gründe dafür könnten insbesondere in den Unsicherheiten bei der Vorjahresschätzung (Wahrscheinlichkeit einer von der Vorjahresschätzung noch nicht entdeckten Zielverfehlung), in möglichen Sondereffekten und deren Wirkung auf das Emissionsgeschehen (Zielerreichung nicht strukturell bedingt) oder in intersektoralen Verschiebungseffekten (Zielerreichung zulasten anderer Sektoren) liegen. Bei der entsprechenden Bewertung wäre auch auf Elemente einer vorausschauenden Analyse unter Einbeziehung bereits getroffener klimapolitischer Maßnahmen und Programme abzustellen.
- Z17 **Zur Weiterentwicklung der Wirkungsweise des Bundes-Klimaschutzgesetzes wird angeregt, für die Anrechnung der Emissionsmengen auf die Folgejahre nach § 4 Abs. 3 ein konsistentes Verfahren der Anrechnung zu entwickeln, das zugleich die Unsicherheiten berücksichtigt.** Im Sinne einer Minimierung von Unsicherheiten sollte bei jeder Anrechnung von Über- oder Unterschreitungen der Ziele nach § 4 Abs. 3 KSG auf die Verwendung der jeweils jüngsten, vorliegenden Daten zurückgegriffen werden. Es wird angeregt, ein konsistentes Verfahren für die Anpassung von zukünftigen Werten der Sektorziele aufgrund von Unter- und Überschreitungen innerhalb des Bundes-Klimaschutzgesetzes zu erarbeiten. Dieses sollte sowohl die Unsicherheit in der Erhebung der Emissionsdaten in der Vorjahresschätzung berücksichtigen als auch die später durchgeführten Korrekturen.
- Z18 **Für die Beurteilung von Sofortprogrammen wäre eine Neuaufteilung der Sektoren im Bundes-Klimaschutzgesetz hilfreich, die eine möglichst eindeutige Zuordnung eines jeden Sektors entweder zum europäischen Emissionshandel oder zur Lastenteilungsverordnung erlaubt.** Dadurch würde eine transparente Zuordnung zu den zentralen klimapolitischen Mechanismen möglich.
- Z19 **Zur Vervollständigung des Bildes der Entwicklung der Treibhausgasemissionen wäre die Einbeziehung der Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) mit einem Minderungsziel analog zu den anderen Sektoren sowie der handelsbezogenen Emissionen wichtig.** Vor dem Hintergrund von Veränderungen in der Nachfrage nach Biomasse und Land und der sich zunehmend abzeichnenden Änderungen des Wettergeschehens und der Folgen für die Biosphäre, insbesondere die Wälder, sollte geprüft werden, wie das Bundes-Klimaschutzgesetz mit der europäischen LULUCF-Verordnung harmonisiert und auch für LULUCF Mindestziele analog zu den anderen KSG-Sektoren formuliert werden könnte. Hierzu bedarf es allerdings einer verbesserten Datenbasis für eine zeitnahe und ausreichend abgesicherte Erhebung. Da klimapolitische Maßnahmen territoriale Verlagerungseffekte zur Folge haben können, die möglicherweise das übergeordnete Ziel einer Minderung globaler Emissionen relativieren, sollte zudem geprüft werden, ob eine nachrichtliche, die nationalen Inventarberichte ergänzende Information zur Erhebung der mit Importen und Exporten verknüpften Treibhausgasemissionen erfolgen könnte.

1 Auftrag und Herangehensweise

- 1 Am 12. Dezember 2019 hat der Deutsche Bundestag das Bundes-Klimaschutzgesetz beschlossen (KSG 2019). Das Gesetz trat am 18. Dezember 2019 in Kraft. Zweck des Gesetzes ist es, „zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Die ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen werden berücksichtigt. Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris aufgrund der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, wonach der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen ist, um die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels so gering wie möglich zu halten, sowie das Bekenntnis der Bundesrepublik Deutschland auf dem Klimagipfel der Vereinten Nationen am 23. September 2019 in New York, Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel zu verfolgen.“ (KSG 2019)
- 2 Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz hat Deutschland seine Klimaziele auf sechs verbindliche jährliche Sektorziele für die Absenkung der Treibhausgasemissionen heruntergebrochen sowie einen gesetzlichen Rahmen festgelegt, der das Erreichen dieser Ziele sicherstellen soll. Dafür ist im Gesetz ein Mechanismus mit einer genauen zeitlichen Abfolge definiert:
 - i) Jeweils am 15. März des dem Berichtsjahr folgenden Jahres veröffentlicht das Umweltbundesamt die Emissionsdaten des Vorjahres (§ 5 Abs. 1 KSG). Aus dieser zeitnahen Berichterstattung resultiert eine schnelle Erkennung von Abweichungen, definiert als die Differenz zwischen Berichtswert des Umweltbundesamtes und gesetzlichem Zielwert, gegenüber den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Zielwerten für die einzelnen Sektoren und in Summe.
 - ii) Innerhalb von einem Monat nach Übersendung durch das Umweltbundesamt legt der Expertenrat für Klimafragen eine Bewertung der veröffentlichten Daten vor (§ 12 Abs. 1 KSG).
 - iii) „Weisen die Emissionsdaten eine Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmenge für einen Sektor in einem Berichtsjahr aus, so legt das [...] zuständige Bundesministerium der Bundesregierung innerhalb von drei Monaten nach der Vorlage der Bewertung der Emissionsdaten durch den Expertenrat für Klimafragen [...] ein Sofortprogramm für den jeweiligen Sektor vor, das die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors für die folgenden Jahre sicherstellt“ (§ 8 Abs. 1 KSG).
 - iv) „Die Bundesregierung berät über die zu ergreifenden Maßnahmen im betroffenen Sektor oder in anderen Sektoren oder über sektorenübergreifende Maßnahmen und beschließt diese schnellstmöglich. [...] Vor Erstellung der Beschlussvorlage über die Maßnahmen sind dem Expertenrat für Klimafragen die den Maßnahmen zugrunde gelegten Annahmen zur Treibhausgasreduktion zur Prüfung zu übermitteln. Das Prüfungsergebnis wird der Beschlussvorlage beigefügt.“ (§ 8 Abs. 2 KSG).

Abbildung 1 Zeitliche Abfolge des Mechanismus entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz



Eigene Darstellung

- 3 Das Klimaschutzgesetz beinhaltet die Einrichtung eines unabhängigen Expertenrates für Klimafragen. Der Expertenrat, bestehend aus fünf sachverständigen Personen verschiedener Disziplinen, wurde erstmalig zum 1. September 2020 für fünf Jahre berufen. Die im Gesetz definierten Aufgaben des Expertenrates für Klimafragen sind die Folgenden:
- Der Expertenrat für Klimafragen prüft die jährlich durch das Umweltbundesamt (UBA) erstellten Daten der Treibhausgasemissionen. Er legt der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag eine Bewertung der veröffentlichten Daten vor.
 - Bei Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmenge berät die Bundesregierung über die zu ergreifenden Maßnahmen im betroffenen Sektor oder in anderen Sektoren oder über sektorenübergreifende Maßnahmen und beschließt diese schnellstmöglich. Vor Erstellung der Beschlussvorlage über die Maßnahmen prüft der Expertenrat für Klimafragen die den Maßnahmen zugrunde gelegten Annahmen zur Treibhausgasreduktion. Das Prüfungsergebnis wird der Beschlussvorlage beigelegt.
 - Die Bundesregierung holt zu folgenden Maßnahmen eine Stellungnahme des Expertenrats für Klimafragen im Hinblick auf die diesen zugrunde liegenden Annahmen zur Treibhausgasreduktion ein, bevor sie diese veranlasst: (1) Änderungen der Jahresemissionsmengen; (2) Fortschreibung des Klimaschutzplans; (3) Beschluss von Klimaschutzprogrammen.
 - Der Bundestag oder die Bundesregierung können den Expertenrat für Klimafragen mit Sondergutachten beauftragen.
- 4 Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die erstgenannte Aufgabe und nimmt eine Bewertung der am 15. März 2021 durch das Umweltbundesamt vorgelegten und veröffentlichten Daten der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020 vor (UBA 2021c).
- 5 Dem Expertenrat für Klimafragen wurden am 15. März 2021 die folgenden Unterlagen durch das Umweltbundesamt übermittelt:

- Zeitreihe der Emissionsdaten von 1990 bis 2020, aufgeschlüsselt nach den Sektoren und Sub-Sektoren entsprechend der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Format – CRF) nach der Europäischen Klimaberichterstattungsverordnung oder entsprechend einer auf der Grundlage von Artikel 26 Absatz 7 der Europäischen Governance-Verordnung erlassenen Nachfolgeregelung (UBA 2021c)
 - Ein begleitender Bericht mit dem Titel »Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen 2020« (UBA 2021d)
 - Ein Methodenbericht mit dem Titel »Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen, allgemeiner Methodenband« (UBA 2021e)
 - Ein Methodenbericht mit dem Titel »Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen Deutschlands 2020. Methodenband zur Veröffentlichung der Emissionsdaten« (UBA 2021f)
- 6 Teil I dieses Berichts enthält die Prüfung und Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten. Die vom Umweltbundesamt verwendete Datenbasis und die Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsdaten wurden dafür soweit möglich nachvollzogen (Kapitel 2). Unter Anwendung unterschiedlicher Methoden erfolgte – soweit möglich – eine methodische Prüfung der Generierung der Emissionsdaten. Eine Aussage zur Güte der Vorjahresschätzung erfolgt einerseits auf Basis einer durch das Umweltbundesamt übermittelten Angabe zur Unsicherheit der vorgelegten Daten und andererseits auf Basis einer rückwirkenden Betrachtung der nachträglichen Korrekturen der jeweils im März für das Vorjahr vorgelegten Daten. Dafür wird eine rückwirkende Betrachtung der Emissionsdaten und der in den Folgejahren erfolgten Korrekturen seit dem Berichtsjahr 2010 vorgenommen (Kapitel 3). Auf Basis der durchgeführten Prüfung und Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten und der vorgelegten Unterlagen zur Methodik erfolgt die Feststellung in Bezug auf die Einhaltung der Zielwerte entsprechend § 4 Abs. 1 KSG sowie Anlage 2 KSG (Kapitel 5).
- 7 Teil II dieses Berichts enthält weiterführende Betrachtungen, die einer Einordnung der vorgelegten Emissionsdaten dienen. Dafür wird eine detaillierte Untersuchung der Veränderungen der Emissionsdaten von 2019 auf 2020 – und damit implizit der Sondereffekte des Jahres 2020 – vorgenommen. Eine faktorielle Zerlegung (Dekomposition) der in der Vergangenheit beobachteten Entwicklung der Treibhausgasemission insgesamt und zusätzlich weiter aufgeschlüsselt für den Sektor Energiewirtschaft erlaubt eine quantitative Ermittlung von Einflussfaktoren im Rückblick. Die Projektion der historischen Entwicklung dieser Faktoren bis zum Jahr 2019 ermöglicht eine Trendfortschreibung in das Jahr 2020, die Hinweise darauf liefern kann, wie sich die Emissionsdaten im Jahr 2020 ohne Sondereffekte entwickelt hätten. Eine qualitative Diskussion möglicher Effekte der Maßnahmen auf die Covid-19-Pandemie und möglicher verbleibender Wirkungen ergänzt die Betrachtung (Kapitel 6).
- 8 Die Vorgaben für die Minderung von Treibhausemissionen in Deutschland reflektieren die gemeinsame europäische Zielarchitektur mit ihren zentralen Instrumenten des Europäischen Emissionshandels und der Lastenteilungsverordnung. Die vom Europäischen Rat politisch beschlossene Verschärfung der Ziele zur Minderung von Treibhausgasemissionen bis 2030 besagt eine Anhebung des Minderungsziels von bislang 40% im Jahr 2030 auf nun mindestens 55% netto im Jahr 2030, jeweils bezogen auf den Referenzwert im Jahr 1990 (EU 2020b). Wie genau sich die Zielverschärfung auf EU-Ebene nach § 3 KSG auf eine Anpassung der Zielwerte des Bundes-Klimaschutzgesetzes auswirkt, hängt von den noch ausstehenden Festlegungen zur Instrumentierung auf EU-Ebene ab. Eine Analyse möglicher

Mechanismen zur Umsetzung der Zielverschärfung auf europäischer Ebene ermöglicht die Abschätzung von möglichen Folgen für die instrumentelle Ausgestaltung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Kapitel 7).

- 9 Teil III dieses Berichts befasst sich mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz und dem darin definierten Mechanismus zur Einhaltung der dort definierten Klimaschutzziele sowie der wichtigen Rolle, die der Vorjahresschätzung der Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt darin zukommt. Dies bildet die Basis für eine Reihe weiterführender Vorschläge zur Verbesserung der Vorjahresschätzung, zur Wirkungsweise des Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes sowie zur Vervollständigung des Bildes der deutschen Treibhausgasemissionen (Kapitel 8).

Teil I: Prüfung und Bewertung der Vorjahresschätzung

2 Allgemeines, Daten und Vorgehensweise in der Vorjahresschätzung

2.1 Allgemeines

- 10 Als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) hat sich Deutschland mit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet, seine Emissionen in einem standardisierten Nationalen Inventarbericht (NIB, englisch: national inventory report, NIR) auszuweisen. Die Berichterstattung erfolgt gemäß UNFCCC Richtlinie zur Berichterstattung über jährliche Inventare (UNFCCC, 2014) und den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2006).
- 11 Der Nationale Inventarbericht wird demnach jährlich zum 15. April vom Umweltbundesamt für das vorletzte Jahr veröffentlicht. Darin enthaltene Schätzungen 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 Schätzung der Vorjahresemissionen zum 15. März, deren Ergebnisse eine Gesetzesfolge gemäß § 8 Abs. 1 KSG nach sich ziehen können (Sofortprogramme). Der Expertenrat für Klimafragen wird durch § 12 Abs. 1 KSG beauftragt, diese Vorjahresschätzung innerhalb eines Monats zu prüfen und zu bewerten.
- 12 In der internationalen Klimaberichterstattung wird grundsätzlich das Territorialprinzip (territory-based approach, TBA) als Basis für die Messung 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. Als 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 Schätzung ein, obwohl der Verbrauch dieser Güter im Ausland erfolgt. Werden importierte Emissionen vollständig berücksichtigt, exportierte Emissionen hingegen ignoriert, spricht man vom konsumbasierten Ansatz (consumption-based approach, CBA). 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).
- 13 Über die Interpretation der beiden Prinzipien – Territorialprinzip und konsumbasierter Ansatz – im Vergleich bzw. allgemeiner über die angemessene Berücksichtigung der durch Handelsbeziehungen ausgelösten gemeinsamen Verantwortlichkeiten der Nationalstaaten besteht in der Literatur noch kein einheitliches Bild (vgl. Haberl et al. 2020). Beide Ansätze vernachlässigen jeweils eine Seite der Handelsbeziehungen eines Landes, das Territorialprinzip den Import von Emissionen, der konsumbasierte Ansatz deren Export. Betrachtet man beide Ansätze gemeinsam sowie in Verbindung mit weiteren Aspekten, wie z.B. dem jeweiligen Technologiemix im Im- und Export (Kander et al. 2015),

können die komplexen Wechselwirkungen der handelsbezogenen Emissionen zwischen Export- und Importland differenziert reflektiert werden (für einen diesbezüglichen Vorschlag vgl. bspw. Jakob et al. (2021)). Voraussetzung dafür ist jedoch die explizite Erfassung dieser Emissionen. Für die Berichterstattung Deutschlands würde dies einerseits bedeuten, zusätzlich zu den bisher erhobenen Daten auch die importierten Emissionen zu erfassen sowie andererseits innerhalb der nach dem Territorialprinzip berichteten Emissionen diejenigen zu identifizieren, welche mit dem Export verbunden sind. Aus diesen Datenpunkten würden zusätzliche, für die Klimapolitik relevante Informationen resultieren, auch an der Schnittstelle zur Außenhandelspolitik.

- 14 Das Umweltbundesamt berichtet Emissionsschätzungen nach der von der UNFCCC etablierten Systematik der Klimaberichterstattung, dem Common Reporting Format (CRF), welche sämtliche Emissionen und deren Abbau durch Senken einer Entität einzelnen CRF-Kategorien zuteilt (sogenanntes Quellprinzip). Das Umweltbundesamt fasst für die nationale Berichterstattung die CRF-Kategorien in einem nächsten Schritt zu den im Bundes-Klimaschutzgesetz genannten Sektoren zusammen. Da die Sektoren sowohl Endverbraucher (v.a. Gebäude, Verkehr) als auch Zwischenproduzenten (v.a. Energiewirtschaft) beinhalten, kann es im Zeitverlauf zu gegenläufigen Verlagerungseffekten zwischen den Sektoren kommen. Wird beispielsweise der Gebäudesektor zunehmend durch höhere Anteile von Wärmepumpen oder Fernwärmesysteme geprägt, verlagern sich die entsprechenden Emissionen zulasten des Sektors Energiewirtschaft (Stromerzeugung). Dasselbe gilt im Verkehrssektor: Ein höherer Marktanteil von batterieelektrischen Fahrzeugen verringert zwar die Emissionen im Verkehrssektor, jedoch steigen die Emissionen im Industriesektor (Fahrzeugbau und Batterieherstellung) und in der Energiewirtschaft (Stromerzeugung) (Karstensen et al. 2018).
- 15 Zudem kann es bei lagerfähigen Gütern (z.B. Heizöl) zu ungenauen Periodenabgrenzungen kommen. Die Berichterstattung des Umweltbundesamtes erfolgt gemäß des Absatzprinzips. Hieraus kann sich ein Verschiebungseffekt ergeben, indem 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 (vgl. Randziffer 27, Kapitel 2.2.2). In der Treibhausgasbilanz werden diese Absätze jedoch als relevante Inputgröße herangezogen. Auf Grund von Lagerhaltung kann es damit zu einer ungenauen zeitlichen Zuordnung der Treibhausgasemissionen kommen. Auch die nachfolgenden Emissionsschätzungen im Rahmen der nationalen Inventarberichte (vgl. Kapitel 4.2) folgen dem Absatzprinzip und beinhalten dementsprechend die zuvor beschriebenen Verschiebungseffekte.
- 16 Die Berechnung der Emissionen durch das Umweltbundesamt erfolgt für jede CRF-Kategorie nach dem Grundprinzip $\text{Aktivitätsdaten} \cdot \text{Emissionsfaktor} = \text{Emissionen}$. Dabei bezeichnen Aktivitätsdaten allgemein die jeweils relevante Produktionsgröße, die zu den damit verbundenen Emissionen als proportional vermutet werden kann, z.B. Tonnen für Produkt-Emissionswerte oder Energieeinheiten für Wärme-Emissionswerte und Brennstoff-Emissionswerte (DEHSt 2019). Der Emissionsfaktor wiederum ist der entsprechende Proportionalitätsfaktor ausgedrückt in Treibhausgasausstoß pro Tonne oder pro Energieeinheit (a.a.O.). Die in den Treibhausgasinventaren ausgewiesenen Emissionen sind also grundsätzlich keine gemessenen Größen, sondern werden anhand der Aktivitätsdaten und der zugehörigen Emissionsfaktoren berechnet. Die Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren wiederum beruhen teilweise auf Messungen, teilweise auf Schätzungen. Die beschriebene Methodik des Nationalen Inventarberichts stellt auch die Grundlage für die Vorjahresschätzung dar.

- 17 Die Summe der Emissionen aller Treibhausgase werden in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) angegeben. Hierfür werden die ermittelten Emissionen je Treibhausgas (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas und F-Gase) mit jeweiligen Treibhausgaspotenzialen, basierend auf ihrer Wirkung über einen Zeithorizont von 100 Jahren, multipliziert. Das Treibhausgaspotenzial von CO₂ ist per definitionem Eins. Die übrigen derzeit verwendeten Treibhausgaspotenziale sind im Vierten Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht (UNFCCC, 2014). Treibhausgaspotenziale werden bei neuen Erkenntnissen oder auf Basis sich ändernder Zeitpräferenz³ angepasst. Nach dem Übereinkommen von Paris werden für Veröffentlichungen ab dem Jahr 2023 die Treibhausgaspotenziale auf Basis des Fünften Sachstandsberichts des IPCC berechnet (IPCC 2014). Das Treibhausgaspotenzial für Methan steigt durch diese Anpassung um 12%, wohingegen das Treibhausgaspotenzial für Lachgas um 11% sinkt. Diese Veränderungen wirken sich auf die gesamte Zeitreihe der Emissionsdaten seit 1990 aus, einschließlich der in diesem Bericht geprüften Vorjahresschätzung. Die größten Änderungen ergeben sich hierdurch in Sektoren mit einem hohen Anteil an Methan- und Lachgasemissionen (z.B. Land- und Abfallwirtschaft).

2.2 Daten

2.2.1 Emissionsfaktoren

- 18 Die Daten für Emissionsfaktoren werden für die Vorjahresschätzung grundsätzlich dem historischen Nationalen Inventarbericht entnommen. Die Datenquellen für die Emissionsfaktoren im Nationalen Inventarbericht sind vielfältig. Beispielsweise wird auf Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle zurückgegriffen, welche auf gemessenen Werten basieren. Ebenfalls werden Emissionsfaktoren zahlreichen Forschungsberichten entnommen (Deichnik 2019; Rentz et al. 2002). Die Methodik der Ermittlung ist für vielerlei Emissionsfaktoren im Nationalen Inventarbericht ausführlich und nachvollziehbar dokumentiert. Wo keine gemessenen oder anderweitigen Daten vorliegen, werden vom IPCC festgelegte Default-Werte verwendet (Beispielsweise für Rohöl, Rohbenzin, Flugbenzin und Schmierstoffe).
- 19 Für die sektorale Bottom-Up Schätzung der Emissionen werden die spezifischen Emissionsfaktoren direkt aus dem aktuellen Nationalen Inventarbericht fortgeschrieben. Eine Ausnahme bildet der Sektor Verkehr. Hier werden die Emissionsfaktoren nach dem Zentralen System Emissionen (ZSE)⁴ verwendet. Laut Auskunft des Umweltbundesamtes sind die Veränderungen der spezifischen Emissionsfaktoren zwischen den Jahren sehr gering. Diese Annahme ist nachvollziehbar, da die jährlichen Schwankungen der meisten Emissionsfaktoren historisch gering waren und nachträgliche Korrekturen selten auftraten. Für eine sektorenübergreifende Ermittlung der Emissionen auf Basis des Primärenergieverbrauchs ist eine reine Fortschreibung allerdings nicht in jedem Fall sinnvoll, weil schwankende Aktivitäten zu starken Schwankungen in den Emissionsfaktoren von aggregierten Brennstoffkategorien führen können. Die Emissionsfaktoren werden für die Top-Down Vorjahresschätzung daher aus dem Durchschnitt von

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

⁴ Das ZSE ist die zentrale, nationale Datenbank zur Emissionsberechnung und -berichterstattung. Innerhalb dieser Datenbank sind alle für die Emissionsberechnung benötigten Informationen (Methoden, Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren) enthalten. Für weitere Informationen siehe (UBA 2020a, S.950f).

Emissionsfaktoren vergangener Jahre gebildet. Dabei variiert die Auswahl der jeweils herangezogenen Jahre, um, laut Umweltbundesamt, spezifische Entwicklungen der Aktivitäten zu berücksichtigen und mit historisch vergleichbaren Zuständen abzugleichen.

- 20 Für die jeweiligen Brennstoffkategorien hat das Umweltbundesamt folgende aggregierte Emissionsfaktoren für die Vorjahresschätzung 2021 verwendet: Mineralöl 60,8 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2005-2018); Erdgas 53,2 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2005-2018); Steinkohle 99,4 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2009-2010); Braunkohle 107,9 kt CO₂/PJ (Mittelwert 2017-2018). Diese impliziten (mittleren) Emissionsfaktoren für das Aggregat der Brennstoffkategorien entsprechen den Durchschnitten ausgewählter Jahre, in denen die Nutzung des Primärenergieverbrauchs ähnlich zum Berichtsjahr ausfiel. Bei den Kohlesorten ist das Umweltbundesamt von der Nutzung eines langjährigen Mittels wie bei Mineralöl und Erdgas (2005-2018) abgewichen. Im Bereich der Braunkohle kam es laut Umweltbundesamt in den letzten Jahren zu Verschiebungen zwischen den Revieren, sodass es systematische Veränderungen der Emissionsfaktoren gab. Ein Durchschnitt der Jahre ab 2017 bietet sich hier am besten an, da die Verschiebung zwischen den Revieren seit 2017 relativ stabil sei. Im Bereich der Steinkohle schwankte der aggregierte Emissionsfaktor stark und sei beispielsweise abhängig von Verhältnissen zwischen Eisen- und Stahlproduktion in der Kraftwirtschaft. Ein Durchschnitt aus 2009 und 2010 wurde hier gewählt, weil in diesen Jahren ein ähnliches Verhältnis dieser Größen vorlag und der Emissionsfaktor daher dem des Jahres 2020 ähnelte.
- 21 Ob diese Auswahl für die tatsächlichen Emissionsfaktoren des Jahres 2020 repräsentativ ist bzw. dem tatsächlichen Wert bestmöglich nahekommt, kann in der Kürze der für die Erstellung dieses Berichts zur Verfügung stehenden Zeit nicht beurteilt werden. Schwankungen in aggregierten Emissionsfaktoren ergeben sich einerseits durch Veränderungen in den sektoralen Anteilen. Diesem Umstand wurde durch die Auswahl der Jahre Rechnung getragen. Andererseits entstehen Schwankungen durch Änderungen in den brennstoffspezifischen Emissionsfaktoren. Auf Basis des Nationalen Inventarberichts 2021 und den Angaben zu brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren schwankten die Emissionsfaktoren im Zeitraum von 2010 bis 2018 jährlich im Schnitt um 0,27% für Kraftwerks-Rohsteinkohle, 0,24% für Fernheizkraftwerks-Rohbraunkohle und 0,06% für Erdgas. Zudem wurden die Annahmen zu Emissionsfaktoren im Zeitverlauf auf Basis neuer Erkenntnisse nachträglich korrigiert. Im Zeitraum von 2010 bis 2018 ergaben sich nachträgliche Korrekturen in Höhe von bis zu 0,56% für Kraftwerks-Rohsteinkohle, 1,4% für Fernheizkraftwerks-Rohbraunkohle und 0,17% für Erdgas.
- 22 Emissionen ergeben sich auf der einen Seite aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe (energetisch und in Prozessen). Die zugehörigen Emissionsfaktoren können gut gemessen werden. CO₂-Emissionsfaktoren vieler Brennstoffe werden von Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) abgeleitet. Dort liegen gemessene Werte zu den CO₂-Emissionen sowohl zu Brennstoffen unterschiedlicher Herkunft als auch bei unterschiedlichen Anwendungen vor. Weil die Zusammensetzung der Herkunft und der Anwendung in der Regel geringen Schwankungen unterliegt, lassen sich repräsentative Emissionsfaktoren gut von diesen Daten ableiten und weisen eine geringe Unsicherheit auf. Auf der anderen Seite entstehen weitere Emissionen prozessbedingt, wie zum Beispiel in den Sektoren Abfall und Landwirtschaft. 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 2020a, S.715). 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 gemessenen Emissionsfaktoren verwendet. Das Umweltbundesamt gibt hier folglich eine sehr hohe Unsicherheit für die Emissionsfaktoren an (UBA 2020a, S.716) (siehe Kapitel 4).

2.2.2 Primärenergie- und Mineralöl Daten

- 23 Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen veröffentlicht Daten zum Primärenergieverbrauch in Deutschland. Diese geben Auskunft über den Verbrauch von fossilen Energien sowie der Energiebereitstellung erneuerbarer Energien. Die von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 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 Inventarbericht und im Bundes-Klimaschutzgesetz.
- 24 Eine erste Schätzung des Primärenergieverbrauchs wird im Dezember des laufenden Bilanzjahres veröffentlicht (AGEB 2020c, 2020b). Die Datengrundlage dieser Schätzung besteht im Wesentlichen aus Veröffentlichungen von Verbänden, da amtliche Statistiken zu diesem Zeitpunkt nur begrenzt vorliegen. Zudem werden die Dezember-Werte geschätzt, da Monatsstatistiken zum Verbrauch im Dezember noch nicht vorliegen können. Im Juni des auf das Bilanzjahr folgenden Jahres wird eine vorläufige Energiebilanz veröffentlicht, die ebenfalls den Primärenergieverbrauch ausweist und auf aktualisierten sowie weiteren 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. Sie umfasst ebenfalls eine Aktualisierung der Daten des Primärenergieverbrauchs. Die endgültige Energiebilanz basiert zusätzlich auf amtlichen Statistiken zu Umwandlungsprozessen, zum Verbrauch von Industriekraftwerken und zur Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die einzelnen Sektoren. Bis auf einige Ausnahmen wie beispielsweise den Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen oder Aktivitäten der Kokereien, für die keine amtlichen Statistiken erstellt werden, beruht diese Energiebilanz nicht auf Schätzungen.
- 25 Aufgrund des zeitlichen Ablaufs konnte für die Zwecke der Vorjahresschätzung für 2020 also nur die sektorenunspezifische, vorläufige Schätzung der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen aus dem Dezember 2020 herangezogen werden (AGEB 2020b). Eine Betrachtung der nachträglichen Korrekturen für den Zeitraum 2010-2018 zeigt, dass die Korrekturen der Primärenergiebilanz für die einzelnen Energieträger unterschiedlich hoch ausfielen (siehe Anhang A.1.1). Der Primärenergieverbrauch für die Energieträger Braunkohle und Mineralöl wurde nachträglich regelmäßig weniger stark korrigiert. Im Vergleich dazu wurde der Primärenergieverbrauch für die Energieträger Steinkohle und Erdgas nachträglich des Öfteren auch in höherem Maße korrigiert.⁵ Die unterschiedlich gute Abschätzbarkeit

⁵ Je nach Energieträger liegen zum Teil systematische 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.

des Primärenergieverbrauchs auf Ebene der Brennstoffkategorien lässt sich vor allem auf die unterschiedliche Güte der entsprechenden Datenquellen zurückführen.⁶

- 26 Zur finalen Einschätzung des Primärenergieverbrauchs nutzt das Umweltbundesamt zusätzlich zur Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen weitere Datenquellen und Informationen, die bis März bereitstehen sowie auf diesen basierende Experteneinschätzungen. So wird die Angabe zum Primärenergieverbrauch von Erdgas mit der Entwicklung in der Monatserhebung für die Gasversorgung von Destatis verglichen (Destatis 2021a), wodurch es zu einer abweichenden Einschätzung kommen kann. Für den Energieträger Steinkohle wird die Stahlproduktion mit der Angabe der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen verglichen (siehe Kapitel 2.3.2). Für den Energieträger Mineralöl erfolgt ein Abgleich mit der Amtlichen Mineralölstatistik (siehe Randziffern 27 ff.) und für Braunkohle nutzt das Umweltbundesamt weitergehende inoffizielle Abschätzungen des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Verein e.V.. Darüber hinaus werden weitere Daten wie beispielsweise die Erzeugung erneuerbarer Energien ausgewertet. All diese Informationen werden genutzt, um Änderungen an den Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen aus dem Dezember 2020 (AGEB 2020b) vorzunehmen.
- 27 Die Amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2021) findet Eingang in die Berechnungen aller Sektoren außer die Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges. Auf Basis des Mineralöldatengesetzes erhebt das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle monatlich Daten zur Geschäftstätigkeit von Unternehmen, die auf dem Mineralölmarkt tätig sind. Die Amtliche Mineralölstatistik berichten somit eine Zusammenfassung der Meldung aller Unternehmen, welche Mineralölprodukte handeln, fördern und produzieren. Die Amtliche Mineralölstatistik enthält Daten zu Mineralölabsätzen, nicht aber zum Mineralölverbrauch. Durch niedrige Ölpreise oder andere Effekte kann es dadurch zu Verschiebungen zwischen dem Absatz, der berichtet wird, und dem tatsächlichen Verbrauch innerhalb des Bilanzjahres kommen (siehe dazu Randziffer 15). Die Unsicherheit der Abgänge und Inlandslieferungen lag in den Jahren 2018-2020 zwischen 0,03% und 0,59% und wird als statistische Differenz in den Tabellen mit angegeben.
- 28 Zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung war die Amtliche Mineralölstatistik für das Jahr 2020 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 genutzt werden, werden für die Vorjahresschätzung der Emissionsdaten die Anteile der Sektoren aus dem ersten Nationalen Inventarbericht fortgeschrieben.

2.2.3 Aktivitätsdaten in den Sektoren

- 29 Für die Energiewirtschaft werden drei Datensätze verwendet. Zum einen sind dies die Daten zum Primärenergieverbrauch der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB 2020c). Zum zweiten wird die Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2021b) verwendet, welche auf Angaben der Betreiber von Elektrizitätserzeugungsanlagen basiert und vom statistischen Bundesamt

⁶ Die Braunkohlestatistik sowie die Amtlichen Mineralöldaten 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.

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 die kurzfristige 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 Vorjahresschätzung der Emissionsdaten für 2020 berücksichtigt den Stand der Statistik aus dem Februar 2021. Die Daten zu Aktivitäten im Bereich der Braunkohle sind die dritte Datenquelle (Kohlenstatistik e.V. 2019). Sie stammen vom Deutschen Braunkohlen-Industrie-Verein e.V.. Der Verein fasst von den Betrieben gemessene Werte zur Förderung und Verarbeitung monatlich zusammen. Nach eigenen Angaben liegt der nachträgliche Korrekturbedarf zumeist unter 1%. Diese Daten liegen für das Jahr 2020 vollständig vor.

- 30 Der Industriesektor setzt sich aus vielen Einzelprozessen zusammen, s verschiedene Datensätze zur Abschätzung der Produktionsmengen genutzt werden. Dies sind meist Daten 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 und der Stahl- und Roheisenerzeugung werden Produktionsstatistiken der Verbände genutzt (Wirtschaftsvereinigung Metalle 2020; Wirtschaftsvereinigung Stahl 2021). Diese liegen zum Zeitpunkt der Schätzung vollständig vor. Für die Abschätzung der Emissionen aus weiteren Produktionsprozessen liegen nicht alle Datensätze bereits vollständig vor und es werden zum Teil Daten aus dem Vorjahr fortgeschrieben. Für mehr Details wird hier auf Kapitel 2.3.2 verwiesen.
- 31 Im Gebäudesektor nutzt das Umweltbundesamt für die Vorjahresschätzung neben der Amtlichen Mineralölstatistik (BAFA 2021) auch Daten zu Gasabsätzen nach Sektoren, welche jährlich durch den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft veröffentlicht werden (Kiesel 2020). 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 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft einige Annahmen getroffen, zum Beispiel zur Zuordnung des Absatzes bestimmter Arten von Gasen zu einzelnen Sektoren. Die durchschnittliche Abweichung zwischen diesen vorläufigen Berechnungen und später zur Verfügung stehenden Daten betrug historisch ca. 3%.
- 32 Für den Verkehrssektor liefert die Amtliche Mineralölstatistik (BAFA 2021) die Menge der in Deutschland abgesetzten Kraft- und Treibstoffe für 2020. Die Mengen werden über die treibstoffspezifischen Heizwerte gemäß Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen von 2018 in Aktivitätsdaten umgerechnet. Für den Schienen- und Schiffsverkehr werden die Aktivitätsdaten aus dem letzten Nationalen Inventarbericht übernommen und teilweise mithilfe von Expertenschätzungen für das Jahr 2020 angepasst. Außerdem standen für den Verkehrssektor weitere Daten zur Verfügung, insbesondere anonymisierte GPS-Daten des Datenanbieters Inrix zum PKW- und LKW-Verkehr (siehe Kapitel 3.4)
- 33 Für den Sektor Landwirtschaft werden drei Fachserien des Statistischen Bundesamtes herangezogen: die Statistiken zu den Tierzahlen (Destatis 2020e), zur Düngemittelversorgung (Destatis 2020g) und zu Anbaufläche und Ernte von Feldfrüchten (Destatis 2020f) . Die beiden Erstgenannten basieren auf einer Vollerhebung der jeweiligen Betriebe und die Dritte basiert auf einer Kombination aus Schätzung, Erhebung und Hochrechnung. Für die Tierzahlen und die Feldfrüchte liegen zum Zeitpunkt der

Vorjahresschätzung vorläufige Daten vollständig vor, allerdings noch keine konsolidierten Werte. Die Daten für die Düngemittelversorgung liegen für das letzte Wirtschaftsjahr vollständig vor, das den Zeitraum der Monate Juli bis Juni abdeckt, damit sind alle benötigten Daten für die Berechnung der Emissionen aus Mineräldüngereinsatz und Kalkung für das Vorjahr vorhanden (UBA 2021d).

- 34 Die Schätzung im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges beruht ebenfalls auf Daten des Statistischen Bundesamtes. Aktivitätsdaten zur Abfalldeponierung, der biologischen Abfallbehandlung sowie der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (Destatis 2019a) werden in den Monaten Juli/August zwei Jahre nach dem Berichtsjahr der Vorjahresschätzung der Emissionsdaten veröffentlicht, sodass zum jetzigen Zeitpunkt Daten für 2017 vorliegen und die Werte für 2020 auf Basis dieser Daten extrapoliert werden. Die Extrapolation wurde erstmalig für die Vorjahresschätzung 2020 angewendet. Zuvor wurden die Aktivitätsdaten lediglich fortgeschrieben. Die Verfahrensumstellung erzeugt laut Umweltbundesamt in nahezu allen Fällen bessere Ergebnisse (UBA 2021e, S. 17). Die meisten Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges entstammen der Abfalldeponierung. Bei diesem Posten spielen bereits deponierte Abfälle eine deutlich größere Rolle als neu hinzukommende Abfalldeponierungen, sodass die Aktualität der Daten weniger stark ins Gewicht fällt. Die Anzahl an abflusslosen Gruben wird alle drei Jahre veröffentlicht, und zwar zwei Jahre nach Ablauf des Jahres der Zählung, sodass die für die Vorjahresschätzung verwendeten Daten bis zu fünf Jahre zurück liegen können.
- 35 Insgesamt liegen an vielen Stellen zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung der Emissionsdaten keine aktuellen Aktivitätsdaten vor, so diese auf andere Weise gewonnen werden müssen, wobei die verwendeten Ansätze teilweise auch kombiniert werden. So werden für die Vorjahresschätzung für 2020 an einigen Stellen die Aktivitätsdaten aus dem ersten Inventarbericht für das Jahr 2019 fortgeschrieben. 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 aus Vorjahren bekannt ist, dass es in diesem Subsektor zu nahezu keinen Änderungen der Emissionen zwischen einzelnen Jahren kommt. Daneben werden zusätzlich Expertenschätzungen herangezogen, wenn keine Aktivitätsdaten vorliegen, zugleich aber eine größere Änderung der Aktivitätsdaten erwartet wird. Hierbei kann es sich sowohl um Expertinnen und Experten aus dem Umweltbundesamt als auch externe Experten und Expertinnen, 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 Vorjahresschätzung befinden sich in A.1.2 des Anhangs zu diesem Bericht.

2.3 Vorgehensweise

2.3.1 Iteratives Vorgehen zur sektoralen Aufteilung des Primärenergieverbrauchs

- 36 Der Primärenergieverbrauch bietet einen ersten Anhaltspunkt für die Abschätzung der Emissionen derjenigen Sektoren, deren Emissionen sich aus der Primärenergieumsetzung ergeben. Anhand des

Primärenergieverbrauchs erstellt das Umweltbundesamt eine sektorenübergreifende Emissionsschätzung (Top-Down), welche zum Abgleich mit den sektorspezifischen Bottom-Up Schätzungen dient. Wie oben (Kapitel 2.2.1) beschrieben, werden implizite (mittlere) Emissionsfaktoren für das Aggregat der Brennstoffkategorien verwendet. Die Emissionsfaktoren für das Aggregat entsprechen dabei Durchschnittswerten ausgewählter Jahre, in denen die Nutzung des Primärenergieverbrauchs ähnlich zum Berichtsjahr ausfiel. Die Summe der Schätzungen der sektorspezifischen Emissionen (Bottom-Up) sollte mit der Einschätzung des Umweltbundesamtes zum Primärenergieverbrauch (Top-Down) übereinstimmen (siehe Kapitel 2.2.2).

- 37 Aufgrund der vielfältigen Abgrenzungsprobleme bei der Aufteilung der Aktivitätsdaten auf die einzelnen Sektoren (vgl. Kapitel 2.2.3) ist nachvollziehbar, dass die Top-Down- und Bottom-Up-Ansätze nicht im ersten Schritt zu einer zufriedenstellenden Übereinstimmung führen. Daher werden die Emissionen aus der sektorspezifischen Schätzung und die Emissionen aus der sektorenübergreifenden Schätzung in einem iterativen Verfahren aufeinander angepasst. In diesem Verfahren wird die Wahl der Emissionsfaktoren für die aggregierten Brennstoffkategorien anhand der sektorspezifischen Emissionsschätzungen überprüft. Gleichzeitig werden besonders schlecht schätzbare Werte auf Sektorebene derart angepasst, dass sie den Top-Down ermittelten Emissionen möglichst nahekommen. Das Umweltbundesamt trifft dabei u.a. eine Wahl bezüglich der Jahre für die Ermittlung der verwendeten durchschnittlichen Emissionsfaktoren (siehe Kapitel 2.2.1). Differenzen zwischen der Top-Down Schätzung der Emissionen auf Basis der Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und der sektoralen Schätzung (Bottom-Up) können bestehen bleiben. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn das Umweltbundesamt die Daten zum Primärenergieverbrauch gegenüber den AGEB-Daten unter Nutzung weiterer Datenquellen und Expertenschätzungen anpasst (vgl. Kapitel 2.2.2 und Kapitel 3.2.1).

2.3.2 Vorgehensweise in den Sektoren

- 38 Im Sektor Energiewirtschaft entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen (98,6%) der CRF Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“, für welche Aktivitätsdaten unter anderem durch die Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2021b) gegeben sind. Alle weiteren Posten haben einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtemissionen. Für die Fernheizwerke werden die Aktivitätsdaten über die Gradtagzahlen berechnet. Dieser vereinfachte Ansatz wird mit der geringen Emissionsrelevanz gerechtfertigt. Für die Schätzung der Emissionen aus den Raffinerien können die Aktivitätsdaten aus den amtlichen Mineralöldata 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); auch dieser Subsektor ist emissionstechnisch weniger relevant. 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.

- 39 Der größte Anteil der Emissionen im Industriesektor entstammt der Quellkategorie CRF 1.A.2 „Verarbeitendes Gewerbe, industrielle Feuerungen“ mit rund zwei Dritteln. Für die Bestimmung der Stromerzeugung aus Industriekraftwerken wird die Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung, bekannt aus der Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung, von der seitens der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen veröffentlichten Gesamtstromerzeugung abgezogen und die Differenz dem Industriesektor zugeordnet. Für die Wärmeerzeugung, die eine weit größere Rolle spielt, liegen jedoch keine Informationen vor. Deswegen werden Strom- und Wärmeerzeugung korreliert. Die Aktivitätsdaten der Stahl- und Roheisenerzeugung sowie der chemischen Industrie liegen vor, sodass die Emissionen aus den Brennstoffeinsätzen berechnet werden können. Der Einsatz von Mineralöl wird über die amtlichen Mineralölstatistiken erfasst, der Gasabsatz über die Gasabsatzdaten des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft. Diese liegen jedoch nicht sektorenspezifisch vor, weshalb die relative Aufteilung des Mineralöl- und Gasabsatzes zwischen Industrie und Gebäudesektor aus dem Vorjahr übernommen wird. Die beiden anderen größten Emittenten sind die Prozessemissionen aus der mineralischen Industrie (CRF 2.A) und der Metallindustrie (CRF 2.C) mit je einem Zehntel an den Gesamtemissionen des Industriesektors. Für die Metallindustrie liegen Aktivitätsdaten vor. Die in der Vorjahresschätzung für 2020 ausgewiesenen Emissionen aus der mineralischen Industrie beruhen dagegen größtenteils auf Expertenschätzungen. In den weiteren CRF Kategorien liegen entweder Verbands- oder Herstellerangaben vor oder es wird auf Expertenschätzungen zur Bestimmung der Aktivitätsdaten zurückgegriffen. Auch für die Prozessemissionen aus der mineralischen Industrie sind zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung weder Verbandsdaten noch Daten des Statistischen Bundesamtes vollständig verfügbar. Für die Emissionen aus dem Zementklinkerbrennen und der Branntkalkherstellung werden die zuletzt verfügbaren Verbandsdaten für 2019 mit der relativen Entwicklung aus den Destatis Daten von 2019 nach 2020 für die ersten drei Quartale angepasst. Für das vierte Quartal wird eine Expertenschätzung durchgeführt. Gleiches gilt für die Glasherstellung und das Keramikbrennen.
- 40 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. 93,5%). Die entsprechenden Aktivitätsdaten können aus der amtlichen Mineralölstatistik 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 der Sektoren Industrie und Gebäude am Absatz werden aus dem Vorjahr übernommen. Eine Konsistenzprüfung der genutzten Anteile in den einzelnen Sektoren wird laut Umweltbundesamt durchgeführt. Für die Bestimmung des Gasabsatzes wird der absolute Endenergieverbrauch an Gas aus der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen für 2019 für Haushalte sowie für Gewerbe, Handel, Dienstleistung mit der Änderung des Absatzes in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung von 2019 nach 2020 aus den Gasabsatzzahlen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft angepasst. 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 betragen ca. 1% der Gesamtemissionen des Gebäudesektors. Sie werden aus dem

ersten Nationalen Inventarbericht 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 der amtlichen Mineralölstatistik aufgeführt. Somit können die Treibhausgasemissionen direkt berechnet werden.

- 41 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 ist daher wiederum die Amtliche Mineralölstatistik, welche die Menge der in Deutschland abgesetzten Kraft- und Treibstoffe angibt. Diese Mengen werden über die treibstoffspezifischen Heizwerte gemäß Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen von 2018 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. Für die Abschätzung der Emissionen des zivilen innerdeutschen Flugverkehrs (CRF Kategorie 1.A.3.a) werden die Gesamt-Energiemengen aus der Amtlichen Mineralölstatistik mithilfe von sogenannten Splitfaktoren aus dem Modell TREMOD Aviation⁷ in nationale und internationale Anteile aufgeteilt. Für die Berechnung des Brennstoffverbrauchs des Schienenverkehrs (CRF Kategorie 1.A.3.c) wird der Vorjahreswert abzüglich 3,5% basierend auf Angaben der Deutsche Bundesbahn AG übernommen. Der Schiffsverkehr (CRF Kategorie 1.A.3.d) setzt sich aus zwei Posten zusammen, der Binnenschifffahrt und dem nationalen Seeverkehr. Die Emissionen des Nationalen Seeverkehrs werden aus dem Vorjahr übernommen. Für die Emissionen der Binnenschifffahrt wurde basierend auf Expertenschätzungen eine Abnahme des Dieselverbrauchs um 10% im Vergleich zum Vorjahr angenommen. 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 THG-Emissionen auf spezifische Verbrauchszeitreihen gemäß eines aus TREMOD (UBA 2020a) 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.
- 42 Für die Berechnung der Emissionen des Landwirtschaftssektors (CRF Kategorie 3) in der Vorjahresschätzung wird das Modell Gas-EM des Thünen Instituts verwendet, welches auch für die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Nationalen Inventarbericht Anwendung findet (Rösemann et al. 2021). Auf Basis von Viehbeständen und Leistungsdaten berechnet das Modell die Futtermittelaufnahme der Tiere und auf Basis dessen den Methan- und Stickstoffausstoß. 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 2.2.3 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 1.A.4.c) sind im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen enthalten. Sie werden zunächst dort mit berechnet und dann mit dem aus dem Vorjahr übernommenen Anteil aus dem

⁷ Direkte Information vom Umweltbundesamt, basierend auf TREMOD Aviation Modell vom Ifeu Institut und Öko-Institut, UBA (2012).

Sektor Gebäude herausgerechnet und dem Landwirtschaftssektor zugerechnet. Die THG-Emissionen der mobilen Emissionsquellen werden aus dem Vorjahr übernommen.

- 43 Die Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden vor allem durch die Deponierung (CRF Kategorie 5.A) bestimmt (76%) und hier vor allem durch historische Deponierungen. In diesem Sektor werden vor allem Aktivitätsdaten aus den Vorjahren extrapoliert und mit historischen Emissionsfaktoren verrechnet. Dies ist dadurch begründet, dass die genutzten Datenquellen zum einen frühestens zwei Jahre nach Ablauf des Berichtsjahres veröffentlicht werden und auch nicht alle Daten jedes Jahr erhoben werden. Zudem wird darauf verwiesen, dass die Änderungen in den Daten in der Vergangenheit gering gewesen seien. Die Emissionen aus Kläranlagen (in CRF Kategorie 5.D.1) werden fortgeschrieben. Für die Berechnung der Emissionen aus der Abfalldéponierung (CRF Kategorie 5.A) wird ein Modell des IPCC genutzt, welches auf Basis der verschiedenen Müllfraktionen die Methan-Emissionen der Déponierung bestimmt. Der Posten Abfallverbrennung (CRF Kategorie 5.C) entfällt, weil die Abfallverbrennung in Deutschland ausschließlich mit 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) können vernachlässigt werden, da diese unter den Grenzwerten liegen, ab denen Emissionen berichtet werden müssen.

Abbildung 2 Zusammenfassende Darstellung der für die Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen genutzten Methoden und deren Anwendung auf die jeweilige CRF-Kategorie

Methode zur Bestimmung AD	Energiewirtschaft	Industrie	Gebäude	Verkehr	Landwirtschaft	Abfallwirtschaft
Übernahme aus 1. NIR	CRF 1.A.1 CRF 1.B	CRF 2.C CRF 2.D	CRF 1.A.4 a/b i CRF 1.A.4 a/b ii	CRF 1.A.3.c CRF 1.A.3.d	CRF 1.A.4. c	CRF 5.D.1
Expertenschätzung		CRF 2.E/F/G CRF 2.A CRF 2.B		CRF 1.A.3.c CRF 1.A.3.d		
(Mess-)daten aus 2020	CRF 1.A.1 CRF 1.B	CRF 1.A.2 CRF 2.B CRF 2.C CRF 2.D CRF 2. G	CRF 1.A.4 a/b i CRF 1.A.5 a	CRF 1.A.3.a CRF 1.A.3.b	CRF 3	
Extrapolation aus historischen Daten		CRF 2.D				CRF 5.A CRF 5.B CRF 5.E.1
Modellberechnung	CRF 1.B				CRF 3	CRF 5.D.1
Korrelation mit anderen Aktivitätsdaten	CRF 1.A.3.e CRF 1.B					

AD = Aktivitätsdaten

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes

2.4 Fazit

- 44 Nur ein Teil der für die Vorjahresschätzung herangezogenen Daten beruht auf echten Messungen und auch diese haben teilweise noch vorläufigen Charakter. Ein weitaus größerer Teil beruht auf Schätzungen unterschiedlicher Institutionen. Insbesondere bei der Aufteilung sektorenübergreifender Primärdaten auf einzelne der im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren müssen in vielfältiger Form Annahmen getroffen werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand nutzt das Umweltbundesamt nahezu alle relevanten und zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung verfügbaren Daten. Eine Ausnahme bildet der Sektor Verkehr, in dem weitere Datenquellen verfügbar wären (siehe Kapitel 3.3.2).
- 45 Das methodische Vorgehen des Umweltbundesamtes zur Ermittlung der Emissionsdaten für die Vorjahresschätzung ist konsistent mit der Inventarberichterstattung. Aufgrund des vorläufigen Charakters der genutzten Datenquellen sind zusätzliche methodische Anpassungen bei der Bearbeitung der Daten erforderlich. Die Vorjahresschätzung verwendet grundsätzlich dieselbe Methode wie der Nationale Inventarbericht und folgt damit den internationalen Vorgaben.
- 46 Die Aussagekraft der Vorjahresschätzung ist durch die mangelnde Verfügbarkeit von Datenquellen zum frühen Zeitpunkt ihrer Erarbeitung gegenüber späteren Versionen des Nationalen Inventarberichts grundsätzlich eingeschränkt. Die vom Umweltbundesamt veröffentlichten Emissionsdaten für das Jahr 2020 müssen in allen Sektoren und in der Summe als vorläufig betrachtet werden. Auf Grundlage der bisherigen Erfahrungen kann erwartet werden, dass es mindestens bis zur Inventarberichterstattung über das Jahr 2020 im Jahr 2023 (zweiter Inventarbericht für 2020) noch zu Anpassungsbedarf an den in der Vorjahresschätzung genannten Zahlen kommen wird (vgl. Kapitel 4.2).
- 47 Für sektorspezifische Emissionsfaktoren nutzt das Umweltbundesamt in der Vorjahresschätzung die Angaben des vorherigen Jahres. Für Emissionsfaktoren aggregierter Brennstoffkategorien wird ein iteratives Verfahren angewandt. Insgesamt erscheint das Vorgehen des Umweltbundesamtes vor dem Hintergrund des Zeitdrucks bei der Erstellung der Vorjahresschätzung sowie der eingeschränkten Datenlage der Aufgabenstellung angemessen.
- 48 Eine Verbesserung der Vorjahresschätzung durch eine frühere Verfügbarmachung wesentlicher Daten, Erschließung weiterer Datenquellen und einer Erweiterung der Methoden würde zu einer genaueren Analyse der jährlichen Emissionsmengen beitragen. Angesichts der großen Relevanz der Sektorenbezogenen Werte der Treibhausgasemissionen der Vorjahresschätzung für die Entwicklung von Sofortprogrammen im Sinne des § 8 Abs. 1 KSG sollte sich die Erfassungsmethodik auf weitere Datenquellen stützen und wenn möglich auf weitere unabhängige Erhebungsmethoden wie z.B. eine Ermittlung von Emissionswerten auf Basis physikalischer Messungen zurückzugreifen. Eine systematische Analyse der Ursachen für die Korrekturbedarfe in der Vergangenheit wäre hilfreich, um Aufschluss darüber zu erlangen, wo wesentliche Gründe für nachträglich erfolgte Korrekturen der im März berichteten Emissionsdaten lagen (siehe hierzu Kapitel 8.1).

3 Prüfung

3.1 Einleitung

- 49 In der Vorjahresschätzung weist das Umweltbundesamt Schätzungen der Emissionen für Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄) für 28 Quellgruppen aus. Zusätzlich sind energiebedingte, brennstoffspezifische CO₂-Emissionen sowie die Emissionen aus fluorierten Treibhausgasen (F-Gase) angegeben. In Summe enthält die Vorjahresschätzung Emissionsangaben zu 92 Einzelkategorien. Die verwendeten Daten und Methoden unterscheiden sich dabei je Treibhausgas und Quellgruppe. Für viele Quellgruppen werden zudem eine Vielzahl von Datenquellen und komplexe Modelle genutzt, um die Emissionen zu bestimmen. Eine vollständige, systematische Dokumentation aller Datenquellen und Rechenschritte für den komplexen Vorgang der Vorjahresberichtserstellung ist daher naturgemäß nicht leistbar. Vor dem Hintergrund der begrenzten Zeit für die Erstellung dieses Berichts sowie der beschriebenen Komplexität ist eine eingehende Prüfung der gesamten Vorjahresschätzung nicht möglich.
- 50 Um die zentralen Ergebnisse der Vorjahresschätzung zu validieren, wurden einerseits die CO₂-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch (ca. 89% der angegebenen CO₂-Emissionen ohne LULUCF⁸) nachvollzogen. Andererseits wurden vertiefend die CO₂-Emissionen aus denjenigen Quellgruppen untersucht, die einen großen Anteil der CO₂-Emissionen auf sich vereinen (71% der angegebenen CO₂-Emissionen ohne LULUCF).⁹ Die Emissionen aus Methan, Lachgas sowie F-Gasen machen in Summe 13% der gesamten angegebenen Treibhausgasäquivalente aus. Für diese Emissionen ist die Prüfung besonders schwierig, da Emissionen hier überwiegend nicht an einen Brennstoffeinsatz gekoppelt sind, sondern abhängig von der Anwendung, Technologie sowie Betriebsweise entstehen. Das Umweltbundesamt nutzt zur Ermittlung dieser Werte für viele Quellgruppen Modelle, die auf eine Vielzahl von Zeitreihen zurückgreifen. Deshalb konnte das Umweltbundesamt dem Expertenrat für Klimafragen angefragte Daten zur Berechnung der diffusen Methan-Emissionen aus Brennstoffen (CRF Kategorie 1.B) und Lachgas-Emissionen im Straßenverkehr (CRF Kategorie 1.A.3.B) in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht bereitstellen.¹⁰ Eine Prüfung war somit nicht möglich.
- 51 Zur stichprobenartigen Prüfung der CO₂-Emissionen wurden drei unterschiedliche Ansätze genutzt. Einerseits wurden die CO₂-Emissionen entsprechend der vom Umweltbundesamt bereitgestellten Methodenbeschreibung ohne weitere Hilfestellungen durch das Umweltbundesamt nachgerechnet. Diese Art der Prüfung erfolgte für die Emissionen aus dem gesamten Primärenergieverbrauch sowie für die Emissionen der Quellgruppe Energiewirtschaft (CRF Kategorie 1.A.1). Für die Emissionen aus stationären Feuerungsanlagen im Sektor Gebäude (CRF Kategorien 1.A.4.a.i und 1.A.4.b.i)¹¹ und dem Straßenverkehr (CRF Kategorie 1.A.3.b) wurde die Rechnung im persönlichen Austausch mit dem Umweltbundesamt nachvollzogen (Kapitel 3.3). Vielfach muss das Umweltbundesamt bei der

⁸ LULUCF steht für „Land use, land use change and forestry“, im Bundes-Klimaschutzgesetz Sektor 7 „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“

⁹ Die angefragten Daten zur Prüfung der Emissionen im verarbeitenden Gewerbe (CRF 1.A.2) konnten vom Umweltbundesamt aufgrund von Geheimhaltungsverpflichtungen nicht bereitgestellt werden und wurden nicht geprüft.

¹⁰ Für den Gebäudesektor nutzt das UBA einen vereinfachten Ansatz und konnte dem Expertenrat die Datengrundlage zu Methan- und Lachgas-Emissionen zusätzlich zu den angefragten Daten bereitstellen.

¹¹ Für den Gebäudesektor wurde die Summe aus CO₂, Methan und Lachgasemissionen geprüft.

Verarbeitung der Primärdaten zur Vorjahresschätzung Annahmen treffen, die nicht oder nicht vollständig aus der Methodenbeschreibung des Umweltbundesamtes rekonstruiert werden konnten. Derartige nicht dokumentierte Prozessschritte wurden vom Umweltbundesamt erfragt und in die hier vorgenommenen Nachrechnungen entsprechend einbezogen. Zusätzlich wurden die CO₂-Emissionen der Quellgruppe Straßenverkehr mithilfe eines alternativen Ansatzes sowie anderen Daten berechnet und die Angaben des Umweltbundesamtes hierdurch plausibilisiert (Kapitel 3.4).

3.2 Prüfung durch Nachrechnen

3.2.1 Primärenergieverbrauchsbedingte CO₂ Emissionen

- 52 Das Umweltbundesamt hat mit der in Randziffer 22 ff. beschriebenen Methode aggregierte Brennstoff-Emissionsfaktoren für das Jahr 2020 ermittelt. Verrechnet man diese mit den Angaben zum Brennstoff-Mix aus der vorläufigen, aktualisierten Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB 2021), erhält man einen Schätzwert für alle Emissionen, die im Zusammenhang mit der Nutzung von Primärenergie entstanden sind (energetisch, prozessbedingt und diffus). Dieser ergibt sich rechnerisch zu 601,4 Mt CO₂.
- 53 Die Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes gibt CO₂-Emissionen aus Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und Mineralöl in der CRF Kategorie 1.A (energiebedingte Emissionen) an. Sie belaufen sich in Summe auf 574,8 Mt CO₂. Zusätzlich entstehen prozessbedingte Emissionen aus Braun-, Steinkohle, Erdgas und Mineralöl. Diese Emissionen sind in (UBA 2021c) jedoch nicht nach Energieträgern aufgeteilt angegeben. Überschlägig kann man davon ausgehen, dass diese vermutlich überwiegend in der CRF Kategorie 2.B (Chemische Industrie), der CRF Kategorie 2.C (Herstellung von Metallen) sowie in der CRF Kategorie 1.B (Diffuse Emissionen aus Brennstoffen) anfallen. Die CO₂ Emissionen dieser Kategorien betragen laut Umweltbundesamt (UBA 2021c) 24,4 Mt CO₂. Die Summe aus diesen Kategorien beträgt also in der Vorjahresschätzung 599,2 Mt CO₂.
- 54 Die verbliebene Differenz zu den Emissionen aus der Top-Down-Berechnung aus Primärenergiebilanz und aggregierten Emissionsfaktoren beträgt somit 2,2 Mt CO₂. Diese Differenz kann vermutlich – zumindest teilweise oder möglicherweise auch gänzlich – durch Abgrenzungsprobleme erklärt werden. Das Umweltbundesamt akzeptiert Differenzen zwischen der Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und der sektoralen Emissionsschätzung, sofern diese durch weitergehende Informationen, Plausibilisierung und Experteneinschätzungen erklärt werden können (siehe Kapitel 2.3.1). In welchem Umfang und in welche Richtung diese zu einer Anpassung der Werte des Primärenergieverbrauchs durch das Umweltbundesamt geführt haben, konnte in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht im Einzelnen nachvollzogen werden. Insgesamt kann somit festgestellt werden, dass die Aufteilung der Brennstoffverbräuche auf die Unterkategorien in Verbindung mit der iterativen Methode zur Ermittlung der Emissionen und der aggregierten Emissionsfaktoren in der Vorjahresschätzung grundsätzlich nachvollziehbar ist, dass eine genaue Überprüfung dem Expertenrat aber nicht möglich war.

3.2.2 Energiewirtschaft (CRF Kategorie 1.A.1)

- 55 Auf Basis der vom Umweltbundesamt bereitgestellten Informationen wird die Schätzung der CO₂-Emissionen stichprobenartig im Energiesektor überprüft und nachvollzogen. Die Prüfung wird für die CRF Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ vorgenommen, welche den größten Teil (98,6%) der Emissionen im Sektor Energiewirtschaft ausmacht.
- 56 Die CRF Kategorie 1.A.1 unterteilt sich in die Unterkategorien 1.A.1.a „Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“, 1.A.1.b „Mineralölraffinerien“ und 1.A.1.c „Herstellung von festen Brennstoffen“. In der Vorjahresschätzung sind die Emissionen jedoch nur für die Kategorie 1.A.1 aggregiert ausgewiesen, und zwar in Höhe von 207,7 Mt CO₂. Für eine Nachprüfung müssen daher die Unterkategorien separat geschätzt und anschließend addiert werden.
- 57 Für die erste und größte Unterkategorie 1.A.1.a werden Brennstoffeinsätze direkt der Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung entnommen. Emissionsfaktoren werden dem aktuellem Nationalen Inventarbericht entnommen und entsprechen daher den Emissionsfaktoren für die entsprechenden Aktivitäten im Jahr 2019. Die Berechnung der Emissionen mit der Formel $\text{Aktivitätsdaten} \cdot \text{Emissionsfaktor} = \text{Emission}$ ergibt für die CRF Kategorie 1.A.1.a CO₂-Emissionen in Höhe von 177,2 Mt CO₂.¹² Für die Unterkategorie 1.A.1.b werden Daten der amtlichen Mineralölstatistik verwendet, welche vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle herausgegeben werden (siehe Kapitel 2.2.2). Dort sind die Eigenverbräuche der Mineralölraffinerien angegeben. Die Vorgehensweise des Umweltbundesamtes konnte durch Bereitstellung von Materialien im Detail nachvollzogen werden. Die prozentuale Veränderung des Eigenverbrauchs der Raffinerien je Brennstoffkategorie (Dieselkraftstoff; Heizöl, leicht; Heizöl, schwer; Flüssiggas; Raffineriegas; Petrolkoks; andere Mineralölprodukte) wird auf weiter heruntergebrochene Aktivitätskategorien übertragen. Diese Aktivitätsdaten sind im Zentralen System Emissionen (ZSE) verfügbar. Ebenso liegen dem Umweltbundesamt Emissionsfaktoren für diese Aktivitätskategorien vor. Eine Verrechnung der so bestimmten Aktivitäten der Unterkategorien mit den CO₂-Emissionsfaktoren aus dem Zentralen System Emissionen ergibt Emissionen in Höhe von 21 Mt CO₂. Die Berechnung der Emissionen in der dritten Unterkategorie 1.A.1.c „Herstellung von festen Brennstoffen“ besteht sowohl aus Fortschreibungen als auch Schätzungen auf Basis von korrelierenden Größen. Eine Berechnung der Emissionen dieser Unterkategorie ist aufgrund der kleinteiligen Zusammenstellung erschwert. Die Berechnung konnte daher nicht durchgeführt werden. Seit 2014 schwanken die Emissionen in dieser Unterkategorie jedoch mit sehr geringer Varianz um 9,8 Mt CO₂. Eine Fortschreibung dieses Wertes für die CO₂-Emissionen dieser Unterkategorie führt in Summe zu CO₂-Emissionen von 208 Mt in der CRF Kategorie 1.A.1.
- 58 Die Punktwertschätzung des Umweltbundesamtes und die vorgenommene Nachrechnung führen demnach zu einer Differenz von 0,3 Mt CO₂ für die CRF Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“. Es ergeben sich somit auch hier keine Anhaltspunkte für einen systematischen Fehler. Eine Restunsicherheit besteht, da nicht alle Unterkategorien vollständig nachgerechnet wurden.

¹² Auf Basis der vom Umweltbundesamt bereitgestellten Materialien zur Vorgehensweise konnte dieser Wert nahezu repliziert werden. Für die finale Berechnung der Emissionen mussten Annahmen getroffen werden. Deren Übereinstimmung mit dem Vorgehen des Umweltbundesamtes konnten in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht abschließend geklärt werden.

3.3 Gemeinsames Nachvollziehen mithilfe des Umweltbundesamtes

3.3.1 Gebäude (CRF Kategorien 1.A.4.a.i und 1.A.4.b.i)

- 59 Die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor wurde stichprobenartig überprüft. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die größten Emissionsquellen gelegt. Dies sind die stationären Feuerungsanlagen in Haushalten (CRF Kategorie 1.A.4.b.i) und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (CRF Kategorie 1.A.4.a.i), welche leichtes Heizöl, Flüssiggas und Gas als Primärenergieträger nutzen. Diese stationären Feuerungsanlagen sind zusammen für 93,5% der Gesamtemissionen des Gebäudesektors verantwortlich.
- 60 Für die Abschätzung der Treibhausgasemissionen aus der Nutzung von Gas wird der Gasabsatz aus der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen von 2019 als Basis verwendet (siehe Kapitel 2.2.3). Über den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft liegen sektorenspezifische Daten des Gasabsatzes für 2020 vor. Die absoluten Absatzmengen an Gas sind in den Daten des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft höher (2020: 945 TWh) als in der Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2020: 862 TWh). Deswegen wird lediglich die Änderung des sektorenspezifischen Gasabsatzes aus den Daten des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft für Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung zwischen 2019 und 2020 herangezogen, um den Absolutwert des Endenergieverbrauchs an Gas 2020 basierend auf dem entsprechenden Wert aus der Energiebilanz 2019 der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zu errechnen. Dieses Vorgehen ist nachvollziehbar und konsistent im Sinne der durchgängigen Verwendung von Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen für Energieverbräuche.
- 61 Aufgrund des für die Emissionsbilanzierung verwendeten Absatzprinzips (vgl. Randziffer 15) sind die Verbrauchsmengen von fossilen Energien und somit deren Emissionen abhängig vom Wettergeschehen und Emissionen werden in Bezug auf ihre Witterungsabhängigkeit nicht auf ein Normjahr zurück gerechnet. Allerdings ergibt sich die Notwendigkeit einer Berücksichtigung der Witterungsabhängigkeit von Verbrauchswerten an verschiedenen Stellen u.a. dort, wo wegen noch nicht vorhandener Daten für Untersektoren Werte aus 2019 unter Einbeziehung einer Witterungskorrektur auf 2020 übertragen werden. Die Notwendigkeit der Ermittlung von Daten für derartige Untersektoren ergibt sich z.B. aus unterschiedlichen Sektorenzuschnitten in den Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und dem Bundes-Klimaschutzgesetz. Für Witterungskorrekturen wird das Verfahren der Ermittlung von Gradtagzahlen verwendet. Dieses Verfahren kommt zum Beispiel bei der Anpassung der Gasverbräuche der stationären Feuerungsanlagen in der Landwirtschaft (CRF Kategorie 1.A.4.c) von 2019 nach 2020 zur Anwendung sowie zur Plausibilisierung der Berechnungen des Gasverbrauchs der stationären Feuerungsanlagen von Haushalten (CRF Kategorie 1.A.4.b.i) und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (CRF Kategorie 1.A.4.a.i), um den Gasabsatz an den Gebäudesektor zu bestimmen. Die Gradtagzahlen beruhen auf Außentemperaturen, deren Verläufe sich für verschiedene Orte unterscheiden. Deswegen muss eine Gewichtung der räumlich aufgelösten Außentemperaturen in Deutschland durchgeführt werden, um deutschlandweit repräsentative Gradtagzahlen zu erhalten. Die räumliche Gewichtung kann dabei anhand verschiedener Kriterien vorgenommen werden wie beispielsweise der Einwohnerzahl oder dem Energieträgerabsatz. Die vom Umweltbundesamt angewandte Methode führt eine Gewichtung der Gradtagzahlen anhand des Gasabsatzes durch. Die so berechneten Gradtagzahlen lagen 2020 um 6,5 % niedriger als 2019. Ein anderes gängiges Verfahren zur Berechnung von

repräsentativen Gradtagzahlen für ganz Deutschland ist die Gewichtung anhand der Einwohnerzahlen. Die durch dieses Verfahren berechneten Gradtagzahlen lagen 2020 allerdings nur um 2 % unter denen von 2019. Die Höhe der Gradtagzahlen kann sich also durch die Gewichtungsmethode unterscheiden und damit ist das Verfahren der Witterungsbereinigung auf Basis von Gradtagzahlen mit Unsicherheiten behaftet.

- 62 Die Emissionen aus dem Verbrauch von Gas, welche mit dem in Randziffer 60 beschriebenen Verfahren berechnet wurden, wurden durch das Umweltbundesamt in einem nächsten Schritt im Vergleich zu den Emissionen in anderen Sektoren wie der Industrie auf ihre Konsistenz geprüft. Bei diesem Vergleich sei dem Umweltbundesamt aufgefallen, dass im Vergleich zum Vorjahr die Emissionen im Industriesektor eher niedrig gelegen hätten und im Gebäudesektor vergleichsweise hoch. Dies werde für unplausibel gehalten, da für den Teilsektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen des Gebäudesektors wegen der Folgen der Covid-19-Pandemie eher mit einem niedrigeren Verbrauch zu rechnen gewesen sei. Für den gesamten Gebäudesektor, also sowohl Haushalte als auch Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, sei zusätzlich aufgrund des um 6,5% niedrigeren Wertes der Gradtagzahlen mit einem niedrigeren Verbrauch zu rechnen gewesen. Durch diese beiden Effekte hätte der Gasverbrauch im Gebäudesektor stärker absinken müssen, als es die Berechnungsergebnisse auf Basis der oben beschriebenen Methodik ergeben. Im Sektor Industrie würden die bekannten Produktionsentwicklungen für das Jahr 2020 aus den Verbandsdaten dagegen nicht zu den niedrigen Gasverbräuchen passen. Auf Basis dieser Einschätzung hat das Umweltbundesamt 2 Mt CO₂e Treibhausgasemissionen aus dem Verbrauch von Gas aus dem Sektor Gebäude in den Sektor Industrie verschoben. Die qualitativen Überlegungen erscheinen plausibel, wobei wie oben erwähnt die Gradtagzahlen als Indikator für eine veränderte Witterung mit Unsicherheiten behaftet sind¹³. Im Teilsektor Haushalte ist zudem zu vermuten, dass sich durch den Lock-down in Folge der Covid-19-Pandemie der Gasabsatz eher erhöht hat (siehe auch Kapitel 6.3). Die vorgenommene Verschiebung von 2 Mt CO₂e kann vor diesem Hintergrund nicht geprüft und die Festsetzung auf diese Höhe auch nicht nachvollzogen werden.
- 63 Für die Abschätzung der Treibhausgasemissionen aus dem Absatz von Mineralölprodukten werden als Basis die absoluten sektorenspezifischen Absätze von leichtem Heizöl und Flüssiggas für 2019 aus der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen verwendet. Aus der Amtlichen Mineralölstatistik ist bekannt, welche Änderung sich im Gesamtabsatz von leichtem Heizöl und Flüssiggas von 2019 nach 2020 ergeben hat¹⁴. Leichtes Heizöl und Flüssiggas wird außer im Sektor Gebäude an die Industrie abgesetzt. Da die aus der Amtlichen Mineralölstatistik für die Vorjahresschätzung zur Verfügung stehenden Daten keine Werte für die Aufteilung des Verbrauchs von leichtem Heizöl zwischen den Sektoren Gebäude und Industrie liefern, werden die relativen Anteile des Absatzes an die Sektoren Gebäude und Industrie auf Basis der Daten aus der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2019 übernommen. Die genutzten Zahlen aus den Statistiken der Arbeitsgemeinschaft

¹³ Durch eine Witterungsanpassung des gesamten Gasabsatzes des Sektors Gebäude von 2019 nach 2020 (mit der Methode der Gewichtung der Gradtagzahlen nach Gasabsatz wie vom Umweltbundesamt verwendet (-6,5 % von 2019 nach 2020) ergibt sich eine Absenkung der Treibhausgasemissionen um 4,6 Mt CO₂e. Würden die Gradtagzahlen gewichtet nach Einwohnerzahlen für die Witterungsanpassung genutzt, würde sich dadurch eine Absenkung der Treibhausgasemissionen von 1,4 Mt CO₂e ergeben. Für diese Abschätzung wurde implizit die Annahme getroffen, dass der gesamte Absatz von Gas an den Gebäudesektor witterungsabhängig ist und dass keine weiteren Effekte die Änderung des Gasabsatzes von 2019 nach 2020 beeinflusst haben.

¹⁴ Lagereffekte können durch die Nutzung der gemäß dem Absatzprinzip erstellten Mineralölstatistik in den Daten vorhanden sein. Diese werden vom UBA nicht herausgerechnet. Die vom UBA ausgewiesene Zahl ist also nicht um solche Lagereffekte korrigiert, vgl. Rz. 118

Energiebilanzen und der Amtlichen Mineralölstatistik, die Berechnungsschritte und das daraus resultierende Ergebnis können dabei nachvollzogen werden.

3.3.2 Straßenverkehr (CRF Kategorie 1.A.3.b)

64 Im Verkehrssektor resultieren laut Vorjahresschätzung 98% der CO₂-Emissionen mit 140,6 Mt CO₂ aus dem Straßenverkehr (CRF 1.A.3.b). Die Berechnung dieses Wertes wurde stichprobenartig geprüft: Der Straßenverkehr ergibt sich aus dem Restposten der Gesamtmenge der in Deutschland abgesetzten Treib- und Kraftstoffe, die in der Amtlichen Mineralölstatistik erfasst werden (siehe Kapitel 2.2.3). Das Vorgehen des Umweltbundesamtes wurde basierend auf weiteren bereitgestellten Tabellen und Gesprächen mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Umweltbundesamtes nachvollzogen. Einzelne Werte und Annahmen des Umweltbundesamtes, wie der Rückgang des Dieselabsatzes im Schienenverkehr um 3,5% von 2019 auf 2020 sowie der Rückgang der Binnenschifffahrt um 10% im selben Zeitraum basieren auf Expertenschätzungen und weiteren Datenquellen. Diese wurde nicht im Einzelnen geprüft. Auch konnten die vom Umweltbundesamt verwendeten treibstoffspezifischen Emissionsfaktoren nicht gesondert überprüft werden. Unter der Annahme, dass die dem Straßenverkehr zugeordnete Restmenge an fossilem Diesel- und fossilem Ottokraftstoff und die zugehörigen Emissionsfaktoren stimmen, können knapp 99% der gesamten CO₂-Emissionen im Straßenverkehr bestätigt werden. Die restlichen ca. 1% basieren auf den CO₂-Emissionen von Erdgas, LPG, LNG, fossilem FAME und ETBE¹⁵ Kraftstoffen bzw. Kraftstoffbestandteilen sowie Schmierstoffen. Die Berechnung dieses kleinen Anteils kann im Rahmen dieser Stichprobe nicht nachgeprüft werden, da zum Teil die Daten zur Berechnung nicht vollständig vorliegen. Jedoch ergeben sich auf dieser Grundlage keine Indizien für Unregelmäßigkeiten in den Rechenschritten des Umweltbundesamtes.

3.4 Eigenständige Plausibilisierung auf Basis zusätzlicher Datenquellen

65 Das Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change führte in einer Studie (Creutzig et al. 2021) eine eigene Abschätzung der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr (CRF Kategorie 1.A.3.b) für das Jahr 2020 durch. Die Abschätzung basiert auf der Analyse der Reduktion der Aktivitätsdaten im Jahr 2020, die – so die Annahme – überwiegend auf die Covid19-Pandemie zurückzuführen sind. Die stärkste Abnahme ist im PKW-Verkehr zu verzeichnen. Hier kommt es basierend auf anonymisierten GPS-Daten (Inrix) unter der Annahme einer gleichbleibenden Treibhausgasintensität zu einem geschätzten Rückgang von 12 Mt CO₂ gegenüber 2019. Dieser fußt vor allem auf einer starken Abnahme der gesamten Fahrleistung (-12,1%) und einer kleineren Reduktion der Fahrtenanzahl (-5,6%) im PKW-Verkehr. Auch der LKW-Verkehr ist gegenüber 2019 um 0,7% gesunken (Destatis 2020). Das entspricht einem geschätzten Rückgang der Emissionen um 0,3 Mt CO₂. Im Busverkehr leitet sich eine zusätzliche Reduktion von 1,1 Mt CO₂ ab, wenn man einen Rückgang des Busverkehrs um 30% annimmt¹⁶. Zieht man die Summe der Emissionsreduktionen im Straßenverkehr gegenüber dem Vorjahr vom Wert des Nationalen Inventarberichts für das Jahr 2019 (157,7 Mt CO₂) ab,

¹⁵ LPG: Liquefied Petroleum Gas; LNG: Liquefied Natural Gas; FAME: Fettsäuremethylester (auch als Bio-Diesel bezeichnet); ETBE: Ethyl-tert-butylether, u.a. verwendet als Anti-Klopffmittel in Ottomotoren

¹⁶ Basierend auf Expertenschätzung im Gespräch mit dem Umweltbundesamt.

so liegt die entsprechende Abschätzung der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs bei 144,3 Mt CO₂ (Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes: 140,6 Mt CO₂).

- 66 Der Unterschied der dargestellten Plausibilisierung auf Basis eines Vorjahresvergleichs mit dem Wert aus der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes kann vermutlich teilweise auf den Anstieg an Neuzulassungen von Elektroautos und einen höheren Anteil an Biokraftstoffen zurückgeführt werden, der in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt wurde. Auch wird ein möglicher Rückgang bei Zweirädern und leichten Nutzfahrzeugen aufgrund fehlender Aktivitätsdaten für diese Bereiche in der MCC Abschätzung (Creutzig et al. 2021) nicht betrachtet. Der Anteil der Emissionsminderung bedingt durch den Effekt von Elektroautos und Biokraftstoffen wird vom Umweltbundesamt auf ca. 2 Mt CO₂e geschätzt (UBA 2021d). Eine Abschätzung der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr für 2020 basierend auf den Aktivitätsdaten der MCC-Studie liegt nach Abzug dieses Anteils (2 Mt CO₂e) bei 142,3 Mt CO₂ und damit leicht (1,75 Mt CO₂) über der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (140,6 Mt CO₂). Im Wesentlichen bestätigt daher die vorgenommene Plausibilisierung das vom Umweltbundesamt in der Vorjahresschätzung ermittelte Ergebnis. Zugleich zeigt die Untersuchung, dass weitere Datenquellen – hier anonymisierte GPS-Daten – hilfreich sein können, um zusätzliche Abschätzungen zu den Emissionsdaten des Vorjahres vornehmen und so die Unsicherheit der Schätzwerte reduzieren zu können.

3.5 Fazit

- 67 Eine vollständige Prüfung der Daten- und Berechnungsgrundlagen für die Vorjahresschätzung 2020 des Umweltbundesamtes war im Rahmen der Erstellung dieses Berichts aufgrund des Umfangs und der Komplexität der Berechnung der Vorjahresschätzung sowie des engen durch das Bundes-Klimaschutzgesetz gesetzten zeitlichen Rahmens nicht möglich. Ersatzweise konnten wichtige Teile der Vorjahresschätzung stichprobenartig validiert werden. Dabei lieferten die vorgenommenen Gegenrechnungen keine Anhaltspunkte für grundlegende Konsistenzprobleme im Vorgehen des Umweltbundesamtes.
- 68 Allerdings wurde im Rahmen der stichprobenartigen Auseinandersetzung mit der komplexen Methodik zur Erstellung der Vorjahresschätzung deutlich, dass bei der Erstellung der Daten durchaus teilweise Freiheitsgrade bei einzelnen Prozessschritten bestehen. Das Umweltbundesamt muss im Rahmen der Ableitung der Schätzung aus den Primärdaten bei etlichen Parametern Setzungen vornehmen, deren Alternativlosigkeit für keinen Einzelfall bestätigt bzw. überprüft werden konnte, auch nicht in Stichproben. Diese Setzungen sind vor allem der Vorläufigkeit etlicher Datenquellen, insbesondere auch hinsichtlich der sektoralen Aufteilung, geschuldet. Die getroffenen Annahmen, die Vorgehensweise und die Methodik wurden dem Expertenrat für Klimafragen auf Nachfrage an verschiedenen Beispielen ausführlich und transparent erläutert. Für die getroffenen Setzungen ergeben sich keine Anhaltspunkte für eine bewusste systematische Verzerrung.

4 Güte

4.1 Allgemeine Überlegungen

- 69 Die Angaben zu sektoralen Emissionen im Nationalen Inventarbericht und insbesondere in der Vorjahresschätzung sind keine Messungen, sondern Schätzungen auf der Grundlage einer Vielzahl von Datenquellen, die teilweise vorläufig sind. Daraus ergeben sich unter anderem zwei wichtige Fragen an die Güte der in der Vorjahresschätzung ausgewiesenen Emissionsdaten für die einzelnen Sektoren: In welchem Umfang muss mit nachträglichen Korrekturen an den Emissionsschätzungen gerechnet werden, sofern zukünftig detailliertere und präzisere Ausgangsdaten für das Jahr 2020 vorliegen? Und: Wie präzise trifft die Vorjahresschätzung den wahren, unbeobachteten Emissionswert?
- 70 Einer Antwort auf die erste genannte Frage kann man sich über eine statistische Analyse der bisherigen Korrekturbedarfe der Vorjahresschätzungen im Längsschnitt nähern. Eine solche Analyse ist für die Zwecke dieses Berichts angefertigt worden.
- 71 Für die Beantwortung der zweiten Frage fordern die Guidelines des IPCC zur Emissionsberichterstattung eine Bestimmung von Unsicherheiten der Emissionsinventare. Durch die Identifizierung von Unsicherheitsbereichen in den jeweiligen CRF-Kategorien wird eine Grundlage für eine Verbesserung der Genauigkeit der geschätzten Emissionswerte, der Methodenwahl und der Nachkalkulation geschaffen. Das Umweltbundesamt führt dementsprechend Unsicherheitsschätzungen aller Quellgruppen und Senken im Rahmen der Nationalen Inventarberichterstattung durch (UBA 2020a). Dieses Verfahren wendet das Umweltbundesamt in seinem Bericht zur Vorjahresschätzung für das Jahr 2020 erstmalig auch auf diese Vorabdaten zum Nationalen Inventarbericht an und weist einen entsprechenden Unsicherheitskorridor für die sektoralen Emissionsdaten der Vorjahresschätzung aus¹⁷.

4.2 Korrekturbedarfe

4.2.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

- 72 Inventarberichte enthalten Emissionsschätzungen für die Jahre ab 1990 bis zum aktuellsten Berichtsjahr. Diese Emissionsschätzungen werden mit jedem neuen Inventarbericht rückwirkend für alle Berichtsjahre korrigiert und im Bericht aktualisiert. 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

¹⁷ Nach den IPCC Richtlinien können zwei Verfahren (Approach-1 und Approach-2) zur Aggregation von Unsicherheiten verwendet werden. Zur Bestimmung der Unsicherheit der Vorjahresschätzung 2020 wurde die Approach-1-Methode (Fehlerfortpflanzung) angewendet. Eine genauere Erläuterung dieses Vorgehens findet sich in Randziffer 92. Für die Nationalen Inventarberichte wird zusätzlich die Approach-2-Methode zur Ermittlung von Unsicherheiten genutzt. Zweitere Methode trägt unterschiedlichen Verteilungsfunktionen Rechnung, indem auch asymmetrische Unsicherheitsangaben durch Aggregation mittels Monte Carlo Simulation berücksichtigt werden. Das Approach-2-Verfahren ist jedoch komplexer als die Fehlerfortpflanzung und erfordert zusätzlich die Ermittlung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren (UBA 2020a).

herangezogenen Datenquellen im Zeitablauf. Hinzu kommen methodische Verbesserungen für die Bestimmung der Emissionen. Daher muss vermutet werden, dass sich die Genauigkeit von Emissionsschätzungen für Berichtsjahre erhöht, die weiter in der Vergangenheit liegen. Damit wird eine spätere Schätzung desselben Emissionsinventars zu einem weiteren Gütemerkmal der Vorjahresschätzung. Um die Güte der Vorjahresschätzung zu bewerten, wurde deshalb für die Zwecke dieses Berichts der beobachtete Korrekturbedarf der Emissionsinventare über die Zeit ermittelt. Schätzungen, die in den Folgejahren im Regelfall nur noch geringfügig korrigiert wurden, werden als stabile Schätzung bezeichnet. Die Zeitspanne zwischen dem Ende des Berichtsjahres und der ersten stabilen Schätzung beschreibt, wie lange es dauert, bis sich die Datengrundlage zur Abschätzung der Emissionen nicht mehr wesentlich verbessert. Die Korrekturen von der Vorjahresschätzung gegenüber der ersten stabilen Emissionsschätzung geben einen Anhaltspunkt dafür, wie stark eine verbesserte Datengrundlage zum späteren Zeitpunkt die Emissionsschätzungen verbessert.

- 73 Die Korrekturen aufeinanderfolgender Emissionsschätzungen sowie die Korrekturen von der Vorjahresschätzung zur ersten stabilen Schätzung werden sowohl auf sektoraler Ebene als auch aggregiert analysiert. Diese Untersuchung basiert auf den Vorjahresschätzungen und Inventarberichten der Berichtsjahre 2010-2019.¹⁸ In den Vorjahresschätzungen 2010-2018 sind Emissionsschätzungen entsprechend der EU Monitoring Mechanism Regulation kategorisiert. Diese Kategorisierung ermöglicht eine weitgehende Zuordnung entsprechend der Sektorendefinition des Bundes-Klimaschutzgesetzes¹⁹. Zudem sind für den Sektor LULUCF in den Vorjahresschätzungen bis zum Berichtsjahr 2019 keine Emissionen angegeben.

4.2.2 Zeitspanne bis zum Erreichen einer stabilen Schätzung

- 74 Die nachträglichen Korrekturen gegenüber vorangegangenen Emissionsschätzungen sind in Form eines Boxplots in Abbildung 3 dargestellt. Angegeben sind die Beträge der relativen Korrekturen sowohl auf sektoraler Ebene als auch für die Gesamtemissionen. Historisch nahmen Korrekturen im Regelfall ab, je weiter Emissionsschätzung und Berichtsjahr auseinander lagen. Sowohl die sektoralen als auch die Gesamtemissionen wurden nach dem zweiten Inventar im Regelfall nur noch geringfügig nachträglich korrigiert. Mit Ausnahme der Land- und Abfallwirtschaft und Sonstiges betragen die mittleren Korrekturen dafür unter 0,5%. Aus diesem Grund wird der zweite Nationalen Inventarbericht durch den Expertenrat als erste stabile Emissionsschätzung definiert. Die Korrekturen teilten sich zudem in allen Sektoren und unabhängig von der Zeitspanne zwischen Berichtsjahr und Veröffentlichungsjahr zu ähnlichen Teilen auf Erhöhungen (75 Fälle) und Reduktionen (81 Fälle) auf. Die Schätzungen wurden somit nachträglich nicht systematisch erhöht oder gesenkt. Die Höhe der Korrekturbedarfe sowie deren Entwicklung über die Zeit unterschieden sich jedoch zwischen den Sektoren.

¹⁸ Die Vorjahresschätzungen für die Berichtsjahre 2007 und 2008 enthalten keine Angaben zu sektoralen Treibhausgasemissionen. Die Vorjahresschätzung für das Berichtsjahr 2009 erfolgte mit einer anderen Methodik sowie anderen Annahmen und wird in dieser Analyse daher ebenfalls nicht berücksichtigt.

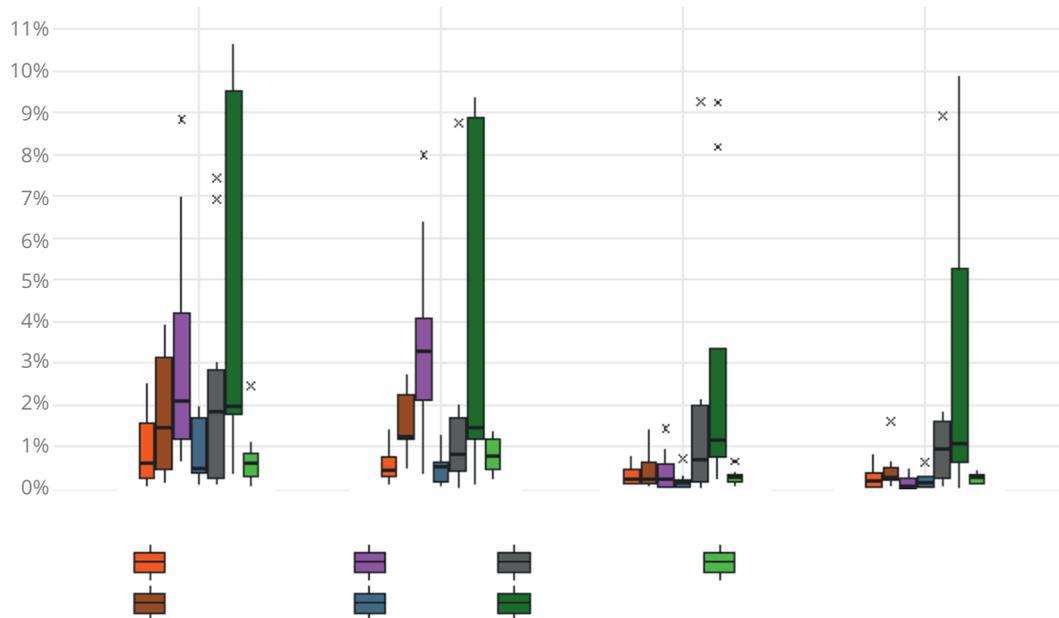
¹⁹ Für die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft unterscheidet sich die Definition geringfügig. Die Emissionen durch Pipelinetransport fallen in dieser Analyse dem Verkehr und nicht dem Sektor Energiewirtschaft zu. Die Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei sind in dieser Analyse im Sektor Gebäude und nicht der Landwirtschaft enthalten.

- 75 In der Energiewirtschaft und dem Verkehrssektor waren nachträgliche Korrekturbedarfe durchweg gering. Der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung zum ersten Nationalen Inventarbericht betrug 0,9%. Zum zweiten Nationalen Inventarbericht halbierten sich die nachträglichen Korrekturen ungefähr und lagen im Mittel bei 0,5%. In späteren Inventaren (dritter und vierter Nationaler Inventarbericht) betrug die durchschnittliche Korrektur für die Energiewirtschaft 0,3% und den Verkehrssektor 0,15%.
- 76 In den Sektoren Industrie und Gebäude ergaben sich im Vergleich zur Energiewirtschaft und dem Verkehr höhere nachträgliche Korrekturen. Die durchschnittlichen Korrekturen von der Vorjahresschätzung zum zweiten Nationalen Inventarbericht betrugen für die Industrie 1,7% und für den Gebäudesektor 3,1%. Zum zweiten Nationalen Inventarbericht verblieben die durchschnittlichen Korrekturen in beiden Sektoren etwa auf dem gleichen Niveau (1,6% für Industrie und 3,4% für Gebäude). Erst in den späteren Inventaren (dritter und vierter Nationaler Inventarbericht) nahmen die nachträglichen Korrekturen deutlich ab. Die durchschnittlichen Korrekturen lagen dann für beide Sektoren und Nationalen Inventarberichte unter 0,5%.
- 77 In der Land- und Abfallwirtschaft sinken die Korrekturbedarfe im Zeitverlauf ebenfalls. Im Gegensatz zu den anderen Sektoren sanken die mittleren Korrekturen nach dem zweiten Nationalen Inventarbericht nicht auf Werte unter 0,5%. Im Mittel lagen die Korrekturen in Inventaren nach dem zweiten Nationalen Inventarbericht für die Landwirtschaft bei über 1,8% und für die Abfallwirtschaft bei über 2,8%. Die hohen durchschnittlichen Korrekturbedarfe waren getrieben von einzelnen sehr hohen Korrekturen. Im Gegensatz zu anderen Korrekturen in diesem und anderen Sektoren, ergaben sich diese sehr hohen Korrekturbedarfe durch Veränderungen der Annahmen in diesen Sektoren.²⁰
- 78 Die relativen Korrekturen der Gesamtemissionen waren im Verhältnis zu denen der einzelnen Sektoren gering. Der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung zum ersten Nationalen Inventarbericht betrug durchschnittlich 0,7% und lag somit deutlich unterhalb der relativen Korrekturbedarfe aller einzelnen Sektoren. Grund ist, dass die sektoralen historischen Korrekturbedarfe tendenziell negativ korreliert waren und sich deshalb eher gegenseitig ausglich als sich zu verstärken. Die anschließenden Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht betrugen rund 0,8%. In späteren Inventaren (dritter und vierter Nationaler Inventarbericht) lagen die durchschnittlichen Korrekturen der Gesamtemissionen unter 0,3%.
- 79 Insgesamt kann man also den zweiten Nationalen Inventarbericht als erste stabile Schätzung für die Gesamtemissionen sowie die sektoralen Emissionen von Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr betrachten, während alle vorherigen Inventarschätzungen einschließlich der Vorjahresschätzung als vorläufig angesehen werden sollten. Die Emissionsschätzungen für die Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges sind darüber hinaus mit erheblichen (grundsätzlichen) Datenproblemen behaftet, die in der Vergangenheit auch jenseits vom zweiten Nationalen Inventarbericht noch teilweise substantiell waren. Ursache hierfür waren neben Anpassungen der Daten zusätzliche Veränderungen in den Annahmen zu prozessbedingten

²⁰ Im Sektor Landwirtschaft lassen sich die entsprechenden Korrekturbedarfe auf geänderte Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten in der Lachgas- und Ammoniakermittlung zurückführen (UBA 2016a, S. 452-454; 498-501). Die Korrekturen im Sektor Abfallwirtschaft hingegen sind Ergebnis von Anpassungen der Emissionsfaktoren im Bereich der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, welche auf neuen Forschungsergebnissen bezüglich der Deponiegasbildung fußen (UBA 2013, S. 597-599; 606-608).

Methanemissionen. Diese substanziellen Anpassungen der Annahmen bestätigen die großen Unsicherheiten, die das Umweltbundesamt in Bezug auf diese Emissionen angibt (vgl. Kapitel 4.3).

Abbildung 3 Relative Korrekturbedarfe (der Beträge) gegenüber der jeweils vorangegangenen Emissionsschätzung



*Für den Sektor Abfallwirtschaft sind einzelne Ausreißer in der Höhe von 25% durch die gewählte Skalierung abgeschnitten.

Eigene Berechnung auf Basis der Vorjahresschätzungen und Nationalen Inventarberichte des Umweltbundesamtes der Veröffentlichungsjahre 2011-2021

Eigene Darstellung

4.2.3 Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung bis zur ersten stabilen Schätzung

80 Abbildung 4 zeigt die relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung für die einzelnen Sektoren und für die Gesamtemissionen. Die nachträglichen Korrekturen wiesen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr keinen eindeutigen Trend auf. Hohe sektorale Korrekturbedarfe ergaben sich stattdessen sowohl für Vorjahresschätzungen für Jahre, die weiter in der Vergangenheit liegen, als auch für aktuellere Jahre. In der Land- und Abfallwirtschaft fielen die historischen Korrekturen über die Zeit tendenziell. Zudem unterscheiden sich die Höhe der Korrekturbedarfe sowie deren Entwicklung über die Zeit zwischen den Sektoren.

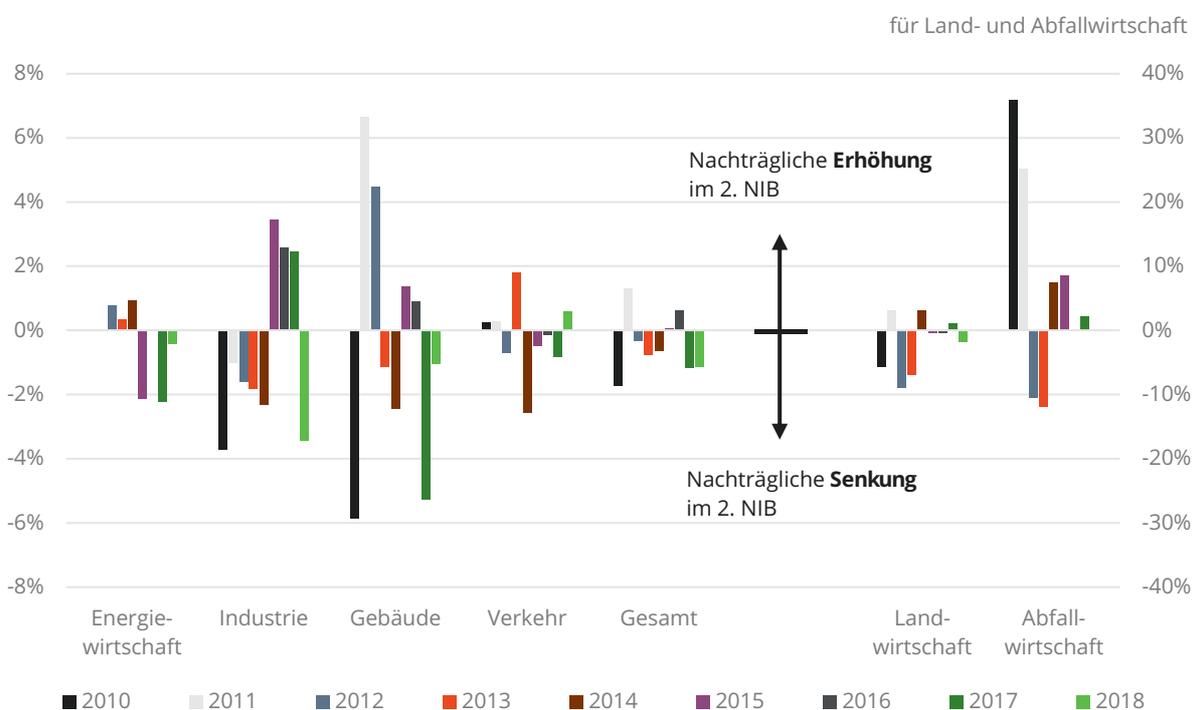
81 Im Energiesektor waren die relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung mit durchschnittlich 0,8% gering. Während für die Berichtsjahre 2010, 2011 und 2016 nahezu keine Korrekturen erfolgten (<0,1%), beliefen sich Korrekturen für die Berichtsjahre 2015 und 2017 auf Werte über 2%. Da im Energiesektor die meisten Emissionen anfallen, führten die prozentual geringen Korrekturen dennoch zu absoluten Korrekturen von durchschnittlich 2,6 Mt CO₂e.

Im Durchschnitt der absoluten Werte lag die Vorjahresschätzung um 1,0 Mt CO₂e über dem zweiten Nationalen Inventarbericht.

- 82 In der Industrie lagen die relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung mit durchschnittlich 2,6% im mittleren Bereich. Die Korrekturen lagen für alle Jahre auf ähnlichem Niveau. Die größten Korrekturen ergaben sich für die Berichtsjahre 2010, 2015 und 2018 mit Werten um 3,5%. Da auch die Industrie ein emissionsintensiver Sektor ist, ergab sich im Mittel eine Korrektur von 4,7 Mt CO₂e. Im Durchschnitt der absoluten Werte lag die Vorjahresschätzung um 1,2 Mt CO₂e über dem zweiten Nationalen Inventarbericht.
- 83 Im Gebäudesektor lagen die relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung mit durchschnittlich 3,2% im mittleren Bereich. In den Jahren 2010, 2011 und 2017 betragen die Korrekturen über 5%. In absoluten Zahlen ergaben sich im Gebäudesektor im Mittel Korrekturen von 4,4 Mt CO₂e. Im Durchschnitt der absoluten Werte lag die Vorjahresschätzung um 0,6 Mt CO₂e über dem zweiten Nationalen Inventarbericht.
- 84 Im Verkehrssektor waren die relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung mit durchschnittlich 0,8% ebenfalls gering. Die größten Korrekturen ergaben sich für die Berichtsjahre 2013 und 2014 mit Werten von 1,8% bzw. 2,5%. In den übrigen Jahren lagen die Korrekturen bei unter 1%. Die geringen relativen Korrekturen übersetzen sich in ebenfalls geringe durchschnittliche absolute Korrekturen von 1,4 Mt CO₂e. Im Durchschnitt der absoluten Werte lag die Vorjahresschätzung um 0,4 Mt CO₂e über dem zweiten Nationalen Inventarbericht.
- 85 In der Landwirtschaft lagen die relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung mit durchschnittlich 3,4% im oberen Bereich. Korrekturen von rund 8% ergaben sich für die Jahre 2012 und 2013. In den übrigen Jahren betrug die mittlere Korrektur 2,2%. Da in diesem Sektor wenig Emissionen anfallen, betragen die absoluten Korrekturen im Mittel 2,3 Mt CO₂e. Im Durchschnitt der absoluten Werte lag die Vorjahresschätzung um 1,3 Mt CO₂e über dem zweiten Nationalen Inventarbericht.
- 86 In der Abfallwirtschaft fielen mit durchschnittlich 11,3% die größten relativen Korrekturen im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der Vorjahresschätzung an. Verantwortlich hierfür sind maßgeblich die Berichtsjahre 2010 und 2011, in denen die Korrekturen 36% bzw. 25% betragen. In den Jahren 2015 bis 2018 betragen die Korrekturen im Mittel lediglich 0,8%. Da in der Abfallwirtschaft absolut die geringsten Emissionen anfallen, betragen die absoluten Korrekturen im Mittel nur 1,3 Mt CO₂e. Im Durchschnitt der absoluten Werte lag die Vorjahresschätzung um 0,7 Mt CO₂e unter dem zweiten Nationalen Inventarbericht.
- 87 Es ist in der Vergangenheit sowohl zu Unter- als auch zu Überschätzungen gekommen, ohne, dass hierbei eine zeitliche oder sektorale Systematik festgestellt werden könnte (vgl. Kapitel 4.2.2). Bei genauer Betrachtung zeigt sich allerdings, dass die historischen Korrekturen in den meisten Sektoren etwas häufiger in Form von nachträglichen Senkungen erfolgten und diese Senkungen zudem im Schnitt tendenziell stärker ausfielen als die nachträglichen Erhöhungen. Im Ergebnis lagen die Emissionsangaben sowohl für die Gesamtemissionen als auch für alle Sektoren mit Ausnahme der Abfallwirtschaft im zweiten Inventarbericht im Schnitt geringfügig unterhalb der Angaben der Vorjahresschätzung.

88 Die historischen relativen Korrekturen der Gesamtemissionen waren im Verhältnis zu denen der einzelnen Sektoren gering. Dies ergibt sich dadurch, dass sich die einzelnen sektoralen Korrekturen teilweise gegenseitig ausgleichen. Die Verteilung hoher Korrekturen zeigt, dass sich die Höhe des aggregierten Korrekturbedarfs im Zeitverlauf nicht sichtlich verändert hat. Der Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung zum zweiten Nationalen Inventarbericht beträgt durchschnittlich 0,9%. Die größten Korrekturen ergaben sich für die Jahre 2010, 2011, 2017 und 2018 mit Werten über 1%. In absoluten Zahlen betragen die mittleren Korrekturen 7,8 Mt CO₂e. Im Durchschnitt lag die Vorjahresschätzung um 3,9 Mt CO₂e über dem zweiten Nationalen Inventarbericht.

Abbildung 4 Relative Korrekturbedarfe im zweiten Nationalen Inventarbericht gegenüber der jeweiligen Vorjahresschätzung



Eigene Darstellung auf Basis der Vorjahresschätzungen und der Nationalen Inventarberichte des Umweltbundesamtes der Veröffentlichungsjahre 2011-2021

89 Die wesentlichen Gründe für die beobachteten historischen Korrekturbedarfe bis hin zu einer stabilen Schätzung, die vor allem in dem vorläufigen Charakter wesentlicher Datenquellen liegen, sind auch für die Vorjahresschätzung 2020 weiterhin gegeben. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich auch die in der Vorjahresschätzung 2020 veröffentlichten Punktschätzungen für die sektoralen Emissionsdaten mindestens bis zum zweiten Nationalen Inventarbericht für das Jahr 2020 verändern werden, welcher im Jahr 2023 zur Verfügung stehen wird. Diese potenziellen Änderungen könnten wie hier dargestellt nennenswert ausfallen, vor allem sektoral. Gerade wegen der Strukturbrüche des von der Pandemie-Bekämpfung geprägten Jahres 2020 könnten die herangezogenen Ausgangsdaten ein höheres Maß an nachträglichem Korrekturbedarf beinhalten als es im Durchschnitt der vergangenen Jahre der Fall war.

4.3 Angaben zu Unsicherheiten der Treibhausgasemissionen in Deutschland

4.3.1 Allgemeine Vorgehensweise

- 90 Emissionsschätzungen basieren auf der Konzeptualisierung der Inventare (geographische Abgrenzung, erfasste Gase etc.), Modellen sowie Inputdaten und Annahmen (beispielsweise 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 Expertenmeinungen 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 Expertenschätzungen in der zentralen nationalen Emissionsdatenbank (ZNE) hinterlegt sind (UBA 2020a, S. 133).
- 91 Aufgrund der Anforderungen an Buchführung für weite Bereiche wirtschaftlicher Aktivität sind Aktivitätsdaten tendenziell von einer geringeren Unsicherheit geprägt als Emissionsfaktoren. Laut Umweltbundesamt (UBA 2020a, 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 (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 (Beispiel: CO₂-Emissionsfaktoren für Benzin und Diesel).

4.3.2 Unsicherheitsangaben des Umweltbundesamtes zur Vorjahresschätzung 2020

- 92 Erstmalig weist das Umweltbundesamt in seiner Vorjahresschätzung 2020 auch für diesen Datensatz eine Abschätzung der Unsicherheit aus. Dabei wird die qualitative Einschätzung im begleitenden Bericht (UBA 2021d) auch um eine quantitative Abschätzung der Unsicherheitsbereiche (UBA 2021c) um die jeweilige sektorale Punktschätzung ergänzt, die dem Expertenrat für Klimafragen vorliegt. Für die Bestimmung der Unsicherheit sektoraler Emissionen wird in der Vorjahresschätzung 2020 die Methode der Fehlerfortpflanzung nach IPCC Richtlinien angewendet. Dafür werden zunächst auf unterster Subkategorieebene die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten, Emissionsfaktoren und Emissionen ermittelt. Anschließend werden diese Unsicherheiten für jeden Sektor sowie für die Gesamtemissionen aggregiert. Bei diesem Vorgehen liegt die Annahme normalverteilter sowie unkorrelierter Daten 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.

- 93 Zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung lagen in vielen Bereichen lediglich vorläufige Daten vor. Datenlücken wurden u. a. durch Expertenschätzungen gefüllt, die tendenziell jedoch einer größeren Unsicherheit 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 Vorjahresschätzung 2020 im Vergleich zum ersten Nationalen Inventarbericht für das Jahr 2019 (UBA 2021a) wider. Die Zunahme der Zufallsfehler gegenüber dem Nationalen Inventarbericht für das Jahr 2019 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 Jahr 2019 für die Vorjahresschätzung 2020 übernommen.²¹
- 94 Wie in Tabelle 1 ersichtlich, liegen die größten relativen Unsicherheiten über die sektoralen Emissionen in den Bereichen Landwirtschaft (27,5%), LULUCF (22,8%) und, mit deutlichem Abstand, in der Abfallwirtschaft und Sonstiges (217,6%). In dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist das Konfidenzintervall um ein Vielfaches größer als der geschätzte sektorale Emissionswert. Die große Unsicherheit in den Aktivitätsdaten der Abfallwirtschaft ist u.a. auf uneinheitliche Abfall- bzw. Verwertungsbegriffe in statistischen Daten zurückzuführen, die Unsicherheit im Emissionsfaktor ist insbesondere der Vielfalt an Abfallarten bzw. der ungenauen Erfassung der Methan-Emissionen bei der Abfalllagerung geschuldet (UBA 2020a, S. 134 f.). Auch im Bereich der Landwirtschaft liegt die Unsicherheit in den Emissionsfaktoren in der Erfassung von Emissionen begründet. Besonders bedeutsame Beiträge zur Unsicherheit liefern Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden sowie Methan-Emissionen, die bei der Verdauung durch Fermentation entstehen (UBA 2020a, S. 135).
- 95 Die geringsten Konfidenzintervalle sowohl in Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren werden in der Industrie berichtet. Dies ist insofern überraschend, da dieser Sektor größere nachträgliche Korrekturbedarfe im Vergleich zu den anderen Sektoren aufweist (vgl. Kapitel 4.2.3). Beispielsweise berichtet das Umweltbundesamt im veröffentlichten Methodenband, dass für die Vorjahresschätzung deutlich weniger Informationen im Sektor Industrie als für die Energiewirtschaft vorliegen (UBA 2021f), S. 4). Auch im Nationalen Inventarbericht wird darauf hingewiesen, dass im Bereich Industrieprozesse in Abhängigkeit von Branche und Treibhausgas höhere Unsicherheiten in den Emissionsfaktoren auftreten (UBA 2020a, S. 134). Zudem verbessert sich die Datenlage der Aktivitätsdaten von der Vorjahresschätzung hin zum Nationalen Inventarbericht, weshalb auch eine entsprechende Anpassung der Konfidenzintervalle zu erwarten gewesen wäre. In der quantifizierten Unsicherheitsbetrachtung werden diese Aspekte jedoch nicht erkenntlich. Dementsprechend erscheinen die geringen ausgewiesenen Unsicherheiten in der Industrie im Vergleich zu den anderen Sektoren nicht ohne Weiteres nachvollziehbar.

²¹ Laut Umweltbundesamt ist es möglich, dass Veränderungen in Brennstoffverbräuchen sowie die unsichere Datenlagen in der Vorjahresschätzung die Unsicherheit der Emissionsfaktoren vergrößern. Jedoch sei die Quantifizierung dieser zusätzlichen Unsicherheit mit erheblichem Aufwand verbunden, wenn nicht gar unmöglich. Zudem sind nach Angaben des Umweltbundesamtes die Auswirkungen auf die Unsicherheit in den EF vom Jahr 2019 auf 2020 von untergeordneter Bedeutung im Vergleich zum bereits dargestellten Schwankungsbereich.

Tabelle 1: Unsicherheit der sektoralen und aggregierten Emissionsschätzungen

Sektor des Klimaschutzgesetzes (KSG)	Emissionsschätzung [Mt CO ₂ e]	Unsicherheiten			
		Aktivitätsdaten [%]	Emissionsfaktoren [%]	Emissionen [±Mt CO ₂ e]	Emissionen [%]
Energiewirtschaft	221	2,5	2,3	7,5	3,4
Industrie	178	1,6	1,8	4,3	2,4
Gebäude	120	4,4	5,8	8,8	7,3
Verkehr	146	2,2	4,0	6,6	4,6
Landwirtschaft	66	5,9	26,9	18,3	27,5
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	46,7	212,5	19,4	217,6
LULUCF	-17	5,3	22,1	-3,8	22,8
Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	739,5			30,1	4,1

Eigene Darstellung auf Basis von ergänzenden Informationen des Umweltbundesamtes zu UBA (2021c)

- 96 Im Rahmen der Erstellung dieses Berichts gab es aufgrund der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit und der Komplexität der Methodik keine Möglichkeit, die vom Umweltbundesamt angestellten Berechnungen unabhängig und im Einzelnen zu überprüfen. Die Tatsache, dass die Konfidenzintervalle für die Aktivitätsdaten in der Vorjahresschätzung in allen Sektoren höher ausfallen als im Inventarbericht, erscheint plausibel. Ob die Größenordnung angemessen ist, kann auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten nicht beurteilt werden.
- 97 Die Fortschreibung der Konfidenzintervalle bei den Emissionsfaktoren trotz der Pandemie erscheint nicht ohne weiteres plausibel. Insbesondere angesichts der strukturellen Brüche in Folge der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie könnte es zu Verschiebungen von Aktivitäten gekommen sein, die Auswirkungen auf die aggregierten Emissionsfaktoren und deren Unsicherheitsbereiche hätten haben können. Allerdings fehlte vermutlich eine belastbare Datengrundlage, um möglicherweise geänderte Emissionsfaktoren zu ermitteln.
- 98 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 sowie unter Betrachtung der Unsicherheitsschätzungen im Nationalen Inventarbericht der komplexere Ansatz, der für die Inventarberichte verwendet wird, zu ähnlichen Ergebnissen. Für die Unsicherheitsbestimmung der Vorjahresschätzung erscheint es deswegen als nachvollziehbar, den einfacheren Ansatz zu wählen.
- 99 Unter Zugrundelegung der Annahmen, dass erstens die vom Umweltbundesamt vorgenommene Punktschätzung den Erwartungswert trifft und zweitens die Fehler normalverteilt sind, können aus der Umweltbundesamt-Schätzung die Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden, dass die einzelnen Sektoren tatsächlich das Sektorziel für 2020 unter- bzw. überschritten haben (vgl. Kapitel 5). Ob die beiden vom Umweltbundesamt im Einklang mit den internationalen Vorgaben gemachten Annahmen tatsächlich

zutreffen, konnte im Rahmen der Erstellung dieses Berichts nicht überprüft werden. Allerdings ist zu beachten, dass die Unsicherheit des Gesamtfehlers deutlich geringer ist als die Summe der sektoralen Einzelfehler. Wenn also beispielsweise in einem Sektor die tatsächlichen Emissionsmengen deutlich geringer ausgefallen sind als hier geschätzt, bedeutet dies, dass dieser Fehler zumindest teilweise auf eine ungenaue Sektorenordnung zurückzuführen ist, die Emissionen in anderen Sektoren mithin unterschätzt worden sind.

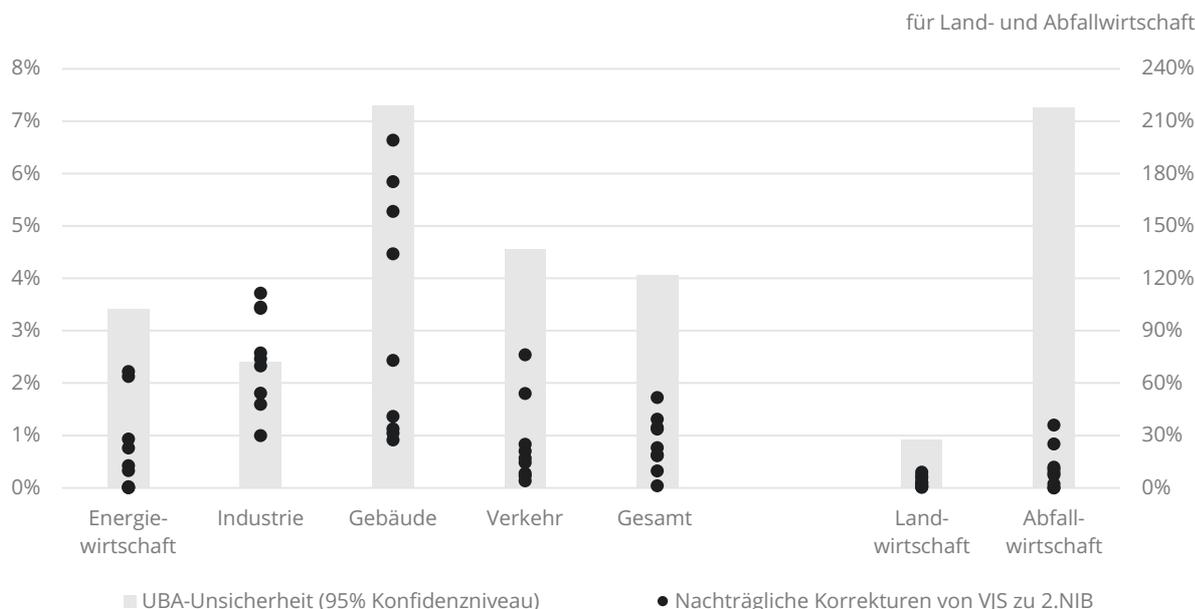
4.4 Vergleich und Einordnung

- 100 Die vorgestellten Verfahren zur Abschätzung der Güte (Zuverlässigkeit) der Vorjahresschätzung 2020 sind nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar. Die vom Umweltbundesamt ausgewiesene Unsicherheit gibt eine (hypothetische) Verteilungsfunktion des Fehlers rund um die Punktschätzung an. Mit dem historischen Korrekturbedarf hingegen werden tatsächliche Anpassungen an die Schätzungen im Zeitverlauf berechnet. Unter zusätzlichen Annahmen kann eine Vergleichbarkeit hergestellt werden: 1) Der zweite Inventarbericht fungiert als Proxy für den (unbeobachteten) tatsächlichen Wert. 2) Der historische Korrekturbedarf von Vorjahresschätzung zum zweiten Nationalen Inventarbericht kann als stabiler Schätzer für den zukünftigen Korrekturbedarf der Vorjahresschätzung 2020 im Zeitverlauf betrachtet werden. Beide Annahmen sind jedoch diskussionswürdig. Falls diese Annahmen zuträfen, wäre zu erwarten, dass die Varianz des historischen Korrekturbedarfs nicht höher ausfällt als die Unsicherheitsschätzung des Umweltbundesamtes für die Vorjahresschätzung 2020. Im Rahmen eines 95%-Intervalls bei neun Beobachtungen sollte die Anzahl an Ausreißern dementsprechend kleiner sein.
- 101 Die Gegenüberstellung der Daten im beschriebenen Sinne zeigt auf Ebene der Gesamtemissionen sowie in allen Sektoren außer der Industrie keine Abweichung von den zu erwartenden Ausreißern (Abbildung 5). Dies ist konsistent mit der Erwartung, dass, aufgrund weiterer Quellen für Schätzfehler, Konfidenzintervalle größer als die nachträglichen Korrekturbedarfe sind. Damit kann die Konsistenz der Angaben des Umweltbundesamtes zur Unsicherheit für Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges und die Gesamtemissionen mit den historischen Korrekturbedarfen nicht widerlegt werden. Für den Sektor Industrie liegen allerdings mehr Ausreißer vor als auf Basis der Unsicherheitsangabe des Umweltbundesamtes erwartet worden wäre. Dabei ist keine zeitliche Struktur in den Ausreißern ersichtlich, weshalb Methodenbrüche als (alleinige) Ursache ausgeschlossen werden können. Ein ähnlicher Befund ergibt sich für den Vergleich der historischen Korrekturbedarfe in der Industrie vom ersten Nationalen Inventarbericht zum zweiten Nationalen Inventarbericht mit dem Unsicherheitsband des Umweltbundesamtes für den Nationalen Inventarbericht 2019.²² Insgesamt ergibt sich aus diesem Befund ein Anhaltspunkt, dass die Angabe des Umweltbundesamtes zur Unsicherheit im Industriesektor möglicherweise systematisch zu niedrig eingeschätzt sein könnte. Eine vertiefende Analyse dieses Zusammenhangs liegt außerhalb der Möglichkeiten dieses Berichts, wird aber empfohlen.

²² Das Unsicherheitsband für den Sektor Industrie auf Basis des 95% Konfidenzniveaus im Nationalen Inventarbericht 2021 für das Berichtsjahr 2019 beträgt laut ergänzenden Informationen des Umweltbundesamtes zu UBA (2021c) rund 2,2%. Für die Berichtsjahre 2013, 2016 und 2018 ergaben sich höhere nachträgliche Korrekturen vom ersten zum zweiten Nationalen Inventarbericht.

102 Die Ergebnisse der historischen Korrekturen basieren auf neun historischen Vorjahresschätzungen (Jahre 2010-2018). Diese Anzahl ist zu gering, um Rückschlüsse auf die mittlere Höhe sowie die Verteilung von nachträglichen Korrekturen im Allgemeinen zu ziehen. Zudem beeinflussen fortlaufende Veränderungen in der zugrundeliegenden Datenbasis und Methodik die zu erwartende Höhe sowie die Verteilung von nachträglichen Korrekturen. In den historischen Beobachtungen war jedoch für keinen Sektor außer Land- und Abfallwirtschaft und Sonstiges ein Trend hin zu geringeren Korrekturen beobachtbar. Weitergehend ergaben sich für diese Vorjahresschätzung keine substantiellen Veränderungen in der Datenbasis und Methodik (vgl. Kapitel 2). Daher können ähnlich hohe Korrekturen von der Vorjahresschätzung 2020 bis zum zweiten Nationalen Inventarbericht für 2020, welcher erst im Jahr 2023 vorliegen wird, nicht ausgeschlossen werden. Die strukturellen Brüche in der Wirtschaftsentwicklung des Jahres 2020 könnten eher verstärkend als abschwächend auf diesen Korrekturbedarf wirken (vgl. Randziffer 97).

Abbildung 5 Gegenüberstellung der Unsicherheiten des Umweltbundesamtes mit den relativen Korrekturbedarfen im zweiten Inventarbericht gegenüber der jeweiligen Vorjahresschätzung



Eigene Darstellung auf Basis der Vorjahresschätzungen und Nationalen Inventarberichte des Umweltbundesamtes der Veröffentlichungsjahre 2011-2021 sowie ergänzenden Informationen des Umweltbundesamtes zu UBA (2021c)

103 Insgesamt liegen die vom Umweltbundesamt ausgewiesenen Unsicherheiten in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr in etwa in der Größenordnung der durchschnittlichen jährlichen Minderungsmengen gemäß Anlage 2 zu § 4 KSG. Auf die Fragen bezüglich der Abschätzung der Unsicherheit für die Industrie (vgl. Randziffer 101) sei dabei noch einmal hingewiesen. Im Gebäudesektor liegt die vom Umweltbundesamt bezifferte Unsicherheit bei etwa dem Doppelten der durchschnittlichen jährlichen Minderungsmengen, bei der Land- und Abfallwirtschaft und Sonstiges sogar beim 15- bzw. 48-fachen der jährlichen Minderungsmenge. Die entsprechenden Verhältnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Man müsste also auf Basis der Einschätzung des Umweltbundesamtes beispielsweise davon ausgehen, dass es im Gebäudesektor etwa einmal in rund zehn Jahren vorkommt

(also dem Zeitraum bis zum nächsten Zieljahr 2030), dass die tatsächlichen Emissionen stärker vom in der Vorjahresschätzung angegebenen Wert abweichen als die durchschnittliche jährliche Minderungsmenge. Hieraus ergeben sich naturgemäß Fragen an die Treffgenauigkeit des im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanismus (vgl. Kapitel 8).

Tabelle 2: Unsicherheitsangabe des Umweltbundesamts im Vergleich zu durchschnittlichen jährlichen Minderungszielen gemäß Anlage 2 zu § 4 KSG

	UBA-Unsicherheit in Mt CO ₂ e	Durchschnittliche jährliche Minderung in Mt CO ₂ e	Verhältnis	Wahrscheinlichkeit für Fehler > Minderung
Energiewirtschaft	7,5	10,5	0,7	1%
Industrie	4,3	4,6	0,9	3%
Gebäude	8,8	4,8	1,8	28%
Verkehr	6,6	5,5	1,2	10%
Landwirtschaft	18,3	1,2	15,2	90%
Abfallwirtschaft und Sonstiges	19,4	0,4	48,4	97%
Gesamtemission (ohne LULUCF)	30,1	27,0	1,1	8%

Eigene Darstellung auf Basis von ergänzenden Informationen des Umweltbundesamtes zu UBA (2021c) und des Bundes-Klimaschutzgesetzes

104 In der Schätzung zur Unsicherheit nimmt das Umweltbundesamt an, dass die einzelnen sektoralen Unsicherheiten nicht miteinander korreliert sind und jeweils normalverteilt sind. Sektorale Unsicherheiten wären insbesondere dann negativ korreliert, wenn sie sich durch Unsicherheiten bei der Zuordnung von Emissionen zu einzelnen Sektoren ergäben. In diesem Fall würde die Annahme, dass Unsicherheiten unkorreliert sind, die Höhe der Unsicherheiten der Gesamtemissionen nicht unterschätzen. Auf Basis der historischen Korrekturbedarfe konnte keine systematische negative Korrelation zwischen einzelnen Sektoren festgestellt werden. Das Ergebnis steht damit nicht im Widerspruch zur Annahme des Umweltbundesamtes, dass sektorale Emissionen unkorreliert sind.

105 Deutlich geringer als auf sektoraler Ebene fallen sowohl die Unsicherheiten als auch die nachträglichen Korrekturbedarfe auf der aggregierten Ebene der Gesamtemissionen aus. Das Umweltbundesamt gibt die Unsicherheit in Bezug auf die Gesamtemissionen mit 4,1% an (95% Konfidenzniveau, d.h. „einmal in 20 Jahren“). Diese Unsicherheit stammt zu 65% aus der Unsicherheit in den Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges. Die nachträglichen Korrekturen von der Vorjahresschätzung zur ersten stabilen Schätzung, dem zweiten Nationalen Inventarbericht, entsprach in keiner der neun Beobachtungen einer solchen Abweichung (vgl. Abbildung 5). Die beobachtete maximale Korrektur liegt erkennbar im 95%-Konfidenzintervall laut Umweltbundesamt und liefert somit keinen Anlass, die Größenordnung der vom Umweltbundesamt ausgewiesenen Unsicherheit zu bezweifeln. Allerdings ist

der beobachtete nachträgliche Korrekturbedarf im Aggregat nicht symmetrisch verteilt, sondern mit einer Tendenz zur Korrektur nach unten, durchschnittlich um 0,9% (3,9 Mt CO₂e) (vgl. Abbildung 4 sowie Kapitel 4.2.3).

4.5 Fazit

- 106 Insgesamt stellen die Emissionsdaten der Vorjahresschätzung und der Nationalen Inventarberichte zum überwiegenden Teil Schätzungen und keine Messungen dar. Auf Grundlage der bisherigen Erfahrungen kann erwartet werden, dass es mindestens bis zur Inventarberichterstattung über das Jahr 2020 im Jahr 2023 (zweiter Nationaler Inventarbericht) noch zu Anpassungsbedarf an den in der Vorjahresschätzung genannten Zahlen kommen wird.
- 107 Von 2010-2018 betrug der durchschnittliche Korrekturbedarf von der Vorjahresschätzung zum zweiten Inventarbericht für die aggregierte Gesamtsumme der Emissionen durchschnittlich 0,9% (entsprechend 7,8 Mt CO₂e). Für die Sektoren lag dieser Wert in einer Bandbreite von 0,8% (Energiewirtschaft, Verkehr), über 2,6% (Industrie), 3,2% (Gebäude), 3,4% (Landwirtschaft), bis zu 11,3% (Abfallwirtschaft und Sonstiges). Ein Vergleich zeigt, dass der historische Korrekturbedarf im Bereich Energiewirtschaft und Verkehr bei ungefähr einem Viertel der jährlich festgeschriebenen Minderungsmengen liegt, bei Gebäude und Industrie in einer ähnlichen Größenordnung und bei Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstiges um ein Mehrfaches höher.
- 108 Aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Stichprobengröße ist es nicht möglich, die Größe dieses Anpassungsbedarfs statistisch verlässlich abzuschätzen. Der Vergleich des historischen Korrekturbedarfs mit den jährlichen Minderungsmengen gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz zeigt aber an, dass die Größenordnung des historischen Korrekturbedarfs in allen Sektoren relevant im Kontext der Bewertung der vom Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Gesetzesfolgen zu sein scheint.
- 109 Das Umweltbundesamt weist im Einklang mit internationalen Standards Konfidenzintervalle für die jeweiligen Emissionsschätzungen aus. Erstmals hat das Umweltbundesamt entsprechende Angaben auch in der Vorjahresschätzung für das vorliegende Berichtsjahr 2020 ausgewiesen. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten ist im Einklang mit IPCC Richtlinien. Die Angaben in diesem Bericht konnten jedoch in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht geprüft werden. Die Gegenüberstellung der historischen Korrekturbedarfe mit den Konfidenzintervallen des Umweltbundesamtes zeigt auf Ebene der Gesamtemissionen sowie in allen Sektoren außer der Industrie keine unerwartete Abweichung. Für den Sektor Industrie kann das Konfidenzintervall nicht bestätigt werden.
- 110 Sowohl die zusätzliche Angabe des Unsicherheitsintervalls durch das Umweltbundesamt als auch die Analyse der nachträglichen Korrekturbedarfe der Vorjahresschätzungen im Zeitverlauf können für die politische Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten, insbesondere für die Bewertung von Über- und Unterschreitung von sektoralen Zielvorgaben, herangezogen werden.

5 Feststellung zur Vorjahresschätzung

5.1 Feststellungen zur Zielerreichung

- 111 Das Umweltbundesamt hat seinen Bericht zur Abschätzung der Treibhausgas-Emissionen 2020 fristgerecht vorgelegt. Zur Überprüfung der Daten fanden zahlreiche Validierungsgespräche mit dem Umweltbundesamt statt, in denen einzelne Positionen und die Verwendung der einfließenden statistischen Daten erörtert wurden, und es wurden eigene Recherchen durchgeführt. Aufbauend auf den vom Umweltbundesamt bereitgestellten Daten wird im Folgenden die durch das Umweltbundesamt durchgeführte Vorjahresschätzung 2020 der Treibhausgasemissionen mit den Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes verglichen und die Zielerreichung insgesamt und aufgeschlüsselt für die im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren überprüft.
- 112 Die vom Umweltbundesamt bereitgestellten Daten bestehen einerseits aus einem geschätzten Punktwert, der die in der Vorjahresschätzung ermittelten Jahrestreibhausgasemissionen im Verhältnis zu dem im Bundes-Klimaschutzgesetz festgesetzten Ziel stellt. Dieser Punktwert bildet als Bestandgröße die Grundlage für den im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanismus zur Einleitung eines Sofortprogramms. Daneben stellt das Umweltbundesamt auch Unsicherheitsbandbreiten der Punktwertschätzungen bereit. In Tabelle 3 sind die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Zielwerte für die Jahresemissionsmenge, die in der Vorjahresschätzung berechneten Treibhausgasemissionen und das 95% Konfidenzintervall, also die Bandbreite der Unsicherheiten, der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes aufgeführt. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2020 und sind jeweils für jeden Sektor und kumuliert für alle Sektoren aufgeschlüsselt.
- 113 Die vom Umweltbundesamt bereit gestellten Berechnungen legen dar, dass sektorenübergreifend die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebene Gesamtemissionsmenge im Jahr 2020 eingehalten wurde. Die Berechnungen zeigen auch, dass in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges die ermittelten Emissionspunktwerte unterhalb der im Bundes-Klimaschutzgesetz für das Jahr 2020 festgelegten Sektorziele liegen. Nur im Gebäudesektor liegt der für die Emissionsmenge berechnete Punktwert der Vorjahresschätzung über dem festgeschriebenen Sektorziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes für das Jahr 2020. In allen anderen Sektoren außer der Energiewirtschaft liegt jedoch die Vorjahresschätzung nur knapp unter dem jeweiligen Sektorziel.
- 114 Die Betrachtung des vom Umweltbundesamt ausgewiesenen Unsicherheitsbereichs zeigt, dass für die Gesamtemissionsmenge das Maximum des ausgewiesenen Unsicherheitsbereichs unterhalb des im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Zielwerts liegt. Bei vier Sektoren (Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges) ist der Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes allerdings innerhalb des Unsicherheitsbereichs angesiedelt. Damit kann unter Unsicherheitsberücksichtigung in diesen Sektoren eine Zielverfehlung nicht ausgeschlossen werden, während für die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie, die Wahrscheinlichkeit einer Zielverfehlung sehr oder verschwindend klein ist.

115 Unter Zugrundelegung der Annahmen²³, dass (1) die vom Umweltbundesamt vorgenommene Punktschätzung den Erwartungswert trifft und (2) die Fehler normalverteilt sind, können aus der Schätzung des Umweltbundesamtes die Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden, dass die einzelnen Sektoren tatsächlich das Sektorziel für 2020 unter- bzw. überschritten haben (siehe letzte Spalte in Tabelle 3). Danach kann man nur in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie praktisch sicher davon ausgehen, dass die tatsächlichen Emissionen unter den Zielvorgaben gelegen haben. Bei allen anderen Sektoren ergibt sich um den Punktwert eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für Unter- oder Überschreitungen der im Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Ziele, die ein Verfehlen nicht ausschließen.

Tabelle 3: Zielwertvergleich Vorjahresschätzung (VJS) des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)

Sektor	Zielwert KSG [Mt CO ₂ e]	VJS 2020 UBA [Mt CO ₂ e]	Reduktion in 2020 gegenüber 2019 [Mt CO ₂ e]	KSG-Zielerreichung: Differenz VJS - Zielwert [Mt CO ₂ e]	Unsicherheit der VJS (95% Intervall) [Mt CO ₂ e]	Wahrscheinlichkeit für das Erreichen des KSG Sektorziels
Energiewirtschaft	280	220,5	-37,5	-59,5	213 - 228	>99,9% ****
Industrie	186	178,1	-8,7	-7,9	174 - 182	>99,9% ****
Gebäude	118	120,0	-3,5	2,0	111 - 129	32,7% *
Verkehr	150	145,6	-18,8	-4,4	139 - 152	90,5% ***
Landwirtschaft	70	66,4	-1,5	-3,6	48 - 85	65,0% **
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	8,9	0,3	-0,1	(-11) - 28	50,4% **
LULUCF		-16,5	0,1		(-20) - (-13)	
Gesamt (ohne LULUCF) (Änderung ggü. 1990)	813 (-35%)	739,5 (-40,8%)	-70,3	-73,5	709 - 770	
Sektorzielerreichung ist nach der IPCC Skala ²⁴ :		**** praktisch sicher *** sehr wahrscheinlich	** ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich * unwahrscheinlich			

Daten basierend auf Vorjahresschätzung des Jahres 2020 und den vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheiten der Schätzung.
Eigene Darstellung.

116 Auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 hat der Sektor **Energiewirtschaft** das Ziel von 280 Mt CO₂e eingehalten. Der Punktwert der Vorjahresschätzung liegt

²³ Ob die beiden vom Umweltbundesamt getroffenen Annahmen tatsächlich zutreffen, konnten im Rahmen der Erstellung dieses Berichts nicht überprüft werden.

²⁴ Folgende Begriffe wurden verwendet, um die bewertete Wahrscheinlichkeit eines Ergebnisses anzugeben, wobei die IPCC Nomenklatur für die Beschreibung von Unsicherheiten verwendet wurde (Mastrandrea et al. 2010): praktisch sicher 99–100% Wahrscheinlichkeit, sehr wahrscheinlich 90–100%, wahrscheinlich 66–100%, etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht 33–66%, unwahrscheinlich 0–33%, sehr unwahrscheinlich 0–10%, besonders unwahrscheinlich 0–1%.

59 Mt CO₂e unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Der Zielwert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von >99,9% unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs für den Sektor eingehalten. Aus diesem Grund wird der Zielwert im Sektor Energiewirtschaft als **praktisch sicher** eingestuft.

Gütebetrachtung der Vorjahresschätzung: Im Sektor Energiewirtschaft entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen aus der CRF Kategorie 1.A.1 „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft“ (98,6%), für die Aktivitätsdaten größtenteils über die Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2021b) gegeben sind. Alle weiteren Posten haben einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtemissionen. Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik als sehr gut ein (UBA 2021d, S.13). Es gibt keine Hinweise dies anders zu sehen.

- 117 Auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 hat der **Sektor Industrie** das Ziel von 186 Mt CO₂e eingehalten. Der Punktwert der Vorjahresschätzung liegt 8 Mt CO₂e unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Der Zielwert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von >99,9% unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs für den Sektor eingehalten. Auch wenn die dünne Datenlage in den Kategorien des fossilen Brennstoffeinsatz und in der mineralischen Industrie hinsichtlich der Unsicherheit der Schätzung der Emissionen im Industriesektor kritisch zu bewerten ist, ist insgesamt die Zielerreichung im Industriesektor als **praktisch sicher** anzusehen.

Gütebetrachtung der Vorjahresschätzung: Im Sektor Industrie entstammt der größte Teil der Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe. Die Stromerzeugung aus Industriekraftwerken kann auf Basis der Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung (Destatis 2021b) und Informationen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen abgeschätzt werden, die Wärmeproduktion wird lediglich damit korreliert, da keine weiterführenden Informationen gegeben sind. Auch für die Prozessemissionen aus der mineralischen Industrie sind zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung weder Verbandsdaten noch Daten des Statistischen Bundesamtes vollständig verfügbar, sodass vorhandene Daten mit Expertenschätzungen ergänzt werden. Der größte Rückgang an Emissionen im Jahr 2020 liegt an einem Produktionsrückgang von Roheisen von 12% gegenüber dem Vorjahr. Für die Roheisenproduktion lagen zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung bereits Verbandsdaten vor.

Außerhalb der Beurteilung der Güte des Punktwerts bei der Vorjahresschätzung ist für den Sektor Industrie hervorzuheben, dass im Gegensatz zu allen anderen Sektoren die historischen Korrekturbedarfe in den Nationalen Inventarberichten mehrfach außerhalb des angegebenen Konfidenzintervalls lagen. Daher wäre für die Vorjahresschätzung 2020 im Sektor Industrie insbesondere aufgrund der schlechteren Datenlage als in den Nationalen Inventarberichten ein größerer Unsicherheitsbereich als der in der Vorjahresschätzung angegebene zu erwarten gewesen (siehe Abbildung 5). Das Umweltbundesamt kommt hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Daten und Methodik zu keinem abschließenden Ergebnis (UBA 2021d, S.18f). Es gibt keine Hinweise dies anders zu sehen.

- 118 Auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 hat der **Gebäudesektor** das Ziel von 118 Mt CO₂e mit einem Punktwert von 120 Mt CO₂e nicht eingehalten. Der Punktwert der Vorjahresschätzung liegt damit 2 Mt CO₂e über dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Der Zielwert liegt im Unsicherheitsbereich der Vorjahresschätzung. Der Zielwert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs für den Sektor nicht

eingehalten. Aus diesem Grund ist die Zielerreichung im Sektor Gebäude als **unwahrscheinlich** einzustufen.

Gütebetrachtung der Vorjahresschätzung: Im Gebäudesektor entstammt ein Großteil der Emissionen stationären Feuerungsanlagen, in Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD), welche leichtes Heizöl und Gas nutzen (93,5% der Gesamtemissionen). Als Ergebnis einer im Rahmen der Möglichkeiten detaillierten Betrachtung dieser Verbrauchsgruppen sind dabei folgende Aspekte zu nennen, die für eine Gesamtbewertung relevant erscheinen:

- Bei der Aufteilung des Absatzes von Gas zwischen den Sektoren Industrie und Gebäude wurden die nach Anwendung der üblichen Methodik (siehe Randziffer 60) erzielten Ergebnisse nochmals geändert. Grund dafür war, dass dem Umweltbundesamt die Aufteilung der Gasverbräuche auf die Sektoren Industrie und Gebäude nicht plausibel erschien. Auf Basis dieser Einschätzung hat das Umweltbundesamt 2 Mt CO₂e Treibhausgasemissionen aus dem Verbrauch von Gas aus dem Sektor Gebäude in den Sektor Industrie verschoben (siehe Kapitel 3.3.1). Diese Information über die Verschiebung erfolgte im Nachgang zur Erstellung des Methodenberichts (UBA 2021d) und wurde im Rahmen einer E-Mail-Kommunikation am 31.03.2021 (11:15 Uhr) vom Umweltbundesamt mitgeteilt. Diese vorgenommene Verschiebung kann nicht geprüft und der Umfang der Festsetzung nicht nachvollzogen werden.
- Für den Absatz von leichtem Heizöl und Flüssiggas liegen zum Zeitpunkt der Erstellung der Vorjahresschätzung keine sektorspezifischen Informationen vor, weshalb die Aufteilung der Anteile der Sektoren Gebäude und Industrie aus dem Vorjahr übernommen wird (siehe Randziffer 63). Dabei liegt der Anteil des Sektors Industrie am Gesamtabsatz von leichtem Heizöl und Flüssiggas im Jahr 2019 bei 4,46%. Das Vorgehen, die Vorjahresaufteilung zu übernehmen, ist das übliche Verfahren für die Vorjahresschätzung, das im Hinblick auf eine Reihe von Sondereffekten (Covid-19-Pandemie bedingtes Home-Office, Schulschließung) diskutiert werden kann.

Im Jahr 2020 erfolgte zusätzlich ein höherer Bezug als Verbrauch von Heizöl, dessen Treibhausgas-Äquivalent von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB 2021) implizit auf rund 1,7 Mt CO₂e abschätzt wird. Dies spielt im Sinne der Grundprinzipien der Emissionsberichterstattung – hier des in Kapitel 2.1 (Randziffer 15) genannten Absatzprinzips – allerdings ebenso wenig eine Rolle für die Feststellung des Ergebnisses wie die spezifischen Witterungsbedingungen des Jahres 2020.

Insgesamt konnte in der stichprobenartigen Überprüfung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor (siehe Kapitel 3.2.1) die grundlegende Methodik des Umweltbundesamtes – auch über die hier zuvor genannten Teilsektoren hinaus – nachvollzogen werden. Im Gesamtergebnis liefert die durchgeführte Analyse für die Treibhausgasemissionen des Sektors Gebäude keinen Anhaltspunkt dafür, dass das Umweltbundesamt bei seiner Punktwertschätzung zwingend zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen. Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik als grundsätzlich mit hohen Unsicherheiten verbunden ein (UBA 2021d, S.22). Es gibt keine Hinweise dies anders zu sehen.

- 119 Auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 hat der **Verkehrssektor** das Ziel von 150 Mt CO₂e eingehalten. Der Punktwert der Vorjahresschätzung liegt 4 Mt CO₂e unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Der Punktwert liegt im Unsicherheitsbereich der Vorjahresschätzung. Der Zielwert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 91% unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs für den Sektor eingehalten. Aus diesem Grund ist die Zielerreichung im Sektor Verkehr als **sehr wahrscheinlich** einzustufen.

Gütebetrachtung der Vorjahresschätzung: Im Verkehrssektor entstammt ein Großteil der Emissionen aus den Verbrennungsprozessen von Antrieben, welche Mineralöl (Benzin und Diesel), Kerosin und zu einem geringen Anteil Gas nutzen. Etwa 98% der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor sind dem Straßenverkehr zu zuordnen. Die restlichen Emissionen werden durch den inländischen Bahn-, Flug- und Schiffsverkehr generiert. Etwa 99% der Treibhausgasemissionen bestehen aus CO₂, andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas spielen im Verkehrssektor eine chemisch bedingt untergeordnete Rolle.

Deshalb wurde die Schätzung des Umweltbundesamtes der CO₂-Emissionen für den Straßenverkehr zusätzlich geprüft. Die Berechnung dieser Emissionen des Umweltbundesamtes konnte unter Annahmen bestätigt werden (siehe Kapitel 3.3.2). Eine weitere Abschätzung einer Studie des MCC (Creutzig et al. 2021) der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr basierend auf Aktivitätsdaten liefert einen um 3,75 Mt CO₂ höheren Wert (144,33 Mt CO₂) gegenüber der Schätzung des Umweltbundesamtes. Dieser Wert beinhaltet allerdings nicht die vom Umweltbundesamt geschätzten Emissionsreduktionen gegenüber 2019, die aufgrund gestiegener Verbrauchswerte für die E-Mobilität und Biokraftstoffe sowie bedingt durch technischen Fortschritt mit etwa 2 Mt CO_{2e} ermittelt wurden. Zieht man diese 2 Mt CO_{2e} von dem vom MCC ermittelten Wert ab, liegt die Abschätzung der MCC Studie bei 142,33 Mt CO₂ und damit 1,75 Mt CO₂ höher als die Schätzung des Umweltbundesamtes, aber immer noch unterhalb des Sektorziels.

Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik mit einer hohen Grundgenauigkeit ein (UBA 2021d, S.13). Es gibt keine Hinweise dies anders zu sehen, auch wenn Potenziale für den Einbezug weiterer Daten vorhanden sind.

- 120 Auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 hat der **Landwirtschaftssektor** das Ziel von 70 Mt CO_{2e} eingehalten. Die Vorjahresschätzung liegt 4 Mt CO_{2e} unter dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Der Zielwert liegt im Unsicherheitsbereich der Vorjahresschätzung. Der Zielwert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 65% unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs für den Sektor eingehalten. Aus diesem Grund ist die Zielerreichung im Sektor Landwirtschaft **als ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich** einzustufen.

Gütebetrachtung der Vorjahresschätzung: Im Sektor Landwirtschaft liegen vorläufige Aktivitätsdaten vor, welche in ein Berechnungsmodell zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen einfließen. Durch teils vorläufige Daten können sich noch Änderungen in den Daten Mitte des Jahres ergeben, die aber in der Vergangenheit eher klein ausfielen. Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik der Aktivitätsdaten als relativ zuverlässig ein (UBA 2021d, S.33), wobei das Ausmaß der Ergebnisse der im Jahr 2020 durch das Statistische Bundesamt durchgeführten neuen Landwirtschaftszählung noch nicht abgeschätzt werden kann. Allerdings seien die sektoralen Emissionsfaktoren von einer vergleichsweise hohen Unsicherheit geprägt. Daraus resultiere eine recht geringe Präzision der sektoralen Emissionsschätzung. Es gibt keine Hinweise dies anders zu sehen.

- 121 Auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 hat der Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** das Ziel von 9 Mt CO_{2e} eingehalten. Die Vorjahresschätzung entspricht dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Der Zielwert liegt im Unsicherheitsbereich der Vorjahresschätzung. Der Zielwert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% unter Berücksichtigung des

²⁵ Die Studie betrachtet CO₂-Emissionen und keine anderen Treibhausgase, die allerdings im Verkehrssektor insgesamt nur einen sehr kleinen Beitrag von 1% ausmachen. Auch weitere Posten, wie Motorräder, leichte Nutzfahrzeuge und der Schienenverkehr konnten aufgrund der Datenlage nicht in die Analyse miteinbezogen werden.

Unsicherheitsbereichs für den Sektor eingehalten. Aus diesem Grund ist die Zielerreichung im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges **als ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich** einzustufen.

Gütebetrachtung der Vorjahresschätzung: Die Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden vor allem durch historische Deponierung bestimmt. Der vom Umweltbundesamt berechnete Unsicherheitsbereich der Schätzung im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist sowohl im Vergleich zu den anderen Sektoren als auch im Verhältnis zur Emissionsmenge sehr hoch. Das Umweltbundesamt schätzt die Zuverlässigkeit der Daten und Methodik der Aktivitätsdaten als vergleichsweise hoch ein (UBA 2021d, S.37). Allerdings sind die sektoralen Emissionsfaktoren von einer vergleichsweise hohen Unsicherheit geprägt. Da das Umweltbundesamt zudem den Unsicherheitsbereich der Aktivitätsdaten mit 46,7% angibt, gibt es Hinweise dies anders zu sehen.

5.2 Feststellungen zum Ausgleichsmechanismus

122 Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht im § 4 Abs. 3 einen Ausgleichsmechanismus vor, der ab dem Erfassungsjahr 2021 wirksam wird. Durch die Regelung ist gesetzlich vorgeschrieben, Sektorzielüber- und -unterschreitungen in die Folgejahre zu transferieren. Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht vor, dass Über- und Unterschreitungen in einem Sektor ohne Verrechnung mit anderen Sektoren gleichmäßig auf den Zeitraum bis zum Zieljahr 2030 anzurechnen sind²⁶ und entsprechend die im Bundes-Klimaschutzgesetz verankerten Ziele für die jeweiligen Jahre zu adjustieren sind.²⁷ Über den Mechanismus steigt die Hebelwirkung mit der Reduktion der Laufzeit bis zum Zieljahr nach § 3 Abs.1 KSG.

Da der Ausgleichsmechanismus erst mit dem Jahr 2021 startet, haben die in 2020 auftretenden sektorspezifischen Über- und Unterschreitungen des Klimaschutzgesetzes keinen Einfluss auf die Sektorziele der nachfolgenden Jahre. Entsprechend wirken sich weder die durch Sondereffekte und Einsparungen (siehe Kapitel 6 zu den Sondereffekten) auftretenden Unterschreitungen noch die im Gebäudesektor durch das Umweltbundesamt ermittelte Überschreitung anpassend auf die Sektorziele der Folgejahre aus.

123 Bei der Beurteilung des Ausgleichsmechanismus ab dem nächsten Jahr fallen aber bereits heute drei Aspekte auf, die diskussionswürdig sind:

- Nach §4 Abs. 3 KSG löst der vom Umweltbundesamt ermittelte Punktwert für einen Sektor in der Vorjahresschätzung den Ausgleichsmechanismus aus, unabhängig von der Bandbreite des **Unsicherheitsbereichs**. Wie in Kapitel 4.3 diskutiert, liegt der Punktwert in einer Normalverteilung, sodass sich aus einer statistischen Betrachtung eine Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung, beziehungsweise Zielverfehlung, errechnen lässt (siehe letzte Spalte in Tabelle 3).
- Die verfügbare Datenlage zum Zeitpunkt der Vorjahresschätzung ist noch vorläufig, wie das Umweltbundesamtes selbst ausführt (UBA 2021e, S.3). Da der Ausgleichsmechanismus im

²⁶ Bei der Anpassung sind die EU-rechtlichen Vorgaben zu berücksichtigen. Siehe dazu: Amtsblatt der Europäischen Union, Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018, Artikel 5 Abs. 1 - 3.

²⁷ Die Anpassungen errechnen sich nach der Formel: $KSGA_{2030e} = eKSG_{2030e} \frac{SGA_{je} VJS_j}{2030e je}$
mit: KSGA = Angepasstes KSG-Ziel des Sektors, KSG = KSG-Sektorziel nach Anlage 2 des Bundes-Klimaschutzgesetzes, i = betrachtetes Jahr zwischen 2021 und 2030, VJS = Vorjahresschätzung.

§ 4 Abs. 3 KSG durch den Punktwert des Jahres der Vorjahresschätzung ausgelöst wird, wird die fortschreitende Verbesserung der Datenlage für die Berechnung der Jahrestreibhausgasemissionswerte (siehe Kapitel 4.2) in den auf die Vorjahresschätzungen folgenden Nationalen Inventaren für das betrachtete Jahr nicht berücksichtigt. Wie im Kapitel 4.2.3 bereits ausgeführt, sind diese Bereinigungen durch die bessere Datenlage in den Nationalen Inventarberichten von nicht zu vernachlässigendem Umfang²⁸.

- Einmalige Sondereffekte, wie die gegenwärtige Covid-19-Pandemie, haben durch den Ausgleichmechanismus einen anhaltenden Einfluss auf die zukünftigen Sektorziele, auch wenn es sich – zumindest teilweise – um einen einmaligen Sondereffekt handelt, der keinen dynamischen Effekt im Sinne einer strukturellen Veränderung beinhaltet. Dies kann bei Unterschreitungen durch solche Sondereffekte in einem Jahr zu Erhöhungen der erlaubten Sektorziele in den Folgejahren bzw. bei einer Überschreitung des Sektorziels durch einen einmaligen Sondereffekt zu entsprechenden Senkungen führen. Letztere könnten dann Sofortprogramme auslösen, die ausschließlich durch den einmaligen Sondereffekt angestoßen worden sind.

5.3 Fazit

124 Die Vorjahresschätzung 2020 des Umweltbundesamtes zu den Treibhausgasemissionen wurde mit den Zielwerten des Bundes-Klimaschutzgesetzes verglichen und die Zielerreichung über die Sektoren hinweg aufgeschlüsselt für die im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren überprüft. Die Vorjahresschätzung besteht aus einem geschätzten Punktwert, der die Grundlage für den im Bundes-Klimaschutzgesetz angelegten Mechanismus zur Einleitung eines Sofortprogramms bildet. Zudem gibt das Umweltbundesamt Unsicherheitsbandbreiten der Punktwertschätzungen an.

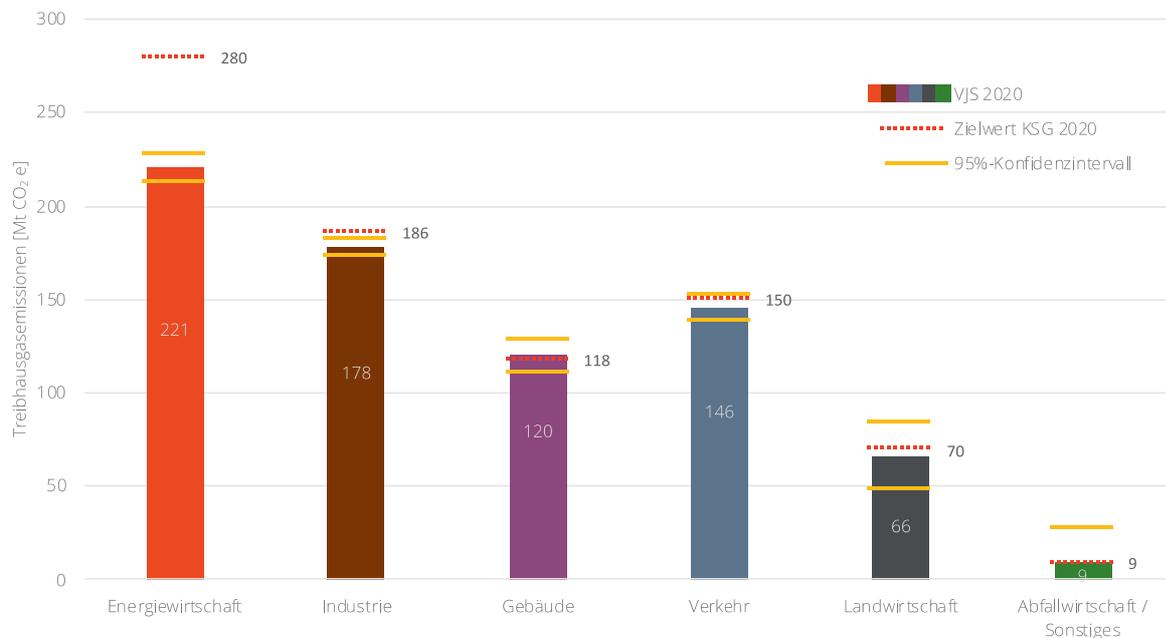
Die wesentlichen Ergebnisse der Feststellung der Zielerreichung sind: (1) Das im Bundes-Klimaschutzgesetz gesetzte sektorenübergreifende Klimaziel wie auch alle Sektorziele außer das des Sektors Gebäude wurden für 2020 erreicht. (2) Im Sektor Gebäude kommt somit der Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes zum Tragen, der darin besteht, dass das zuständige Fachressort einen Vorschlag für ein Sofortprogramm erarbeitet, über das nach einer Stellungnahme durch den Expertenrat für Klimafragen die Bundesregierung entscheidet. (3) Bei vier Sektoren (Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges) liegt der jeweilige Zielwert innerhalb des 95% Unsicherheitsbereichs der Emissionsschätzung. Damit kann unter Unsicherheitsberücksichtigung in diesen Sektoren eine Zielverfehlung nicht ausgeschlossen werden.

125 In der Abbildung 6 sind die Daten für alle Sektoren graphisch dargestellt. Die Sektorzielwerte des Bundes-Klimaschutzgesetzes werden mit den ermittelten Punktwerten der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020 verglichen. Zusätzlich verdeutlichen die gelben Linien die Maxima und Minima des 95%-Konfidenzintervalls, folglich das Unsicherheitsband, in dem die Jahresemissionen laut Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes liegen. In der Abbildung wird ersichtlich, dass der obere Rand des Unsicherheitsbands, also der Maximalwert, für die Sektoren

²⁸ Bisher betrug der höchste Durchschnitt an absoluten Korrekturen der Vorjahresschätzung zum Nationalen Inventarbericht 4,7 Mt im Industriesektor. In den anderen Sektoren lag die durchschnittliche Korrektur darunter. Es gibt bisher zu wenige historische Korrekturen, um zu sagen, mit welchem Korrekturbedarf für diese VJS zu rechnen ist. Jedoch sind auf Basis der Ausführungen in Kapitel 4.2.3 ähnlich hohe Korrekturen nicht auszuschließen.

Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstiges über dem Sektorziel nach Bundes-Klimaschutzgesetz liegt.

Abbildung 6 Zielwertvergleich Vorjahresschätzung (VJS) des Umweltbundesamtes (UBA) für das Jahr 2020 mit den zulässigen Jahresemissionsmengen des Bundes-Klimaschutzgesetzes



Daten basierend auf der Vorjahresschätzung 2021 des Umweltbundesamtes und den vom Umweltbundesamt angegebenen Unsicherheiten der Schätzung. Für die Abfallwirtschaft und Sonstiges wurde der untere Rand des Unsicherheitsbereichs nicht dargestellt. Er liegt bei Minus 10,5 Mt CO₂e. Das negative Unsicherheitsminimum ergibt sich aus der Symmetrie der Normalverteilung, ist für die Bewertung aber nicht relevant.

Eigene Darstellung.

126 In den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie werden auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes die jeweiligen Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes eingehalten. Unter der Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs kann die Zielerreichung in diesen Sektoren als **praktisch sicher** eingestuft werden. Im Industriesektor wäre jedoch auf Basis der Analysen der historischen Korrekturbedarfe durch den Expertenrat ein größerer Unsicherheitsbereich als der vom Umweltbundesamt angegebene zu erwarten gewesen, da die Anpassungen durch nachfolgende Nationale Inventarberichte höhere Abweichungen als im Unsicherheitsband ausgewiesen aufwiesen. Der Gebäudesektor hat auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes sein Sektorziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes nicht eingehalten. Unter der Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs kann die Zielerreichung im Gebäudesektor als **unwahrscheinlich** eingestuft werden. Der Verkehrssektor erreicht sein Sektorziel und die Zielerreichung kann unter Berücksichtigung der Unsicherheitsangabe als **sehr wahrscheinlich** eingestuft werden. Die beiden Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstiges haben auf Basis der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes ihre Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes eingehalten. Unter Berücksichtigung der großen Unsicherheitsbereiche ist die Zielerreichung in diesen beiden Sektoren als **ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich** einzustufen.

Teil II: Weiterführende Betrachtungen

6 Entwicklung der Treibhausgasemissionen: Analyse der Sondereffekte im Jahr 2020

127 Im Bundes-Klimaschutzgesetz ist festgelegt, dass der Expertenrat für Klimafragen die durch das Umweltbundesamt vorgelegten Emissionsdaten prüft und der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag innerhalb von einem Monat nach Übersendung durch das Umweltbundesamt eine Bewertung der veröffentlichten Daten vorlegt (§ 12 Abs. 2 KSG). Diese Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten wird innerhalb dieses Kapitels dahingehend erweitert, dass – über die in Teil I dieses Berichts durchgeführte Prüfung und Bewertung der Jahresdaten 2020 und der Methodik ihrer Ermittlung hinaus – eine genauere Betrachtung der Änderung der Treibhausgasemissionen von 2019 nach 2020 vorgenommen wird. Methodische Basis dieser Betrachtung ist die Dekomposition von Emissionsdaten in wesentliche Treiber sowohl auf aggregierter Ebene als auch für die einzelnen Sektoren. Wo möglich, wird für diese Dekomposition bereits auf für das Jahr 2020 verfügbare Daten zurückgegriffen; dies gelingt allerdings zum jetzigen, frühen Zeitpunkt angesichts noch begrenzter Datenverfügbarkeit nur für die Emissionsdaten auf aggregierter Ebene und – mit Einschränkungen – für den Sektor Energiewirtschaft (Kapitel 6.1). Für eine Trendfortschreibung der Entwicklung historischer Daten bis zum Jahr 2019 in das Jahr 2020 auf Basis angepasster Datendekompositionen liegen dagegen sowohl auf aggregierter Ebene als auch für die einzelnen Sektoren notwendige Daten vor (Kapitel 6.2). Diese Analyse erlaubt eine Abschätzung der Differenz zwischen tatsächlichen Emissionsdaten des Jahres 2020 und Emissionsdaten, wie sie sich bei Trendfortschreibung für das Jahr 2020 ergeben hätten. Damit kann eine Abschätzung zu Sondereffekten durchgeführt werden, denen angesichts der Covid-19-Pandemie und den Maßnahmen zu deren Eindämmung in 2020 eine besondere Rolle zugekommen ist. In wie weit diese Maßnahmen zu dauerhaften Trendänderungen führen ist Gegenstand der Forschung und heute noch schwer absehbar (Kapitel 6.3).

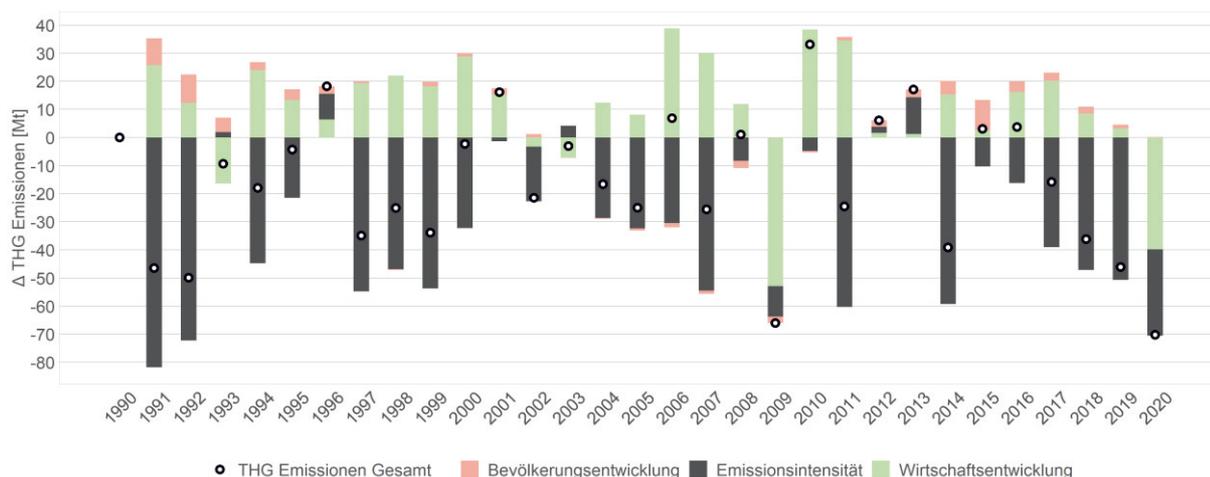
6.1 Dekompositionsanalyse: Entwicklung der Treibhausgasemissionen von 2019 auf 2020

128 Die sektorenübergreifende Dekompositionsanalyse zerlegt die Gesamtveränderung der Treibhausgasemissionen in die zentralen Komponenten Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsentwicklung sowie Emissionsintensität (hier gemessen als Treibhausgasemissionen pro Einheit Bruttoinlandsprodukt). Anhang A.2.1 enthält detaillierte Informationen zur Methodik der Dekomposition und zur verwendeten Datengrundlage. Im Jahr 2020 sind die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) nach der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (UBA 2021c) gegenüber 2019 um rund 70 Mt CO₂e – von 809,8 Mt CO₂e auf 739,5 Mt CO₂e – gesunken. **Auf Basis der Dekomposition kann der rückläufigen Wirtschaftsentwicklung ein Anteil von 56% (40 Mt CO₂e) an der Emissionsminderung (siehe Abbildung 7) zugeordnet werden.** Während die absolute Emissionsminderung 2020 im Vergleich zum Vorjahr etwa gleich hoch ausgefallen ist wie zwischen den Jahren der Finanzkrise 2008 und 2009, fällt der emissionsmindernde Beitrag der Wirtschaftsentwicklung

in 2020 etwas geringer aus. Einer verringerten Emissionsintensität können im Jahr 2020 weitere 31 Mt CO₂e gesunkener Treibhausgasemissionen zugeordnet werden. Die Bevölkerung war im Jahr 2020 im Vergleich zum Vorjahr im Wesentlichen konstant und hat demzufolge im Ergebnis der Dekompositionsanalyse keinen Anteil am Emissionsgeschehen, anders als in den Jahren von 2014 – 2018. Damit wird der seit 2014 durchgängig beobachtbare Trend eines emissionsmindernden Beitrags der Emissionsintensität fortgesetzt.

129 Im gesamten Zeitraum 1990 bis 2020 sind die Treibhausgasemissionen um rund 509 Mt CO₂e – von 1.248,6 Mt CO₂e – auf 739,5 Mt CO₂e gesunken (UBA 2021c). Dieser Rückgang ist das Ergebnis gegenläufiger Effekte bei den betrachteten Einflusskomponenten. Während das wirtschaftliche Wachstum und vor allem seit 2012 auch die Zunahme der Bevölkerung zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen in diesem Zeitraum beitrugen, wurden diese Effekte durch die deutliche Verringerung der Emissionsintensität in den meisten Jahren und damit insgesamt überkompensiert (siehe Abbildung 16 in Anhang A.2.2).

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



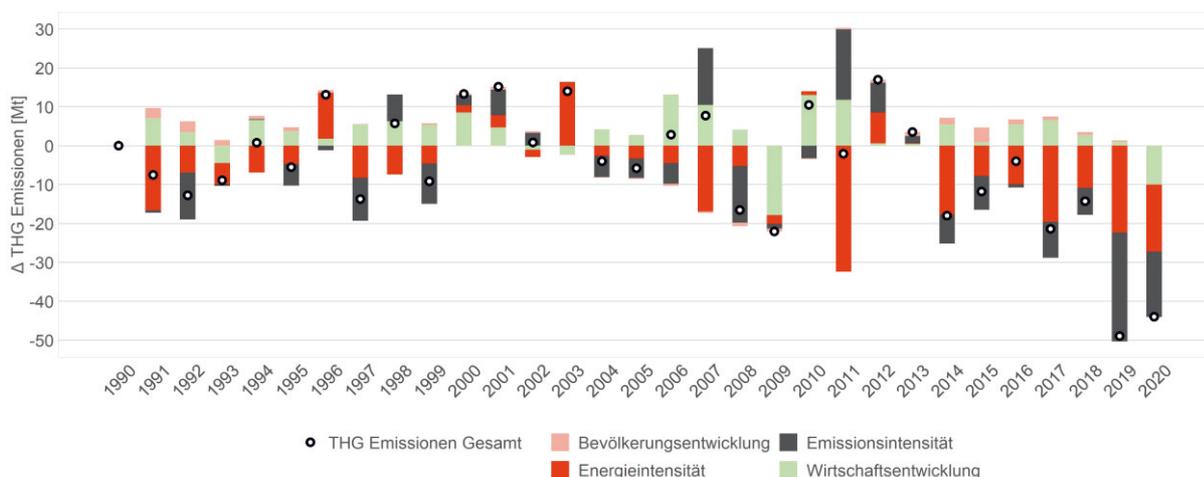
Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der Änderung der gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (gemessen als Zahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (gemessen als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf) und Emissionsintensität (gemessen als Treibhausgasemissionen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

Eigene Darstellung

130 Die Dekomposition des Sektors **Energiewirtschaft** ordnet die Komponenten Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsentwicklung, Energieintensität sowie Emissionsintensität (hier gemessen als Treibhausgasemissionen pro Einheit Primärenergieverbrauch) den jährlichen Treibhausgasemissionen aus der Erzeugung von Strom und Wärme zu (siehe Abbildung 8). Im Jahr 2020 sind die Emissionen in dem Sektor Energiewirtschaft nach der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (UBA 2021c) um insgesamt 38 Mt CO₂e gesunken. Die Dekompositionsanalyse umfasst nur rund 84% der Treibhausgasemissionen des Sektors (siehe Anhang A.2.1, Tabelle 14) und hat damit gegenüber den anderen Berichtskapiteln, die sich jeweils auf die Gesamtemissionen eines Sektors beziehen, einen etwas anderen Zuschnitt. Der Fokus der folgenden Ausführungen liegt daher nicht auf den absoluten Zahlen, sondern den relativen Anteilen der einzelnen Komponenten. **Die größten Anteile an der**

Emissionsminderung können mit 39% einer verringerten Energieintensität sowie mit 38% einer verringerten Emissionsintensität zugeordnet werden. Die restlichen 23% werden von der Dekomposition dem Faktor Wirtschaftsentwicklung zugewiesen. Damit wird deutlich, dass in der Energiewirtschaft über das allgemeine Wirtschaftsgeschehen hinaus auch sektorinterne Faktoren herangezogen werden müssen, um die Emissionsentwicklung von 2019 auf 2020 zu verstehen. Hierzu werden in Kapitel 6.3 vertiefende Betrachtungen vorgenommen. Die beiden Effekte einer verringerten Energie- und Emissionsintensität spiegeln grundsätzlich einen fortlaufenden strukturellen Wandel eines sich verringernenden Energieverbrauchs sowie die Kombination eines preisbedingten Brennstoffwechsels von Kohle zu Erdgas mit einer zunehmenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wider. Der Beitrag der Energieintensität ist im Jahr 2020 ähnlich hoch wie in den Vorjahren, was durch einen fortlaufenden strukturellen Wandel, oder durch die Nachfragereduktion der Industrie als Folge der Covid-19-Pandemie bedingt sein könnte (siehe Kapitel 6.3). Die seit 1990 uneinheitlich mal sinkenden und mal steigenden Treibhausgasemissionen sind seit 2013 kontinuierlich gesunken. Das ist maßgeblich auf die verringerte Energieintensität sowie die verringerte Emissionsintensität zurückzuführen, d.h. einer Mischung aus einer höheren Energieeffizienz, dem weiteren Zubau erneuerbarer Energien sowie dem Wechsel von Kohle zu Erdgas, u.a. bedingt durch höhere CO₂-Preise im Europäischen Emissionshandel. Diesem Absinken stehen erhöhte Emissionen durch eine positive Wirtschaftsentwicklung gegenüber (siehe Abbildung 17 in Anhang A.2.2).

Abbildung 8 Dekomposition Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr



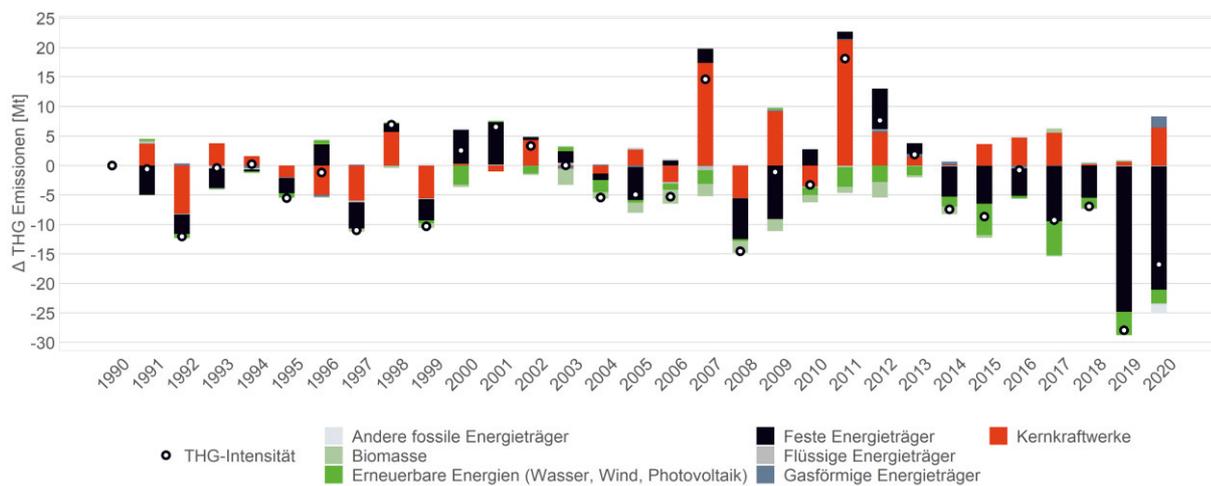
Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Zahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (BIP pro Kopf), Energieintensität (Primärenergieverbrauch pro BIP) und Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen pro Primärenergieverbrauch) in Bezug auf das jeweils vorhergehende Jahr. Die hier dargestellte Analyse deckt etwa 84% der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz ab.

Eigene Darstellung

131 Eine detaillierte Betrachtung erfolgt für den Teil der Emissionen des Sektors **Energiewirtschaft**, der in Abbildung 8 der Emissionsintensität zugeordnet wird. Abbildung 9 zeigt die Zerlegung der Veränderung der Emissionsintensität in die Veränderung der Gewichte der einzelnen Energieträger. Zur Vereinfachung der Darstellung werden alle Werte mit dem Primärenergieverbrauch multipliziert. Die

dargestellten Kreise entsprechen demjenigen Anteil der Gesamtemissionen, der in Abbildung 8 dem Faktor Emissionsintensität zugeordnet worden ist. Im Vergleich zu 2019 setzt sich der Trend eines stark emissionsmindernden Beitrags einer verringerten Kohlestromerzeugung fort, während der Wechsel von Kohle- zu Gasstrom im Jahr 2020 einem Emissionsanstieg zugeordnet wird. Die zunehmende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wirkt weiterhin emissionsmindernd, allerdings in etwas geringerem Ausmaß als 2019. Die Verringerung des Einsatzes fester Brennstoffe umfasst 83% der emissionsmindernden Komponenten. Der Beitrag zu einer Erhöhung der Emissionen von Kernkraftwerken gegenüber dem Vorjahr ist auf die Abschaltung des Kernkraftwerks Philippsburg 2 Ende 2019 zurückzuführen, da in der Berechnungsmethodik die verringerte Stromerzeugung eines treibhausgasneutralen Energieträgers zu einer relativen Erhöhung von Emissionen und damit einem Anstieg der Emissionsintensität im Energiemix führt.

Abbildung 9 Dekomposition Treibhausgasemissionen des Anteils der Emissionsintensität in der Energiewirtschaft nach Energieträgern – Änderungen im Vergleich zum Vorjahr



Die Abbildung zeigt eine detaillierte Betrachtung für den Teil der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft, der in Abbildung 8 der Emissionsintensität zugeordnet wird. Die Abbildung zeigt die Zerlegung der Veränderung der Emissionsintensität in die Veränderung der Gewichte der einzelnen Energieträger (jeweilige Balken) in Bezug auf das jeweils vorhergehende Jahr. Zur Vereinfachung der Darstellung werden alle Werte mit dem Primärenergieverbrauch multipliziert. Die dargestellten Kreise entsprechen demjenigen Anteil der Gesamtemissionen, der in Abbildung 8 dem Faktor Emissionsintensität zugeordnet worden ist. Die hier dargestellte Analyse deckt etwa 84% der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft ab. Die Komponenten umfassen fossile Energieträger (feste, flüssige, gasförmige und andere), Kernkraftwerke, Erneuerbare Energien (Wasser, Wind, Photovoltaik) und Biomasse.

Eigene Darstellung

132 Eine entsprechende Dekomposition bis einschließlich des Berichtsjahres wäre auch für die weiteren Sektoren wünschenswert, um einen ersten Anhaltspunkt für die Struktur der Veränderungen der Emissionsdaten zu erhalten. Zu diesem frühen Zeitpunkt liegen allerdings noch nicht alle Daten vollständig bis einschließlich 2020 vor. Im Rahmen der Erstellung dieses Berichts wurde für diese anderen Sektoren eine cursorische Analyse für den Zeitraum 1995-2019 durchgeführt, deren Ergebnisse sich im Anhang finden (siehe Anhang A.2.2).

6.2 Trendfortschreibung für das Jahr 2020

- 133 Mit der Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen 2020 wurde die tatsächlich realisierte Emissionsentwicklung abgeschätzt. Die erlangten Schätzwerte geben daher auch die Folgen von Sondereffekten auf das Emissionsgeschehen wieder. Das Jahr 2020 war in hohem Maße von derartigen Sondereffekten geprägt (vgl. Kapitel 6.3). Das Umweltbundesamt weist an mehreren Stellen seines begleitenden Berichts (UBA 2021d) auf diese Sondereffekte hin.
- 134 Eine quantitative Abschätzung des Einflusses von Sondereffekten auf die tatsächlichen Treibhausgasemissionen im Jahr 2020, und damit eine Abschätzung des „nicht strukturell bedingten“ Anteils des beobachteten Emissionsrückgangs, nimmt das Umweltbundesamt in seiner Vorjahresschätzung nicht vor. Eine solche Abschätzung würde anspruchsvolle methodische und datenseitige Anforderungen stellen, welche auch im Rahmen dieses Berichts nicht erfüllt werden können. Als erste, grobe Annäherung können allerdings die vom Umweltbundesamt berichteten Emissionsdaten für 2020 mit denjenigen Werten verglichen werden, die sich aus einer schlichten Fortschreibung der historischen Trends ergeben. Angesichts der Komplexität der Wirkzusammenhänge kann damit zwar keine belastbare „Was-wäre-wenn“-Aussage getroffen werden, zumal hierfür die diversen Sondereffekte („wenn“) zunächst definiert und dann methodisch voneinander isoliert werden müssten. Aber der vorgenommene Vergleich kann dennoch einen ersten Anhaltspunkt für die Größenordnung der Auswirkung von Sondereffekten auf das Emissionsgeschehen liefern.
- 135 Vor diesem Hintergrund wird nachfolgend eine solche Trendfortschreibung ermittelt. Methodisch erfolgt dies durch eine Fortschreibung einzelner Komponenten der in Kapitel 6.1 beschriebenen Dekompositionsanalyse für den Zeitraum 1995 bis 2019. Auf dieser Grundlage wird eine hypothetische Emissionsentwicklung für das Jahr 2020 berechnet. Die erzielten Ergebnisse stellen also eine auf der Fortschreibung verschiedener Faktoren abgeleitete Extrapolation des Emissionsgeschehens seit 1995 dar, in dem sie die mit Ist-Daten vorliegenden Zeitreihen für die betrachteten Faktoren (1995-2019) um einen rechnerisch ermittelten Datenpunkt für 2020 ergänzen. Dabei wird zum einen eine Datenfortschreibung auf sektoraler Ebene vorgenommen, zum anderen im Aggregat. Auf beiden Ebenen basiert die Datenfortschreibung für das Jahr 2020 auf einem ökonometrischen Ansatz in Form eines autoregressiven (AR) Modells für Zeitreihendaten. Eine genaue Beschreibung der Methodik und der dabei verwendeten Daten sowie zentraler Schätzergebnisse ist Anhang A.3 zu entnehmen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 und Abbildung 10 dokumentiert.

Tabelle 4: Aus Trendfortschreibung abgeleitete Treibhausgasmissionen im Jahr 2020 in allen Sektoren und im Vergleich mit den realen Emissionen sowie dem Zielwert im KSG

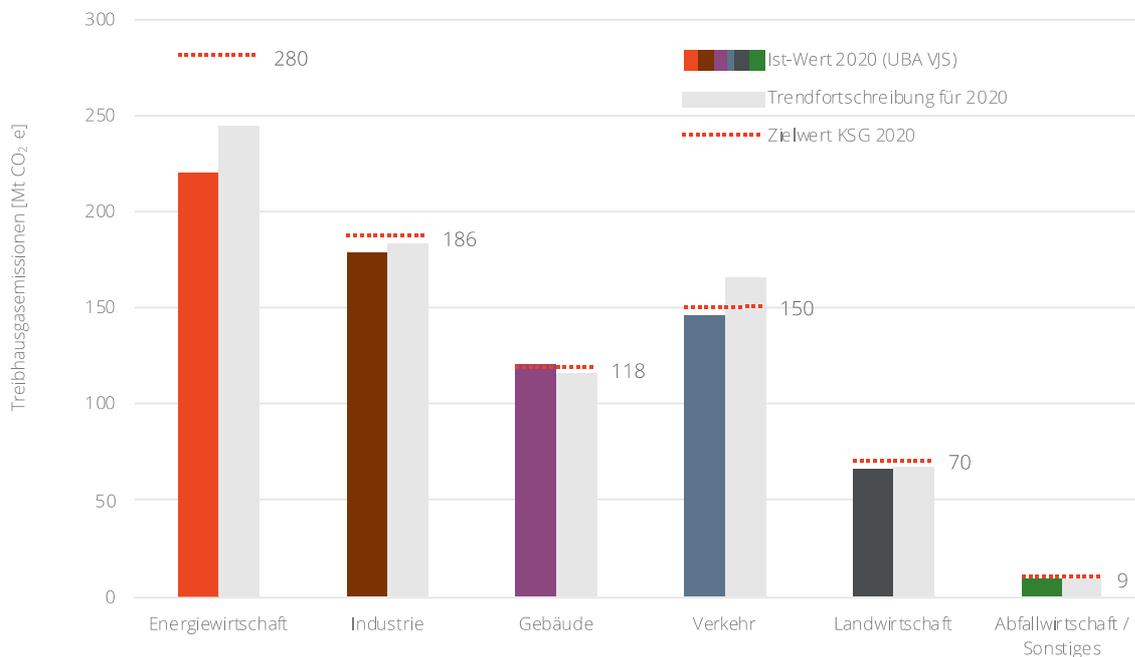
Sektor (Treibhausgasemissionen in Mt CO ₂ e)	2020 Trendfortschreibung (eigene Berechnung)	2020 Vorjahres- Schätzung (UBA)	Differenz ¹	2020 KSG -Zielwert	2020 Abweichung zum KSG-Zielwert ²	
					Trendfortschreibung	Vorjahres- schätzung
Energiewirtschaft	244,9	220,5	-24,4	280	-35,1	-59,5
Industrie	182,5	178,1	-4,4	186	-3,5	-7,9
Gebäude	115,8	120,0	+4,2	118	-2,2	+2,0
Verkehr	165,4	145,6	-19,8	150	+15,4	-4,4
Landwirtschaft	67,0	66,4	-0,6	70	-3,0	-3,6
Abfallwirtschaft und Sonstiges	8,8	8,9	+0,1	9	-0,2	-0,1
Schätzung über Summe Sektoren	784,4	739,5	-44,9	813	-27,4	-73,5
Schätzung mit übergreifendem AR- Modell	787,4	739,5	-47,9	813	-25,6	-73,5

1 Differenz zwischen Vorjahresschätzung und aus Trendfortschreibung abgeleitete Treibhausgasemissionen im Jahr 2020. Ein negativer Wert bedeutet, dass der Sondereffekt in der Summe emissionsmindernd wirkt, bei einem positiven Wert wirkt er emissionssteigernd.

2 Ein negativer Wert bedeutet eine Zielunterschreitung, ein positiver Wert eine Zielüberschreitung.

Eigene Berechnungen mittels struktureller Daten-Fortschreibung; Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (UBA 2021c)

Abbildung 10 Vergleich der Emissionsdaten der Vorjahresschätzung (Ist-Wert) mit den in der Trendfortschreibung ermittelten Werten für das Jahr 2020



Daten der Ist-Werte basierend auf der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2020. Zielwerte gemäß der zulässigen Jahresemissionsmengen Anlage 2 (zu§4) KSG; Trendfortschreibung auf Basis eigener Berechnungen mit einem autoregressiven Modell. Eigene Darstellung.

136 Im **Sektor Energiewirtschaft** werden die historischen Zeitreihen der Wirtschaftsentwicklung sowie der Emissions- und Energieintensität im Zeitraum 1995 bis 2019 für das Jahr 2020 weitergeschätzt und zur Berechnung der gesamten sektoralen Treibhausgasmissionen aggregiert. Danach liegen die Treibhausgasemissionen in der Trendfortschreibung für das Jahr 2020 bei knapp 245 Mt CO₂e (siehe Tabelle 4). Wäre die Entwicklung den bisherigen Trends gefolgt, hätten die Emissionen in diesem Sektor also um 24,4 Mt CO₂e höher gelegen als in der Vorjahresschätzung ausgewiesen. **Damit lassen sich rund 65% des im Jahr 2020 gegenüber 2019 beobachteten Rückgangs der Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft Sondereffekten jenseits des ermittelten Trends zuordnen.** Auch ohne diese Sondereffekte hätte der Sektor Energiewirtschaft im Jahr 2020 den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Zielwert deutlich unterschritten (siehe Tabelle 4).

137 Im **Sektor Industrie** erfolgt die Fortschreibung getrennt nach energie- und prozessbedingten Emissionen, für die die in der Dekompositionsanalyse unterschiedenen Treiber bis 2020 jeweils weitergeschätzt werden. Danach hätten die Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 rund 182,5 Mt CO₂e betragen, also 4,4 Mt CO₂e mehr als in der Vorjahresschätzung ausgewiesen, wenn sie dem ermittelten Trend gefolgt wären (siehe Tabelle 4). **Damit lässt sich etwa die Hälfte des im Jahr 2020 gegenüber 2019 beobachteten Rückgangs der Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie Sondereffekten jenseits des ermittelten Trends zuordnen.** Auch ohne diese Sondereffekte hätte der Sektor Industrie im Jahr 2020

den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Zielwert unterschritten, allerdings mit 3,5 Mt CO₂e (gegenüber 7,9 Mt CO₂e in der Vorjahresschätzung) nur noch knapp (siehe Tabelle 4).

- 138 Im **Sektor Gebäude** wurde zwischen Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden unterschieden und mit dem autoregressiven Modell die in der Dekompositionsanalyse berücksichtigten Treiber bis zum Jahr 2020 weitergeschätzt. Laut dieser Trendfortschreibung hätten die Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 bei 115,8 Mt CO₂e gelegen, und damit um 4,2 Mt CO₂e niedriger als in den vom Umweltbundesamt berichteten Emissionsdaten (siehe Tabelle 4). **Ohne diese emissionssteigernd wirkenden Sondereffekte gegenüber einer Trendfortschreibung hätte der Gebäudesektor damit den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Zielwert im Jahr 2020 um rund 2 Mt CO₂e unterschritten.** In der Vorjahresschätzung ist demgegenüber eine Überschreitung in der gleichen Größenordnung zu verzeichnen, die nach § 8 Absatz 1 KSG die Vorlage eines Sofortprogramms durch das zuständige Bundesministerium nach sich zieht (vgl. Kapitel 1).
- 139 Im **Sektor Verkehr** erfolgte die Trendfortschreibung auf der Basis eines autoregressiven Modellansatzes für den Straßenverkehr (unterschieden nach Personen- und Güterverkehr), welcher die in der Dekompositionsanalyse betrachteten Faktoren bis zum Jahr 2020 weiterschätzt. Nach diesen Berechnungen hätten die Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 bei 165,4 Mt CO₂e gelegen, wenn sie den Trends gefolgt wären; damit hätten die Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 leicht über dem Wert von 2019 (164,3 Mt; (UBA 2021c)) gelegen (siehe Tabelle 4). Dieser Wert liegt um knapp 20 Mt CO₂e oberhalb der in der Vorjahresschätzung ausgewiesenen Emissionsdaten für den Sektor Verkehr. Damit würden die Sondereffekte jenseits der Trendfortschreibung fast exakt der gesamten Veränderung der Emissionen zwischen 2019 und 2020 entsprechen (diese sogar noch um rund 1 Mt CO₂e übersteigen). **Ohne diese deutlich emissionsmindernd wirkenden Sondereffekte jenseits des ermittelten Trends hätte der Verkehrssektor den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Zielwert im Jahr 2020 deutlich um rund 15,4 Mt CO₂e überschritten.** In der tatsächlichen Entwicklung in der vom Umweltbundesamt vorgelegten Vorjahresschätzung ist demgegenüber eine Unterschreitung des Zielwertes um 4,4 Mt CO₂e konstatiert (Tabelle 3).

Das Umweltbundesamt selbst führt in seiner Analyse zur Vorjahresschätzung (UBA 2021b) den Großteil der Emissionsminderung im Verkehrssektor (fast 90%, 17 Mt CO₂e) auf die Covid-19-Pandemie zurück. Der stärkste Effekt wurde für den PKW-Straßenverkehr ausgewiesen. Diesen schätzt das Umweltbundesamt auf 15 Mt CO₂e. Beim inländischen Flugverkehr liegt die Emissionsminderung in Folge der Pandemiebekämpfung laut Umweltbundesamt bei 1 Mt CO₂e. Lediglich ein kleiner Teil von rund 2 Mt CO₂e kann auf den Anstieg an Neuzulassungen von Elektroautos und einen höheren Anteil an Biokraftstoffen zurückgeführt werden. **Damit ergibt sich für den Verkehrssektor aus den Angaben des Umweltbundesamtes eine hypothetische Emissionsmenge (ohne Covid-19-Effekt) von 162,2 Mt CO₂e für 2020.**

Auch das MCC führte eine eigene Abschätzung des Einflusses der Maßnahmen im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie auf den Verkehrssektor durch (Creutzig et al. 2021) und aktualisierte damit eine frühere Abschätzung (Creutzig et al. 2020). Die Analyse stützt sich auf GPS-Daten von PKW und dokumentiert den starken Rückgang der gefahrenen Kilometer im Zusammenhang mit den Maßnahmen gegen die Pandemie (-12%). Für einige weitere Bereiche des Verkehrssektors werden weitere Aktivitätsdaten ausgewertet (LKW-Maut, Fluggastzahlen, Fahrgastzahlen öffentlicher Verkehr, Binnenschifffahrt). Insgesamt liegt die Abschätzung des Covid-19-Effektes in der Studie bei -15,2 Mt

CO₂²⁹ und die **hypothetische Emissionsmenge**, die sich aus der Summe von Covid-19-Sondereffekt und dem Wert aus der Vorjahresschätzung (UBA 2021c) berechnet, **bei 160,7 Mt CO₂e** für 2020.

Die hypothetisch ermittelten Treibhausgasmissionen für das Jahr 2020 liegen somit bei Umweltbundesamt und MCC (mit 162,2 Mt CO₂e bzw. 160,7 Mt CO₂e)²⁹ etwas unter dem mit dem autoregressiven Modell geschätzten Wert. Rund 90% der ermittelten Abweichung der Emissionen von der Trendfortschreibung ließen sich demnach vor allem auf die Folgen der Covid-19-Pandemie zurückführen. **Der Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes für 2020 wäre deutlich überschritten worden, wenn die reale Emissionsentwicklung den genannten Abschätzungen oder der hier vorgenommenen Trendfortschreibung gefolgt wäre.**

- 140 Im **Sektor Landwirtschaft** wurde für die Trendfortschreibung zwischen Emissionen aus der Nutztierhaltung sowie der Agrarwirtschaft unterschieden und mit einem autoregressiven Modell die in der Dekompositionsanalyse unterschiedenen Treiber bis 2020 weitergeschätzt. Nach diesen Berechnungen hätten die Treibhausgasemissionen dieses Sektors im Jahr 2020 bei 67 Mt CO₂e gelegen, wenn sie dem Trend gefolgt wären (siehe Tabelle 4), und damit um rund 0,6 Mt CO₂e höher als in der Vorjahresschätzung ausgewiesen (siehe Tabelle 4). **Damit lassen sich etwa 40% des im Jahr 2020 gegenüber 2019 beobachteten Rückgangs der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft den Sondereffekten jenseits des ermittelten Trends zuordnen.** Aber auch ohne diese Sondereffekte hätte der Sektor im Jahr 2020 den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Zielwert unterschritten (siehe Tabelle 4).
- 141 Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** kann der autoregressive Ansatz nicht angewendet werden, da die Zeitreihen der zu regressierenden Faktoren aus der Dekompositionsanalyse (siehe Kapitel 6.1) einige Strukturbrüche aufweisen. Dies würde zu einer Erhöhung der Persistenz des Niveaus der Regressionsfehler und damit zu verfälschten Regressionen führen. Daher wird die Veränderung des Vorjahres als Basis für die Weiterschätzung der Werte für 2020 verwendet. Geschätzt wurde wiederum für die in der Dekompositionsanalyse unterschiedenen Treiber, wobei zwischen der Abfallwirtschaft und der Abwasserbehandlung unterschieden wurde. Nach diesen Trendfortschreibungen hätten die Treibhausgasmissionen im Jahr 2020 bei 8,8 Mt CO₂e gelegen und damit nur geringfügig über dem in der Vorjahresschätzung ausgewiesenen Wert (Tabelle 4). **Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges ist daher nur ein geringer Einfluss von Sondereffekten jenseits einer Trendfortschreibung zu erkennen.** Der im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegte Zielwert wäre auch in der Trendfortschreibung leicht unterschritten worden.
- 142 Der Sektor LULUCF ist durch große Schwankungen und Messprobleme gekennzeichnet. Für den genannten Sektor wird daher für die Trendfortschreibung der vereinfachende Ansatz gewählt, den Vorjahreswert zu übernehmen. Dieser lag bei -16,464 Mt CO₂e und damit in der gleichen Größenordnung wie der Wert für 2020 (-16,516 Mt) in der Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (UBA 2021c).
- 143 **Die Fortschreibung der aggregierten Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 erfolgte mit zwei unterschiedlichen Ansätzen:** Zum einen werden die dargestellten sektoralen Schätzergebnisse für die Trendfortschreibung im Jahr 2020 addiert. Ergänzend wird ein autoregressives Modell für die

²⁹ Die Studie betrachtet CO₂-Emissionen und keine anderen Treibhausgase, die allerdings im Verkehrssektor insgesamt nur einen sehr kleinen Beitrag von 1% ausmachen. Auch weitere Posten, wie Motorräder, leichte Nutzfahrzeuge und der Schienenverkehr konnten aufgrund der Datenlage nicht in die Analyse miteinbezogen werden.

Emissionsintensität auf gesamtwirtschaftlicher Ebene (hier definiert als gesamte Treibhausgasemissionen pro Einheit realem Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 2015) für die gesamten Treibhausgasemissionen geschätzt. Die Daten zur Abbildung der historischen Entwicklung der Treibhausgasmissionen wurden wie für die Dekompositionsanalyse dem Nationalen Inventarbericht entnommen (siehe Anhang A.2). Die entsprechenden Daten für das Bruttoinlandsprodukt stammen vom Statistischen Bundesamt (Destatis 2021c). Der Schätzwert der Emissionsintensität für das Jahr 2020 wird dann mit einer Wachstumsprognose für das Jahr 2020 multipliziert, welche kurz vor Bekanntwerden der Notwendigkeit strenger staatlicher Maßnahmen zur Eindämmung veröffentlicht worden ist; die angenommene Steigerungsrate liegt bei 1,1% (BMWi 2020).

144 Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse für die beiden genannten Ansätze. Die sektoralen Schätzergebnisse basieren auf detaillierteren, sektorspezifischen Daten (z.B. zur Aktivitätsentwicklung), während die Ergebnisse auf gesamtwirtschaftlicher Ebene mit hoch aggregierten Daten berechnet wurden. Trotzdem unterscheiden sich die Werte zwischen beiden Ansätzen nur um 3 Mt CO₂e, also um weniger als 0,5%: Während sich aus der Summe der sektoralen Abschätzungen ein Wert von 784,4 Mt CO₂e ergibt, liegt der entsprechende Wert auf Basis der Schätzung über die gesamtwirtschaftliche Emissionsintensität bei 787,4 Mt CO₂e. Die ermittelten Sondereffekte jenseits der Trendfortschreibung betragen damit rund 45 bis 48 Mt CO₂e. Damit läge der Anteil von Sondereffekten jenseits des ermittelten Trends an dem zwischen 2019 und 2020 beobachteten Rückgang der gesamten Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) zwischen 64 und 68 Prozent. Auch in der Trendfortschreibung wäre das Gesamtziel für die Treibhausgasminde rung im Jahr 2020 nach Bundes-Klimaschutzgesetz von 813 Mt CO₂e unterschritten worden. Die Differenz zum Zielwert ist jedoch deutlich geringer als in der tatsächlichen Entwicklung laut Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (Tabelle 4).

6.3 Qualitative Betrachtung zum Einfluss der Covid-19-Pandemie auf die Emissionsentwicklung

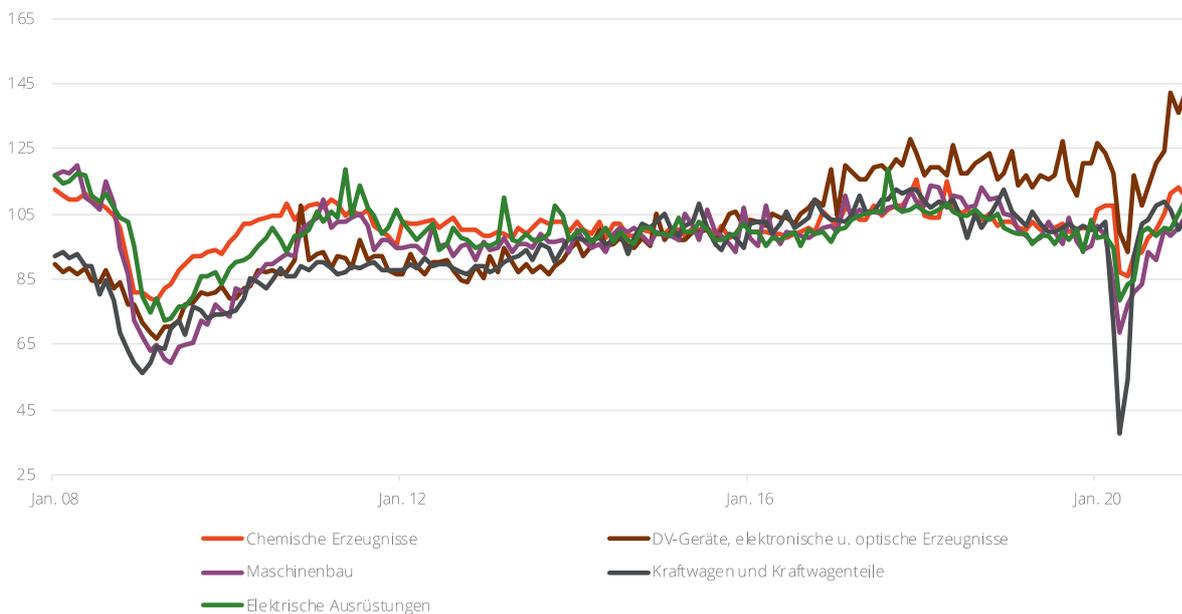
145 Die staatlichen Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie haben die Aktivitätsentwicklung auf gesamtwirtschaftlicher und sektoraler Ebene, und damit auch die Emissionen im Jahr 2020 beeinflusst. Auch wenn sich der Anteil der pandemiebedingten Einflüsse an der beobachteten Emissionsentwicklung im Rahmen dieses Berichts nicht exakt bestimmen lässt, so können durch allgemeine Betrachtungen dennoch die Bedeutung und die Wirkungsrichtung dieser Einflüsse je nach Sektor eingeordnet werden.

146 Auf der **gesamtwirtschaftlichen Ebene** wurde die rückläufige Wirtschaftsentwicklung als wichtigster Treiber für den beobachteten Rückgang der Treibhausgasemissionen zwischen 2019 und 2020 identifiziert (siehe Kapitel 6.1). Im Jahr 2020 lag das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt um rund 5% niedriger als im Jahr 2019 (Destatis 2021c). Nachdem die Bundesregierung in ihrer Herbstprognose 2019 noch von einer Steigerungsrate von 1,1% ausgegangen war (BMWi 2020), dürfte dieser deutliche Rückgang zumindest zu einem größeren Teil als Folge der Pandemie anzusehen sein. Auch der Ölpreis war durch die wirtschaftlichen Folgen der Covid-19-Pandemie beeinflusst. Aufgrund des Nachfragerückgangs ist der Ölpreis zunächst stark gesunken und erreichte seinen Tiefpunkt im April 2020 mit \$21/bbl. Unterstützt durch starke Angebotseinschränkungen durch die OPEC und einen moderaten Anstieg des Konsums und der Verkehrsleistung haben sich die Preise seit dem dritten Quartal erholt und lagen im September 2020 bei einem durchschnittlichen Preis von \$41/bbl (World

Bank 2020). Ein weiterer gesamtwirtschaftlicher Treiber ist die Bevölkerungsentwicklung. Diese wirkte nach den Ergebnissen der sektorenübergreifenden Dekompositionsanalyse bis 2019 tendenziell emissionssteigernd (siehe Kapitel 6.1). Auch diese wurde im Jahr 2020 von der Covid-19-Pandemie beeinflusst. Die Nettozuwanderung im ersten Halbjahr 2020 lag deutlich unter dem Vorjahreswert, was vor allem auf eine geringere Zuwanderung in Verbindung mit einer höheren Sterberate zurückgeführt wird (Destatis 2020d).

- 147 Der Sektor **Energiewirtschaft** war einerseits durch die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie betroffen, es wirkten im Jahr 2020 aber auch andere Sonderfaktoren. Einen Treiber des Rückgangs der Emissionen im Energiesektor bildet die rückläufige Wirtschaftsentwicklung (siehe Kapitel 6.1). Die daraus resultierende verringerte Stromnachfrage insbesondere in Industrie und Gewerbe führte dazu, dass der Bruttostromverbrauch im Jahr 2020 bei 552,2 TWh und damit rund 4,1% unter dem Vorjahreswert lag (AGEB 2021). Zudem ist der Erdgaspreis aufgrund des ebenfalls vor allem durch die Folgen der Pandemie bedingten deutlichen Rückgangs der Erdgas-Nachfrage im Verarbeitenden Gewerbe und dem GHD-Sektor um 3,4% (AGEB 2020a, 2020c) noch stärker gesunken als erwartet. Der niedrige Erdgaspreis wiederum hat die Wettbewerbssituation auf dem Strommarkt verschoben (World Bank 2020; Schulte et al. 2021). Bereits im Jahr 2019 zeigte sich ein Trend annähernder Grenzkosten der Erzeugungstechnologien (Braunkohle-, Steinkohle- und Gas- und Dampfkraftwerke). Durch die niedrigeren Erdgaspreise und den gestiegenen Preis für ETS-Zertifikate wurde dieser Trend weiter verstärkt. Im Jahr 2020 wurden nun auch Braunkohlekraftwerke zweitweise in der Merit-Order durch Gaskraftwerke verdrängt (Schulte et al. 2021). Neben den bereits genannten Faktoren führten im Jahr 2020 auch günstige Witterungsbedingungen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie die Überführung von (Braunkohle-) Kraftwerksblöcken in Sicherheitsbereitschaft und der bereits seit 2019 gestiegene CO₂-Preis zu Änderungen im Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung. So stieg insbesondere im ersten Halbjahr 2020 der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Nettostromerzeugung gegenüber dem ersten Halbjahr 2019 deutlich von 47% auf 55% an (Halbrügge et al. 2021). (Creutzig et al. 2020) schätzen, dass ca. ein Drittel der Reduktionen der Energiewirtschaft im ersten Halbjahr 2020 auf direkte oder indirekte Effekte der Pandemie zurückgehen und damit zwei Drittel strukturell bedingt sind (z. B. CO₂-Preis im EU-ETS, Zubau an Erzeugungstechnologien erneuerbarer Energie, niedriger Gaspreis).
- 148 Im Sektor **Industrie** sind sowohl die Produktion als auch der Umsatz in einigen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes aufgrund der Pandemie deutlich eingebrochen. Besonders ausgeprägt war dieser Rückgang im Bereich Kraftwagen und Kraftwagenteile, wie in Abbildung 11 ersichtlich. Sowohl Neuzulassungen innerhalb Deutschlands als auch die Anzahl der exportierten PKW sind insbesondere während des ersten Lock-downs drastisch eingebrochen (VDA 2021; KBA 2021). Laut Umfragen sind Unternehmen vielfach von Covid-19 betroffen: durch Reiseeinschränkungen, eine geringere Nachfrage, verschobene Investitionen, Probleme in der Lieferkette, etc. (DIHK 2020). Die Mehrheit der (befragten) Betriebe (60%) zeigte Kurzarbeit aufgrund von Covid-19 an, wobei Zulieferbetriebe nach eigenen Angaben mehr Kurzarbeit in Anspruch genommen haben als Endprodukthersteller oder Investitions- und Anlagenhersteller (Lerch et al. 2020). Insgesamt führte der Produktions- und Umsatzeinbruch aufgrund von Covid-19 zu einer gesunkenen Strom- und Erdgasnachfrage des Industriesektors im Vergleich zu 2019 (bdew 2020a).

Abbildung 11 Monatliche Umsatzentwicklung des Verarbeitenden Gewerbes in ausgewählten Branchen (Basisjahr 2015=100)



Dargestellt ist der Auftragseingang im Verarbeitenden Gewerbe mit dem Basisjahr 2015 = 100 (Volumenindex). Die Daten sind kalender- und saisonbereinigt mit dem Bereinigungsverfahren X13 in JDemetra

Eigene Darstellung basiert auf (Destatis 2021g)

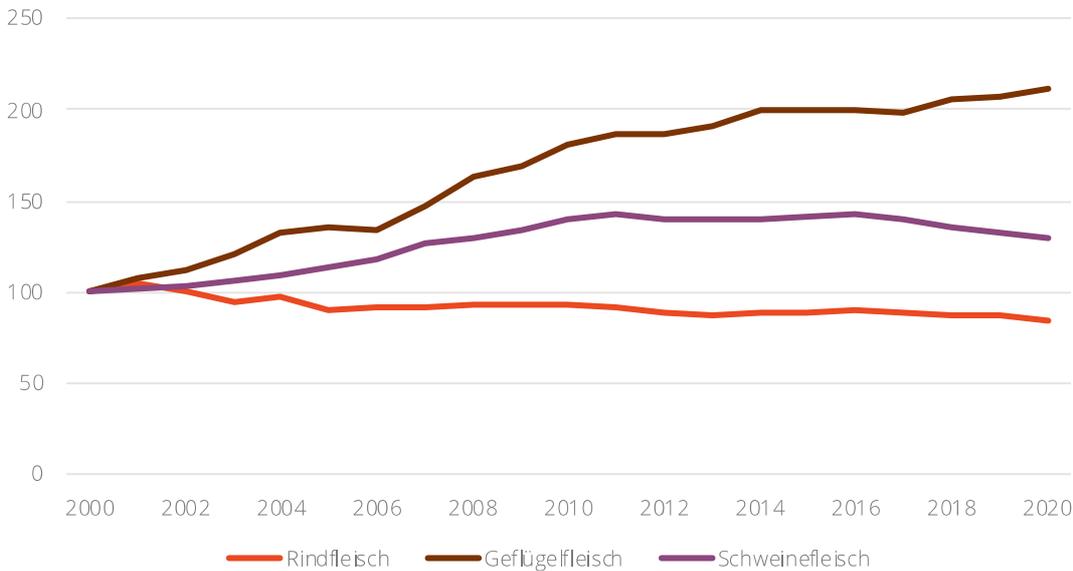
149 Im Sektor **Gebäude** sind gegenläufige Einflüsse hinsichtlich der Auswirkungen der Pandemie zu vermuten. Durch die Zunahme an Homeoffice und Kurzarbeit kam es mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Mehrverbrauch an Heizenergie in Haushalten. Auch ein vermehrtes Lüften in Schulen und Bürogebäuden könnte zu einem Mehrverbrauch beigetragen haben (UfU 2021). Dem gegenüber steht jedoch die möglicherweise etwas geringere Nutzung von Bürogebäuden, die Einschränkungen in Gastronomie und Hotellerie sowie eine Reduzierung anderweitiger Vermietung (Beherbergungsverbot), die tendenziell zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs und damit auch der energiebedingten Treibhausgasemissionen geführt haben dürften. Weiterhin traten Lagereffekte auf, die im Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor um rund 1,7 Mt CO₂e (AGEB 2021) erhöhten. Denn der niedrige Rohölpreis und der ab Januar 2021 preissteigernd wirkende CO₂-Preis sowie vermutlich auch die kurzfristig eingeführte Mehrwertsteuersenkung von Juli 2020 bis Ende des Jahres führten zu einem Bestandsaufbau an leichtem Heizöl. Die Emissionsentwicklung im Gebäudesektor wird außerdem durch die Witterungsverhältnisse beeinflusst. Im Jahr 2020 wirkte der Witterungseinfluss emissionsmindernd, da das Jahr 2020 überdurchschnittlich warm und auch wärmer als das Vorjahr war (UBA 2021d).

150 Im Sektor **Verkehr** sind die Effekte durch Covid-19 deutlich zum Tragen gekommen. Anders als im Gebäudesektor wirkten diese hier durchgängig emissionsmindernd:

- Der **Luftverkehr** wurde durch die Corona-Pandemie stark beeinträchtigt. Der für die deutsche Emissionsberichterstattung besonders relevante Inlandsflugverkehr ist im Jahr 2020 um 75% gesunken (Destatis 2021f). Der Luftfrachtverkehr wurde hingegen von der Corona-Pandemie weniger stark getroffen und verzeichnete mit insgesamt 4,5 Millionen Tonnen transportierter Luftfracht lediglich einen Verlust von 4,1% gegenüber dem Vorjahr.

- Im Straßenverkehr zeigen sich sehr deutliche Unterschiede der Jahresfahrleistungen zwischen den Jahren 2019 und 2020. Auf Bundesautobahnen ist 2020 ein Rückgang von ca. 10,8% auf allen Straßen zu beobachten (Schönebeck et al. 2020). Auch die Unfallstatistiken verzeichneten 2020 einen „historischen Tiefstand“ (Schönebeck et al. 2020). Der größte Teil der Reduktion resultiert aus der Minderung im PKW-Verkehr während der Lock-down-Phasen (Creutzig et al. 2021). Insgesamt gab es bei den PKW-Kilometern einen Rückgang von 12 Mt CO₂e. Der stärkere Rückgang bei den gefahrenen PKW-Kilometern (-12.1%) im Vergleich zum Rückgang bei der Zahl der Fahrten (5.6%) erklärt sich durch eine Abnahme der Reisedistanzen. Neben dem PKW-Verkehr zeigt sich auch beim LKW-Verkehr (Destatis 2020h) ein geringer Rückgang der Emissionen (-0.3 Mt CO₂e) in 2020 im Vergleich zu 2019.
 - Statistische Daten (Meldedaten der Verkehrsunternehmen) und experimentelle Daten (Mobilfunkdaten) sowie Befragungsergebnisse zeigen eine deutliche Abnahme der Nutzung des Nah- und Fernverkehrs mit Bus und Bahn auf (RKI & HU 2021; WZB 2020; Destatis 2020a). Neben einem Rückgang der allgemeinen Mobilität und des Mobilitätsradius zeichnet sich eine Verschiebung zugunsten einer PKW-Nutzung ab (WZB 2020). Das Fahrgastaufkommen im Fernverkehr im 1. Halbjahr 2020 ist mit 45 Millionen Personen insgesamt um 46% geringer als im 1. Halbjahr 2019 (Fernbus: -67%; Bahn: -43%). Insbesondere das 2. Quartal war hierfür ausschlaggebend: Die Fahrgastzahlen sind um 75% im Vergleich zum Vorjahreszeitraum eingebrochen (Fernbus: -96%; Bahn: -71%) (Destatis 2020a) was zu teilweise reduziertem Fahrtaufkommen führte. Statistische Daten (Meldedaten der Verkehrsunternehmen) und experimentelle Daten (Mobilfunkdaten) sowie Befragungsergebnisse zeigen eine deutliche Abnahme der Nutzung des Nah- und Fernverkehrs mit Bus und Bahn auf (RKI & HU 2021; WZB 2020; Destatis 2020a). Neben einem Rückgang der allgemeinen Mobilität und des Mobilitätsradius zeichnet sich eine Verschiebung zugunsten einer PKW-Nutzung ab. Das Fahrgastaufkommen im Fernverkehr im 1. Halbjahr 2020 ist mit 45 Millionen Personen insgesamt um 46% geringer als im 1. Halbjahr 2019 (Fernbus: -67%; Bahn: -43%). Insbesondere das 2. Quartal war hierfür ausschlaggebend: Die Fahrgastzahlen sind um 75% im Vergleich zum Vorjahreszeitraum eingebrochen (Fernbus: -96%; Bahn: -71%) (Destatis 2020a), was zu teilweise reduziertem Fahrtaufkommen führte.
- 151 Im Sektor **Landwirtschaft** haben die Folgewirkungen der Covid-19-Pandemie zu Verschiebungen und Verzögerungen in den Nahrungsmittel-Lieferketten geführt. Es gab eine geringere Nachfrage durch Restaurants und Hotels und eine erhöhte Nachfrage in Supermärkten. Dies könnte auch zu einer Zunahme von Abfällen geführt haben. Wie stark Produkte betroffen sind, die einen starken Einfluss auf die Treibhausgasemissionen haben, lässt sich noch schwer abschätzen. Des Weiteren haben die Schließungen von Schlachtbetrieben nach ersten Erkenntnissen nicht zu einer Abweichung vom Trend geführt, wie in Abbildung 12 sehen. Inwiefern aber eine längere Fütterung zu höheren Emissionen geführt haben könnte, lässt sich aktuell noch nicht abschätzen (Destatis 2021d).

Abbildung 12 Gewerbliche Fleischproduktion (Basisjahr 2000=100)



Index basiert auf Basisjahr 2000.

Eigene Darstellung basiert auf (Destatis 2021d)

152 Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** deutet sich im Bereich der privaten Haushalte eine Zunahme des Hausmülls an (Gosten und Henkel 2020). Dies ist bedingt durch mehr Müllproduktion allgemein aufgrund von Homeoffice und Kurzarbeit sowie einem steigenden Aufkommen an Verpackungsmüll (Gosten und Henkel 2020). Das Abfallaufkommen der Gewerbe- und Industrieabfälle ist hingegen seit dem ersten Lock-down eingebrochen (Gosten und Henkel 2020), sodass davon ausgegangen wird, dass es insgesamt zu keinen bedeutsamen Änderungen im Sektor gekommen ist.

6.4 Fazit

153 Das Jahr 2020 zeichnete sich durch zahlreiche Sondereffekte aus, unter denen insbesondere die Covid-19-Pandemie ein relevanter Faktor für das Emissionsgeschehen war. In Summe war der Einfluss der Sondereffekte substanziell und unterschiedlich in der Wirkrichtung auf die Emissionen in den einzelnen Sektoren. Mittels einer Dekompositionsanalyse und einer Trendfortschreibung wurde der Umfang der Sondereffekte auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 abgeschätzt. Dabei kann mittels der Dekompositionsanalyse mehr als die Hälfte der Emissionsreduktion im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr 2019 dem Faktor einer verringerten Wirtschaftsleistung (gemessen in BIP pro Kopf) zugeschrieben werden. Zudem zeigt sich in der Trendfortschreibung für die Sektoren Gebäude und Verkehr eine Abweichung gegenüber den in der Vorjahresschätzung ermittelten Werten. So hätte der Sektor Verkehr den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Zielwert mit rund 15 Mt CO₂e überschritten, während der Sektor Gebäude das Sektorziel wohl mit etwa 2 Mt CO₂e unterschritten hätte. In den anderen Sektoren wäre der im Bundes-Klimaschutzgesetz jeweils festgeschriebenen Zielwerte auch in der Trendfortschreibung eingehalten worden.

154 Im Verkehrssektor ist auch im Jahr 2021 noch nicht von einer vollständigen Erholung auszugehen, da auch weiterhin Einschränkungen des sozialen Lebens bestehen, die das Verkehrsaufkommen

reduzieren. Mittel- und längerfristige Einflüsse der Corona-Pandemie auf das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung lassen sich derzeit nur sehr schwer abschätzen, zumal sich die neuen Verhaltensweisen vermutlich umso mehr verfestigen, je länger die derzeitige Krisensituation besteht (Löschel et al. 2021). Es gibt allerdings erste empirische Hinweise, dass durch die Krise erzwungene Veränderungen mittel- und längerfristig nicht in dem Maße beibehalten werden. In Bezug auf den Mobilitätsbedarf hat sich bereits nach dem ersten Lock-down im Frühjahr 2020 ein Anstieg der Mobilität auf und über Vorjahresniveau gezeigt (RKI & HU 2021). Des Weiteren unterstützt die Pandemie die Dominanz des PKW als Verkehrsträger. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass der PKW-Bestand auch im Jahr 2020 weiter zugenommen hat (KBA 2021). Der öffentliche Personennahverkehr wird während der Pandemie weniger genutzt als bisher, was längerfristig Bestand haben könnte (Capgemini 2021; Schelewsky et al. 2020; WZB 2020). Neben dem PKW profitierte hiervon auch der Fuß- und Radverkehr (acatech 2020). Des Weiteren könnte sich der Trend zum Homeoffice und damit verbunden ein geringeres Ausmaß an Pendelverkehr verstetigen (Demmelhuber et al. 2020). Allerdings war im Vergleich zum Lock-down im Frühjahr und Herbst 2020 bereits eine deutliche Verringerung der Homeoffice-Quote zu beobachten (von 32% auf 19%, vgl. WZB (2020)).

- 155 Der wesentliche sektorenübergreifende Faktor für die Emissionsentwicklung in den Folgejahren der Pandemie dürfte das Ausmaß der erwarteten wirtschaftlichen Erholung sein. Derzeitige Wachstumsprognosen für Deutschland (Bundesbank 2020; BMWi und BMF 2020) gehen nach dem rückläufigen Wachstum im Jahr 2020 von einem Aufholprozess in den Jahren 2021 und 2022 aus, der danach wieder in einen schwächeren gesamtwirtschaftlichen Wachstumspfad von durchschnittlich rund 1% pro Jahr bis 2025 einschwenkt. Eine solche Entwicklung, der auch der derzeit noch in Erstellung befindliche Projektionsbericht 2021³⁰ der Bundesregierung folgt, würde insbesondere in den von der Wirtschaftsentwicklung stark beeinflussten Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr) in den Jahren 2021 und 2022 einen emissionssteigernden Folgeeffekt gegenüber 2020 erwarten lassen. Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen Wirtschaftsentwicklung und Emissionen ist davon auszugehen, dass auch der Emissionspfad einer solchen Entwicklung folgen wird, analog zu den Jahren nach der Finanzkrise (siehe Abbildung 7).

³⁰ Die im Projektionsbericht 2021 angenommenen Rahmendaten zur Wirtschaftsentwicklung wurden dem Expertenrat für Klimafragen vorab zur Verfügung gestellt.

7 Die deutschen Minderungsziele und die europäische Zielverschärfung

7.1 Die deutschen Minderungsziele im europäischen Kontext

- 156 Zweck des Klimaschutzgesetzes ist es, neben der Erfüllung der im Gesetz festgelegten nationalen Ziele auch die Erfüllung der europäischen Ziele zu gewährleisten (§ 1 KSG). Die Vorgaben für die Minderung von Treibhausemissionen in Deutschland reflektieren daher auch die gemeinsame europäische Zielarchitektur. Insbesondere haben sich die EU-Mitgliedstaaten im Paris-Abkommen von 2015 gegenüber der Weltgemeinschaft zu einem gemeinsamen Minderungsziel von 20% bis 2020 und von 40% bis 2030 verpflichtet, jeweils im Vergleich zum Referenzjahr 1990. Aus diesen übergreifenden Zielen hat die EU Unterziele für zwei disjunkte Bereiche abgeleitet. Zum einen erfolgt die Implementierung für jene Emissionsquellen, die dem Europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) unterliegen (EU 2013a), mittels der Begrenzung der handelbaren Zertifikate.³¹ Zum anderen unterliegen die Emissionen in den nicht vom ETS erfassten Sektoren der Effort Sharing Regulation (ESR) von 2018. Über diese hat die EU das entsprechende europäische Ziel in nationale Minderungsziele übersetzt – und die Mitgliedstaaten bindend und sanktionsbewehrt auf die Erfüllung verpflichtet. Bis 2030 sollen demnach, relativ zu 2005, in den ETS-Sektoren 43% und in den ESR-Sektoren europaweit 30% eingespart werden³² (EU 2013b). Für die deutschen ESR-Sektoren ergibt sich aus der Vorgabe der ESR ein Minderungsziel von 38%, das entspricht einem Emissionsvolumen von 301 Mt CO₂e im Jahr 2030³³.
- 157 Die Sektoren aus Anlage 2 des KSG (KSG-Ziele) lassen sich nicht eindeutig den von der EU voneinander separierten Bereichen ETS oder ESR zuordnen. Sowohl der KSG-Sektor Energiewirtschaft als auch der KSG-Sektor Industrie umfassen Emissionsquellen aus beiden Bereichen. Der Sektorenzuschnitt des KSG ist also nicht mit der europäischen Aufteilung konsistent. Der ETS-Anteil der Emissionen in dem KSG-Sektor Energiewirtschaft wird derzeit auf etwa 96% beziffert, der ETS-Anteil im KSG-Sektor Industrie auf 63% (UBA 2020b, 2021c). Unter Nutzung dieses Schlüssels ergibt sich für den deutschen ESR-Bereich aus den KSG-Zielen ein Emissionsziel von 287 Mt CO₂e für das Jahr 2030. Die KSG-Ziele für 2030 entsprechen damit einer Übererfüllung der ESR-Vorgabe für Deutschland um etwa 14 Mt CO₂e (oder rund 5%) für 2030. Es besteht also zwischen den KSG-Zielen und den bisherigen EU-Zielen keine Implementierungslücke. Für den ETS-Bereich ergibt sich nach dieser Berechnung, dass sich gemäß der aktuellen KSG-Ziele die deutschen Emissionen um 49% gegenüber 2005 mindern sollen, während der ETS-Bereich sich insgesamt wie dargestellt unter den bisherigen EU-Zielen nur um 43% mindern soll. Die Sektorziele sind demnach über alle Sektoren betrachtet konsistent mit dem bisherigen EU-Ziel von

³¹ Im Jahr 2005 betragen die deutschen ESR-Emissionen 485 Mt CO₂e (EU 2020a). Im Jahr 2005 betragen die deutschen ESR-Emissionen 485 Mt CO₂e (EU 2020a).

³² Das ESR-Ziel wird voraussichtlich schon in Folge des Brexit geringfügig unterschritten: Das Vereinigte Königreich sollte überproportional in den ESR-Sektoren mindern, und die Minderungsmengen wurden nach dem EU-Austritt nicht angepasst.

³³ Im Jahr 2005 betragen die deutschen ESR-Emissionen 485 Mt CO₂e (EU 2020a).

40% (Deutscher Bundestag 2019) und sehen sogar vor, dass Deutschland leicht überproportional zum Rest der EU mindert³⁴.

158 Für jene Anteile der KSG-Sektoren Energiewirtschaft und Industrie, die durch das EU-ETS erfasst sind, überlappen sich die deutschen mit den europäischen Vorgaben. Aus ökonomischer Sicht birgt dies das Risiko einer Doppelregulierung (Brinktrine et al. 2014), sobald ein Verfehlen des Sektorziels das zuständige Bundesministerium zwingt, ein Sofortprogramm vorzulegen³⁵. Eine eindeutige Zuordnung der Sektoren entweder zum ETS- oder ESR-Bereich würde hier für mehr Transparenz sorgen. Hierzu müssten die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie im Klimaschutzgesetz jeweils in ETS- und ESR-Bereiche aufgeteilt werden.

159 Am 11. Dezember 2020 hat der Europäische Rat beschlossen, das EU-Klimaziel für das Jahr 2030 von einer Reduktion um 40% im Vergleich zu 1990 auf mindestens 55% netto anzuheben (EU 2020c). Derzeit wird dies im Trilog-Verfahren zwischen EU-Parlament, EU-Kommission und Europäischem Rat verhandelt. Bislang ist ungeklärt, wie man sicherstellen will, dass das verschärfte Ziel auch erreicht wird. Die entsprechenden Abstimmungen auf EU-Ebene sind noch im Gange, ohne dass sich bereits eine klare Tendenz abzeichnet. In jedem Fall erscheint es notwendig, dass die europäische Architektur an das verschärfte Ziel angepasst wird (Knodt et al. 2020).

160 Ein Teil der zusätzlichen Minderungsleistung könnte dem ETS zugewiesen werden und über verschiedene Mechanismen zur Anpassung der Zertifikatmenge umgesetzt werden³⁶. Diese von den ETS-Sektoren geforderte Emissionsminderung wird durch den wettbewerblichen Mechanismus des Emissionshandels auf die Mitgliedsstaaten verteilt, also auch auf die deutschen ETS-Sektoren. Eine EU-Vorgabe für einzelne Mitgliedsstaaten ist hier weder notwendig noch vorgesehen.

161 Der andere Teil der zusätzlichen Minderungsleistung – der nicht auf diesem Wege dem ETS zugewiesen und durch es implementiert wird – muss vom ESR-Bereich erbracht werden. Um die Erreichung dieser zusätzlichen Minderungsleistung dort sicherzustellen, gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten, die jeweils unterschiedliche Auswirkungen auf die Regulierung in den Mitgliedstaaten hätten (siehe Abbildung 13):

- i) Erstens könnte die zusätzliche Minderung in den ESR-Sektoren durch eine Nachschärfung bzw. Neuverhandlung der nationalen ESR-Ziele auf die einzelnen Mitgliedsstaaten verteilt werden („Variante 1“ in Abbildung 13).³⁷
- ii) Wenn auf eine Nachschärfung der ESR verzichtet wird, könnte zweitens die EU-Ebene die gesamte Verantwortung für das neue Gesamtziel in den ESR-Sektoren übernehmen. Sie könnte ein Mengeninstrument mit einer festen Emissionsobergrenze implementieren – beispielsweise ein

³⁴ Der Gesetzgeber gibt in seiner Begründung für das Klimaschutzgesetz an: „Insbesondere ist das nationale Ziel einer Treibhausgasreduzierung von mindestens 55% bis 2030 gegenüber dem Emissionsniveau von 1990 nahezu deckungsgleich mit dem auf Deutschland entfallenden Anteil an der Erreichung des europäischen Klimaziels für 2030, der durch europäische Rechtsakte festgelegt wurde.“ (Deutscher Bundestag 2019, S. 27)

³⁵ Ein Teil dieser möglichen Doppelregulierung und dem damit verbundenen Wasserbetteffekt kann allerdings von der Marktstabilitätsreserve abgefangen werden (Perino 2018).

³⁶ Drei Mechanismen werden diskutiert: Einführung eines höheren linearen Reduktionsfaktors (LRF), ein Rebasings der Emissionsobergrenze, oder eine temporäre Anhebung der Entnahmerate der Marktstabilitätsreserve (Burger et al. 2020).

³⁷ Es bestünde auch die Möglichkeit, die Ziele über zusätzliche freiwillige Selbstverpflichtungen der Mitgliedsstaaten zu erreichen. Diese würden sich in Summe zu dem verschärften Minderungsziel ergänzen. Der Unterschied zu einer Neuverhandlung der ESR besteht vor allem darin, dass eine Verfehlung des verschärften Ziels nicht sanktioniert wird: Sie würde keine Strafzahlungen nach sich ziehen, sofern das ursprüngliche ESR-Ziel erreicht wurde. Das erhöht die Gefahr der Zielverfehlung.

neues europäisches Emissionshandelssystem für diesen Bereich (Edenhofer et al. 2021) oder auch ein sektorenübergreifendes Emissionshandelssystem („Variante 2“).

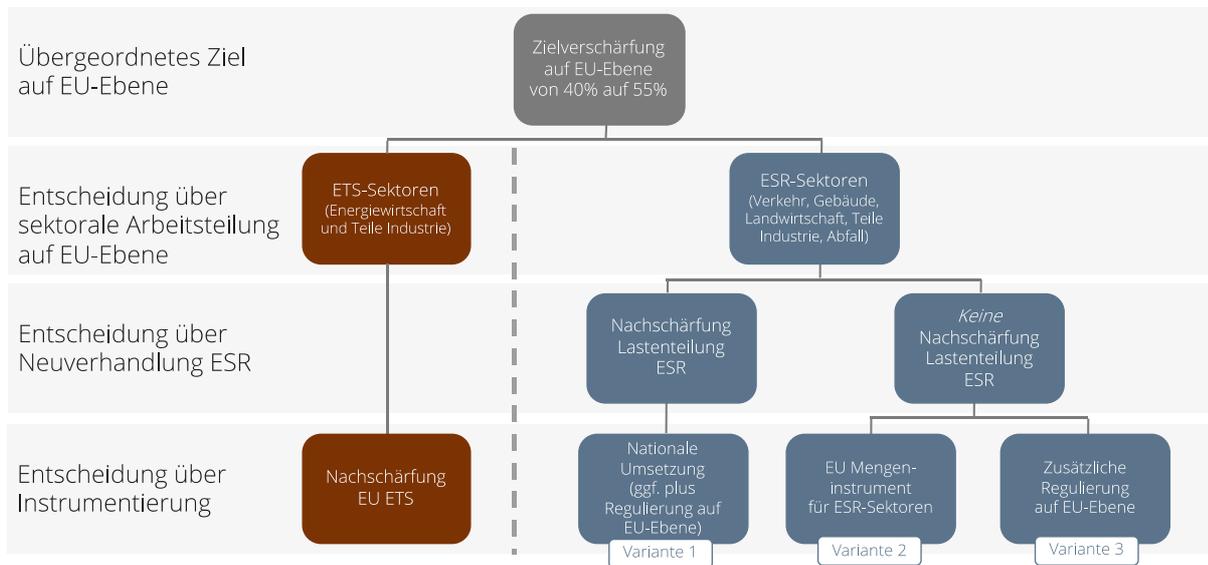
- iii) Bei der dritten Möglichkeit wird ebenso wie in Variante 2 auf eine Nachschärfung der ESR verzichtet. Auch hier wird die zusätzliche Minderung an die EU-Ebene delegiert – aber sie wird nicht mit einem Mengeninstrument umgesetzt, sondern über andere regulatorische Maßnahmen („Variante 3“). Alle von der EU zur Umsetzung dieser Verantwortung ergriffenen Maßnahmen müssten dann allerdings strikt zusätzlich zu dem sein, was die Mitgliedsstaaten zur Erreichung der bisherigen nationalen ESR-Ziele an Maßnahmen implementieren. Und diese Zusätzlichkeit müsste ex-post auch nachgewiesen werden können.³⁸ Insgesamt erscheint es ein komplexes Unterfangen zu sein, das neue 55% Ziel in geteilter Verantwortung zwischen den Mitgliedstaaten (für das „alte“ 40%-Ziel) und der EU (für die zusätzlichen Minderungsmengen) treffsicher und kosteneffizient implementieren zu wollen.

162 Die dem ESR-Bereich zugewiesenen zusätzlichen Minderungsleistungen können also entweder durch eine Verschärfung der nationalen ESR-Ziele implementiert (Variante 1) oder über die Einführung eines nur auf den ESR-Bereich zielenden neuen Mengeninstruments auf EU-Ebene erbracht werden (Variante 2). In beiden Varianten sind komplexe zwischenstaatliche Verhandlungen über Verteilungsfragen erforderlich: entweder in Bezug auf die nationalen Verpflichtungen oder eben in Bezug auf das neue Mengeninstrument, also Anfangsausstattung und Verteilung der Auktionserlöse sowie die Rolle der derzeitigen ESR-Ziele.³⁹ Die dritte Variante, bei der die zusätzliche Minderung nur auf EU-Ebene delegiert wird, ohne sie mit einem umfassenden Mengeninstrument zu unterlegen, birgt das Risiko einer Implementierungslücke.

Bei den drei Varianten handelt es sich um idealtypische Varianten. Prinzipiell denkbar ist auch, dass nur Teile der ESR (z. B. Verkehr und/oder Gebäude) über ein Mengeninstrument abgedeckt werden, während die restlichen Sektoren in der ESR verbleiben. Weiterhin besteht die Möglichkeit eines freiwilligen Opt-ins, d.h. dass einzelne Mitgliedsstaaten ihre ESR-Sektoren in das EU-ETS überführen (Agora & Ecologic 2021), oder auch eine Neuverhandlung der ESR mit anschließender Einführung eines Mengeninstruments für den ESR-Bereich.

³⁸ Insbesondere müsste für die korrekte Anwendung der bisherigen ESR eine Abgrenzung möglich sein: Die Mitgliedsstaaten müssten die von der EU bewirkten zusätzlichen Minderungsmengen bei der Bewertung ihrer jeweiligen Zielerreichung in Abschlag bringen können. Eine solche Abgrenzung wäre methodisch herausfordernd.

³⁹ Die ESR und die mit ihr verbundenen nationalen Ziele sind in Variante 2 entweder nur noch eine Art Mindestbeitrag zur Emissionsminderung oder sie werden gänzlich obsolet. Im letzteren Fall könnten die ursprünglichen ESR-Ziele durch die Anfangsausstattung mit Zertifikaten abgebildet werden oder auch durch den möglichen Verteilungsschlüssel der zusätzlichen Einnahmen zwischen den Mitgliedsstaaten. Zu bedenken ist, dass der Aufbau eines Handelssystems Zeit braucht. Der Minderungspfad müsste nach Abschluss der Implementierung entsprechend steiler sein.

Abbildung 13 Übersicht von Umsetzungsmöglichkeiten der Zielverschärfung auf EU-Ebene⁴⁰

Eigene Darstellung

7.2 Auswirkungen der EU-Entscheidungen auf KSG-Ziele

163 Welche Auswirkungen die EU-Zielverschärfung auf die KSG-Ziele haben könnten, hängt von den noch ausstehenden europäischen Entscheidungen ab. § 3 Abs. 3 KSG definiert das Procedere für den Fall, dass zur Erfüllung europäischer Klimaschutzziele höhere nationale Klimaschutzziele erforderlich werden: Wenn die EU-Zielverschärfung für den ESR-Bereich mittels einer entsprechenden Verschärfung der nationalen ESR-Ziele erfolgt (Variante 1), muss die Bundesregierung die KSG-Ziele entsprechend anpassen, um die Implementierung in Deutschland sicherzustellen. Die Höhe dieser Anpassung hängt sowohl vom Anteil der ESR-Sektoren am EU-Gesamtziel ab als auch dem Anteil, den Deutschland an der zusätzlichen Emissionsminderung in den europäischen ESR-Sektoren übernehmen soll. In Variante 2 ist das anders: Hier müssten für jenen Teil der EU-Zielverschärfung, für dessen Umsetzung die Verantwortung auf der europäischen Ebene verbleibt, die Sektorziele national nicht zwingend angepasst werden. Ausgenommen sind also das verschärfte ETS-Ziel und ggf. ein zusätzliches europaweit sicher implementiertes ESR-Ziel. Die Zielerreichung auf EU-Ebene ist in diesem Fall bereits durch europäische Regulierung sichergestellt⁴¹. Werden beispielsweise die europäischen Ziele für den ETS verschärft, so erhöht ein steigender Zertifikatpreis voraussichtlich auch in den deutschen ETS-Sektoren den Anreiz zur Emissionsminderung – und führt damit mittelbar zu einer Übererfüllung der bestehenden deutschen Sektorziele in der Energiewirtschaft und in der Industrie.

164 Eine gesonderte instrumentelle Problematik ergibt sich daraus, dass die KSG-Sektoren Energiewirtschaft und Industrie zum Teil dem ETS- und zum Teil dem ESR-Bereich zugeordnet sind. Soweit die EU-

⁴⁰ Der Sektor Energiewirtschaft ist zu einem geringen Anteil von weniger als 5% auch im ESR-Bereich vertreten.

⁴¹ Weitere Ursachen für Marktversagen, die ein in Variante 2 implementierter Emissionshandel nicht adressiert, könnten auf EU-Ebene adressiert werden und müssten nicht notwendiger Weise auf nationaler Ebene erfolgen. Unterschiedliche nationale Präferenzen beim Ambitionsniveau könnten über nationale Mindestpreise ausgedrückt werden. Es müsste dann aber sichergestellt werden, dass Zertifikate im EU-ETS stillgelegt werden, sodass Zusatzanstrengungen auch zu tatsächlichen Zusatzminderungen führen.

Zielerreichung nationale Implementierung erfordert (Variante 1 und ggf. Variante 3), müssten die KSG-Sektorziele entsprechend angepasst werden. Allerdings erlaubt es die Aggregation von ETS- und ESR-Anlagen innerhalb der aktuellen KSG-Sektorendefinition dem zuständigen Bundesministerium nicht, das nationale ESR-Sektorziel in diesen Bereichen zielgenau anzusteuern. Hier würde eine Aufteilung der KSG-Sektoren Energiewirtschaft und Industrie in ETS- und ESR-relevante Bereiche diesbezüglich Abhilfe schaffen.

- 165 Darüber hinaus kann ein politisches Interesse an einem sektoralen Herunterbrechen der EU-Zielverschärfung auf Deutschland auch für die Varianten bestehen, bei denen das KSG die Zielanpassung nicht zwingend vorschreibt. Als mögliches Argument wird beispielsweise angeführt, dass eine solche nationale Zielverschärfung in allen Sektoren notwendig sei, um den Handlungsdruck über die klare politische Verantwortung bei einzelnen Ministerien zu stärken. Weiterhin wird als ein mögliches Argument für eine Anhebung aller nationalen Sektorziele angeführt, dass Deutschland eine europäische Vorreiterrolle einnehmen solle. In diesem Fall würden auch die KSG-Ziele für jene Sektoren angepasst, für die auf EU-Ebene Maßnahmen bestehen oder eingeführt werden (etwa ein Mengeninstrument für den ESR Bereich), die die Erreichung der erhöhten Zielsetzungen prinzipiell bereits gewährleisten. Damit würden die bereits bestehenden, nationalen Mindestgrenzen für die in Deutschland zu erreichenden Minderungsleistungen in den europäisch regulierten Bereichen weiter verschärft (in der Regel zugunsten einer Reduktion des Minderungsdrucks in den anderen Mitgliedstaaten der EU). Aufgrund der europäischen Regulierung entstehen sowohl mit Blick auf die Klimawirkung (effektive Emissionsminderung) als auch die ökonomischen Effekte (Verteilungswirkungen zwischen den EU-Mitgliedstaaten) komplexe Wechselwirkungen, die für eine Bewertung dieser Maßnahme abgeschätzt und berücksichtigt werden müssten.

7.3 Quantitativer Ausblick

- 166 Mit dem neuen EU-Ziel verringert sich die gesamte europäische Zielmenge für 2030 von 2.973 Mt CO₂e auf 2.249 Mt CO₂e.⁴² Es müssen demnach in der EU zusätzliche 677 Mt CO₂e im Jahr 2030 eingespart werden. Wie sich diese notwendige Minderung quantitativ auf das deutsche übergeordnete Ziel von derzeit 55% Minderung bis 2030 (§ 3 Abs. 1 KSG) sowie auf die Sektorziele auswirkt, hängt von zwei übergreifenden Stellgrößen ab: i) von der Aufteilung der EU-Zielverschärfung auf den ETS- und den ESR-Bereich (siehe Abbildung 13) und ii) davon, welchen Anteil der Minderungen im ESR-Bereich Deutschland erbringen muss. Zu beiden Stellgrößen lassen sich erste Abschätzungen machen. Abschließend quantifizieren lässt sich dies vor dem oben geschilderten Hintergrund aber erst nach Klärung wichtiger Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene.
- 167 Abbildung 14 illustriert, inwieweit die deutschen ESR-Sektoren zur Erreichung der europäischen Klimaschutzziele beitragen könnten, und zwar für unterschiedliche Minderungen durch das EU-ETS auf europäischer Ebene. Nach den Impact-Szenarien der EU-Kommission (EU 2020d) (Durchschnitt von MIX-, REG- und CPRICE-Szenario) für das erhöhte Ziel soll das EU-ETS um 65% (statt bisher vorgesehen 43%) gegenüber 2005 mindern. Das entspräche einem Anteil von 58% der Minderung im Verhältnis zum ESR-Sektor (statt bisher 55,2%). Die ESR-Sektoren müssen nach dieser Rechnung um 39% (statt bisher vorgesehen 30%) mindern. Für die Aufteilung der jeweiligen zusätzlichen Minderungsleistung im ESR-

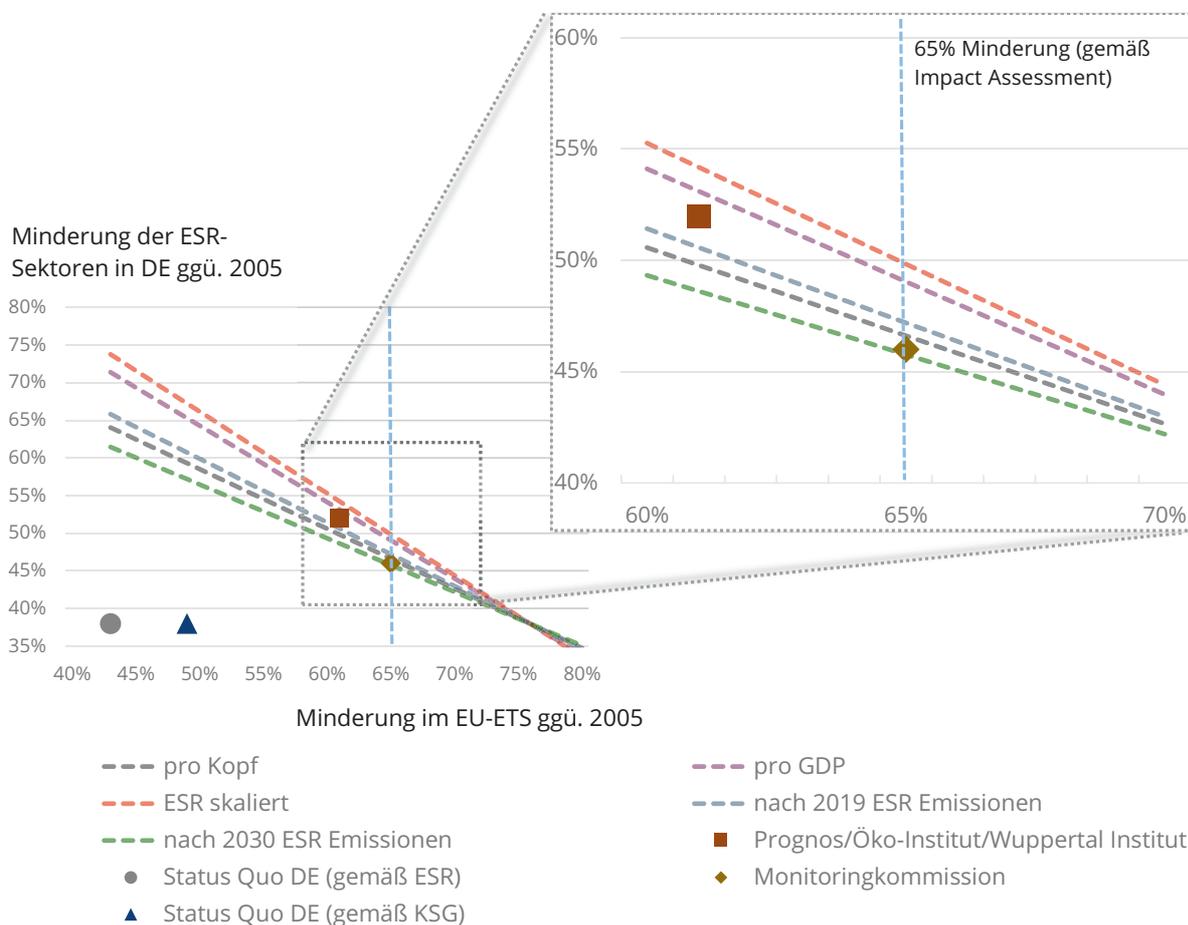
⁴² Zugrunde liegt hierbei die Gesamtemissionsmenge von 4.603 Mt CO₂e im Jahr 1990 exklusive internationaler Luftfahrt (EEA 2021).

Bereich auf die Mitgliedstaaten werden hier verschiedene illustrative Verteilungsschlüssel verwendet: a) nach Bruttoinlandsprodukt, b) nach Bevölkerung, c) nach bisheriger Aufteilung für die ESR-Sektoren, d) nach ESR-Emissionen in 2019 sowie e) nach ESR-Emissionen 2030.

- 168 Je nach Schlüssel, den man bei der Aufteilung der ESR-Zielverschärfung auf die Mitgliedsstaaten ansetzt, würden sich unterschiedliche neue Minderungsziele für den deutschen ESR-Bereich ergeben. Unterstellt man beispielsweise für den ETS das von der EU-Kommission untersuchte Szenario von 65% Minderung gegenüber 2005 (gestrichelte vertikale Linie in Abbildung 14), würden die unterschiedlichen illustrativen Verteilungsschlüssel zu einer Erhöhung des deutschen ESR-Ziels für 2030 von derzeit 38% im Vergleich zu 2005 auf 46 - 50% führen. Die tatsächliche Gesamt-minderung in Deutschland hängt wie dargestellt von vielen Faktoren ab. Variiert man die Annahmen anhand von denkbar erscheinenden Szenarien⁴³ für mögliche Ausprägungen der diversen Faktoren, könnte sich im Jahr 2030 eine Bandbreite von rund 62 - 68% Minderung gegenüber 1990 für die deutschen Treibhausgasemissionen ergeben, falls die EU das verschärfte 55%-Ziel erreicht.
- 169 Andere Studien kommen zu folgenden Abschätzungen: Im Bericht der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess (Löschel et al. 2021) wird angenommen, dass der ETS-Sektor wie im EU-Impact-Assessment um 65% gegenüber 2005 mindert und sich das deutsche Minderungsziel im ESR-Bereich von 38% auf 46% erhöht. Daraus wird eine Gesamt-minderung für Deutschland von 65% bis 2030 gegenüber 1990 abgeleitet. Die Studie von (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2020) nimmt dagegen in ihrem Hauptszenario eine Minderung um 61% im ETS gegenüber 2005 an und für die deutschen ESR Sektoren eine Minderung um 52%. In Summe kommen sie zu dem gleichen Minderungsbedarf für Deutschland von 65% bis 2030 gegenüber 1990. Bei einer detaillierten Berechnung der Verteilungsschlüssel in Anlehnung an die bisherigen EU-Verhandlungen kommen Graichen et al. (2021) zu einer Spanne von 44% - 46% Minderung für den deutschen ESR-Bereich.

⁴³ Wenn der deutsche ETS-Bereich proportional zum gesamten EU-ETS-Bereich minderte, also seinen Anteil konstant bei 25% hielte, dann würde sich eine Bandbreite für die Minderung der Gesamtemissionen in Deutschland von 65% - 66% bis 2030 gegenüber 1990 ergeben. Bei Variation des deutschen EU-ETS-Anteils in einer Bandbreite von 21%-29% ergäbe sich eine Minderung von 62% - 68% bis 2030 gegenüber 1990. Die Annahme über die Minderung im EU-ETS hat dagegen weniger Einfluss: Nimmt man an, dass die Minderung im EU-ETS in einer Spanne zwischen 63% - 67% gegenüber 2005 variiert, so ergäbe sich für die Minderung der Gesamtemissionen in Deutschland eine Bandbreite von 64% - 66% bis 2030 gegenüber 1990.

Abbildung 14 Minderung in den deutschen ESR-Sektoren zur Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele in Abhängigkeit der Minderung des EU-ETS gegenüber 2005.



Erläuterung: Die X-Achse quantifiziert prozentuale (europäische) Emissionsminderungen des ETS gegenüber 2005. Die Y-Achse quantifiziert die prozentuale Emissionsminderung von Deutschland der ESR-Sektoren gegenüber 2005. Die gestrichelte Linie zeigt die Minderung im ETS gegenüber 2005 aus den Impact-Szenarien der Kommission. Der Punkt „Status Quo DE (gemäß ESR)“ illustriert dabei die europäischen Vorgaben (43% Minderung im EU-ETS und 38% Minderung für Deutschland im ESR-Bereich), der Punkt „Status Quo DE (gemäß KSG)“ illustriert in diesem Fall auf der X-Achse die im KSG festgelegte Minderung der ETS-Sektoren (siehe Randziffer 157), deren Wert allerdings von der zukünftigen Entwicklung des ETS-Anteils der Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie abhängt.

Eigene Darstellung basierend auf (UBA 2021c), (UBA 2020c), (Löschel et al. 2021), (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2020), (EU 2020a), (EU 2020c), (EU 2020d), (EEA 2020), (EEA 2021), (Eurostat 2021a) und (Eurostat 2021b).

7.4 Fazit

170 Das Klimaschutzgesetz bezieht sich in seiner Zielformulierung auf den von der EU gesetzten Rahmen. Daher wird die jüngst beschlossene Verschärfung des EU-Ziels für die Gesamtemissionen wichtige Auswirkungen auf den deutschen Emissionspfad haben. Das genaue Ausmaß hängt allerdings stark von dem bislang nicht geklärten Rahmen zur Umsetzung des neuen Ziels auf der EU-Ebene ab.

- 171 Für die zuverlässige Erreichung der verringerten Emissionsmengen fehlen auf EU-Ebene bislang die politischen Instrumente, die aber bis Sommer 2021 von der Kommission vorgeschlagen werden sollen. Im Rahmen dieser Vorschläge muss auch geklärt werden, wer für das Schließen der Implementierungslücke zuständig ist, und zwar sowohl zwischen ETS und ESR-Bereich als auch innerhalb des ESR-Bereichs zwischen der EU und den Mitgliedstaaten.
- 172 Sobald die noch ausstehenden Weichenstellungen auf europäischer Ebene getroffen sind, ergibt sich daraus, ob und wie das deutsche KSG angepasst werden muss. Der deutsche Emissionspfad bis 2030 wird sich in Folge der Verschärfung des EU-Ziels substantiell verändern, das neue Reduktionsziel für 2030 im Vergleich zu 1990 könnte im Bereich von 62 - 68% liegen, wie hier für verschiedene Verteilungsschlüssel illustriert wurde. Der deutsche Beitrag zur Erfüllung des übergeordneten EU-Ziels wird also mindestens implizit größer ausfallen, als es bisher in § 3 Abs. 1 KSG mit dem 55%-Ziel festgeschrieben ist. Inwieweit dieser Beitrag durch eine Verschärfung einzelner oder aller KSG-Ziele explizit angesteuert werden muss, oder sich durch europäische Regulierung implizit ergeben soll, ist Gegenstand sowohl instrumenteller als auch politischer Abwägungen. Die Politik sollte sich hier möglichst rasch um Klarheit bemühen, da der derzeit noch offene Emissionsminderungspfad zum einen eine große Unsicherheit für Unternehmen und Haushalte bedeutet. Zum anderen wird das Schließen der Lücke bis 2030 umso schwerer, je länger die Entscheidungen aufgeschoben werden.
- 173 Die doppelte Regulierung einzelner ETS-Sektoren auf europäischer und deutscher Ebene erschwert zukünftig die zielgenaue Steuerung durch das betroffene Bundesministerium. Eine zusätzliche Aufteilung des Industrie- und Energiesektors in ETS und ESR-Bereiche im Klimaschutzgesetz würde daher das Monitoring der Emissionsminderungen transparenter gestalten und die zuverlässige Zielerreichung unterstützen. Dies betrifft derzeit die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie. Falls auf europäischer Ebene der Emissionshandel auf weitere Sektoren ausgeweitet wird oder ein separater zweiter Emissionshandel eingerichtet wird, könnte dies zukünftig beispielsweise auch auf die Sektoren Gebäude und Verkehr zutreffen.

Teil III: Schlussfolgerungen

8 Weiterführende Vorschläge

174 Im Gesamtergebnis liefert die durch den Expertenrat für Klimafragen durchgeführte Analyse der Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen keinen Anhaltspunkt dafür, dass das Umweltbundesamt bei seinen Punktwertschätzungen zwingend zu einem anderen Ergebnis hätte kommen müssen. Da der Expertenrat bei seiner Prüfung zu keiner anderen Aussage gelangt ist, kommt § 8 Abs. 1 KSG zum Tragen, wonach die für den Sektor Gebäude zuständigen Ministerien ein Sofortprogramm vorlegen müssen. Die Frage, ob bei einer umfassenderen Analyse ein solches Sofortprogramm für den Gebäudesektor tatsächlich notwendig wäre, stellt sich nicht aufgrund des im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Mechanismus. Bei einer derartigen umfassenderen Analyse hätten etliche weitere Gesichtspunkte wie z.B. im Jahr 2021 in Kraft getretene Gesetze oder Sondereffekte mit wesentlichem Einfluss auf das Emissionsgeschehen im Jahr 2020 Berücksichtigung finden müssen. Derartige weitergehende Fragen wurden in diesem erstmaligen Bericht nicht zum Gegenstand weiterer Untersuchungen gemacht, sondern die Priorität wurde auf die Aufarbeitung und das Nachvollziehen der Methodik des Umweltbundesamtes bei der Vorjahresschätzung gelegt. Zusätzlich wurde die Entwicklung der Treibhausgasemissionen von 2019 nach 2020 eingehender analysiert, auch um die besonderen Umstände des Jahres 2020 zu thematisieren. Angesichts der aktuellen Bedeutung wurde außerdem die Frage der möglichen Wirkung einer Verschärfung der Emissionsziele der EU bis 2030 auf das Bundes-Klimaschutzgesetz diskutiert.

8.1 Zur Verbesserung der Vorjahresschätzung

175 Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz hat Deutschland seine Klimaziele auf sechs verbindliche jährliche Sektorziele für die Absenkung der Treibhausgasemissionen heruntergebrochen sowie einen gesetzlichen Rahmen festgelegt, der das Erreichen dieser Ziele sicherstellen soll. Dafür ist im Gesetz ein Mechanismus mit einer genauen zeitlichen Abfolge definiert (siehe Kapitel 1 sowie Abbildung 1). Der Vorjahresschätzung der Emissionsdaten durch das Umweltbundesamt, die jeweils zum 15. März des dem Berichtsjahr folgenden Jahres vorgelegt wird, kommt darin eine große Bedeutung zu. Aus dem Vergleich der darin berichteten Emissionsdaten für jeden Sektor mit dem im Bundes-Klimaschutzgesetz jahresscharf vorgegebenen Zielwert ergibt sich bei Überschreitung dieses Zielwerts für das für den entsprechenden Sektor zuständige Ministerium die Verpflichtung, ein Sofortprogramm vorzulegen, das „die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors für die folgenden Jahre sicherstellt“ (§ 8 Abs. 1 KSG). Die zu ergreifenden Maßnahmen im betroffenen Sektor, in anderen Sektoren oder in sektorenübergreifender Form werden von der Bundesregierung beraten und verabschiedet (§ 8 KSG). Das Bundes-Klimaschutzgesetz definiert demnach einen Mechanismus, aus dem eine schnelle Reaktion auf ermittelte Überschreitungen der im Gesetz festgeschriebenen Treibhausgasemissionen in einzelnen Sektoren und in Summe resultiert.

176 Der frühe Zeitpunkt der Berichterstattung bedingt derzeit, dass einige Datenquellen für eine möglichst genaue Ermittlung der Emissionswerte der Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes noch nicht vollständig oder nur als Schätzung vorliegen. Die offizielle nationale Berichterstattung an die

Vertragsstaaten des Kyoto- bzw. des Paris-Protokolls erfolgt erst im Januar des zweiten auf das Berichtsjahr folgenden Jahres (Erster Nationaler Inventarbericht), für das Berichtsjahr 2020 also im Januar 2022, und enthält gegenüber dem jeweils im März für das Vorjahr erstellten Bericht (Vorjahresschätzung) Änderungen und Aktualisierungen. Auch dieser Erste Nationale Inventarbericht wird in den Folgejahren überarbeitet und es werden nachträgliche Korrekturen durchgeführt (siehe Kapitel 4.2).

- 177 Somit resultiert ein Spannungsfeld aus dem im Klimaschutzgesetz abgebildeten Mechanismus einer schnellen Reaktion auf Überschreitungen von Emissionszielwerten einerseits und der Anforderung, Rechtsfolgen aus möglichst gut abgesicherten Daten mit hoher Güte und geringer Unsicherheit abzuleiten andererseits. Sowohl das vom Umweltbundesamt ausgewiesene Unsicherheitsband der im März berichteten Daten als auch der vom Expertenrat für Klimafragen durchgeführte und in diesem Bericht dokumentierte nachträgliche Korrekturbedarf für Berichte aus der Vergangenheit legen nahe, dass diese Anforderung insbesondere auf Ebene der Sektoren nur bedingt erfüllt wird. Vor dem Hintergrund der großen Relevanz der Vorjahresschätzung im Kontext des Bundes-Klimaschutzgesetzes sind Maßnahmen wünschenswert, die dazu führen, dass notwendige Daten breiter und detaillierter zum frühen Zeitpunkt der Vorjahresschätzung zur Verfügung stehen. Dies führt zu einer Reihe von nachfolgend erläuterten Vorschlägen und Empfehlungen.
- 178 Eine systematische Analyse der Ursachen für die Korrekturbedarfe in der Vergangenheit könnte Aufschluss darüber geben, wo wesentliche Gründe für eine begrenzte Güte der im März berichteten Emissionsdaten liegen. Dies würde es ermöglichen, Verbesserungsbedarf in der Methodik bzw. in den zur Verfügung stehenden Datensätzen zu identifizieren. Ein Beispiel für einen solchen Verbesserungsbedarf betrifft die hohe Unsicherheit in Bezug auf die Aufteilung des Verbrauchs an Mineralöl und Mineralölprodukten sowie an natürlichen Gasen auf die Sektoren Industrie und Gebäude.
- 179 Die Datenbasis für die im März erfolgende Berichterstattung zu den Emissionswerten des Vorjahres sollte verbreitert werden, um die identifizierten Verbesserungsbedarfe gezielt anzugehen. Dies könnte dadurch erfolgen, dass nach Möglichkeit wichtige Datenquellen schon früher mit mehr Details zur Verfügung gestellt werden. Diesbezüglich sollte eine systematische Untersuchung zu möglichen weiteren Datenquellen bzw. Erhebungen erfolgen. Auch zusätzliche eigene Erhebungen des Umweltbundesamtes oder die Beauftragung von Dritten mit der Erhebung weiterer Daten wären denkbare Optionen. Einige erste Vorschläge und Beispiele werden nachfolgend aufgeführt:
- Es wäre wünschenswert, dass wesentliche Primärdaten beispielsweise über den Einsatz digitaler Technologien früher und in größerer Detaillierung vorliegen. Beispiele sind Daten aus Smart Meter Gateways für den Gebäudebereich oder Daten aus Car-to-X für den Verkehrssektor.
 - Für den Verkehrssektor sollte geprüft werden, ob anonymisierte GPS-Daten (siehe Kapitel 3.4) für die Validierung der Aufteilung der Emissionen auf verschiedene Verkehrsträger genutzt werden können. Dies würde die Genauigkeit der Schätzung verbessern, jedoch einen deutlichen Mehraufwand für das Umweltbundesamt bedeuten und nicht das Ergebnis der Gesamtemissionen beeinflussen.
 - Die Erhebung der Aktivitätsdaten prozessbedingter Emissionen durch die statistischen Ämter sollte nach CRF Kategorien erfolgen.

- Eine genauere Aufschlüsselung der amtlichen Mineralöldaten nach Abnehmergruppen wäre hilfreich.
- Im Gebäudesektor wäre es hilfreich, zusätzliche Statistiken über installierte Heizsysteme in den einzelnen Haushalten zu erheben, um die Entwicklungen innerhalb des Sektors besser einordnen zu können.

Innerhalb eines Gutachtens sollte eine gezielte Analyse der Ursachen für Korrekturbedarfe der Vorjahresschätzungen in der Vergangenheit erfolgen und es könnten konkrete Vorschläge für die Erweiterung der Datenbasis und die Entwicklung zusätzlicher, ergänzender Methoden erarbeitet werden, die zu einer Verbesserung der Datenlage und der Güte der Vorjahresschätzung beitragen.

180 Eine vollständig unabhängige, ergänzende Erfassung von Treibhausgasemissionen könnte über die Messung der atmosphärischen Konzentration klimarelevanter Spurengase erfolgen. In der Schweiz und dem Vereinigten Königreich wird diese Methode bereits für eine unabhängige Verifikation der Emissionsinventare verwendet. Voraussetzung ist ein ausreichend dichtes Messnetz. In Verbindung mit geeigneten Modellen können dann aus den gemessenen Daten Werte für die jährlich erfolgten Gesamtemissionen abgeleitet werden, allerdings keine sektorale Aufschlüsselung. Das Verfahren liefert in den genannten Ländern bereits heute vor allem für die klimawirksamen Spurengase Methan, Lachgas und fluorierte Kohlenwasserstoffe hilfreiche Ergebnisse und somit für diejenigen Gase, bei denen die Unsicherheiten in den Nationalen Inventardaten vergleichsweise am größten sind. Grund dafür ist, dass bei diesen Gasen eine Errechnung von Emissionsdaten aus gemessenen Konzentrationen einfacher ist als bei Kohlendioxid, da nahezu alle Emissionen dieser Klimagase anthropogenen Ursprungs sind und nur sehr wenige natürliche Quellen und Senken vorliegen (IPCC 2019).

Im Rahmen eines Gutachtens sollte untersucht werden, wie sich Deutschland unter Einbindung der relevanten Forschungs- und Serviceeinrichtungen in die Weiterentwicklung der entsprechenden Verfahren einbringt mit dem Ziel, die eigene messtechnische Erfassung und Modellierung weiter auszubauen, um die messtechnische Erfassung von Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren mit in die Erfassung der Emissionsdaten einbeziehen zu können.⁴⁴

8.2 Zur Wirkungsweise des Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes

181 Das Klimaschutzgesetz in seiner heutigen Formulierung beinhaltet keinen Ermessensspielraum in der Frage, ob ein Sofortprogramm erforderlich ist oder nicht. Jede in der Vorjahresschätzung konstatierte und durch den Expertenrat für Klimafragen nicht in Frage gestellte Überschreitung – unabhängig von der Größe – verlangt die Erstellung eines Sofortprogramms, jede Unterschreitung wird unabhängig vom Grad der Unterschreitung und ohne Berücksichtigung sonstiger Sachverhalte so gedeutet, dass die

⁴⁴ Es gibt eine aktive internationale wissenschaftliche Community, die sich mit der Quantifizierung von Treibhausgasemissionen auf Basis physikalischer Messungen in der Atmosphäre befasst und auch an entsprechenden Verfahren zur Ermittlung von CO₂e-Emissionen arbeitet. Das Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG3GS) Rahmenwerk erarbeitet Empfehlungen für nationale Beiträge messtechnischer Emissionserfassung (DeCola und WMO Sekretariat 2017).

Die Empfehlungen des IG3GS sollen auf deutscher Ebene mit dem Integrierten Treibhausgas-Monitoringsystem (ITMS) umgesetzt werden. Ziel dieses Projektes ist die Online-Bereitstellung und Visualisierung von anthropogenen und natürlichen Treibhausgasquellen und -senken in Deutschland. Damit sollen Über- und Unterschätzungen von THG-Quellen und -Senken aufgedeckt werden. Das ITMS kann helfen, die Aussagekraft der Berichterstattung des Umweltbundesamtes durch weitere unabhängige Informationen zu ergänzen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) koordiniert hierzu die Arbeiten des ITMS unter Verwendung des in Deutschland bereits vollständig in Betrieb gegangenen atmosphärischen Messsystems (DWD 2019).

Erarbeitung eines Sofortprogramms nicht notwendig sei. Die Frage, ob bei einer umfassenderen Analyse ein solches Sofortprogramm tatsächlich notwendig wäre, stellt sich also aufgrund des im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgesehenen Mechanismus nicht. Dies erscheint bei einer Überschreitung durchaus sinnvoll, um eine schnelle Reaktion einzuleiten. Auch der Aufwand für die Erstellung eines Sofortprogramms erscheint vor diesem Hintergrund selbst dann gerechtfertigt, wenn im späteren Beschluss keine oder andere Maßnahmen umgesetzt werden. Ob – und wenn ja in welcher Form – das durch das zuständige Ministerium vorgeschlagene Sofortprogramm in Maßnahmen überführt wird, wird erst zu einem späteren Zeitpunkt durch die Bundesregierung entschieden. Vor Erstellung der Beschlussvorlage über die Maßnahmen sind dem Expertenrat für Klimafragen die den Maßnahmen zugrunde gelegten Annahmen zur Treibhausgasreduktion zur Prüfung zu übermitteln und das Prüfungsergebnis wird der Beschlussvorlage beigefügt (§ 8 Abs. 2 KSG) (siehe Abbildung 1). Somit können zu diesem späteren Zeitpunkt vorliegende zusätzliche Daten ebenso in die Entscheidung zur Umsetzung von Maßnahmen eingehen wie weitere Gesichtspunkte und Sachverhalte wie zum Beispiel bereits in Kraft getretene Gesetze oder Sondereffekte.

- 182 Für das Berichtsjahr 2020 wird für den Gebäudesektor die Erstellung eines Sofortprogramms ausgelöst. Ein konkretes, aktuelles Beispiel für die bei einer Gesamtwürdigung von zusätzlichen Maßnahmen in diesem Sektor heranzuziehenden Aspekte ist das seit Januar 2021 wirksame Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG), welches eine mindernde Wirkung auf die CO₂-Emissionen im Gebäudesektor erwarten lässt und entsprechend in die Entscheidung über Maßnahmen einbezogen werden kann. Ebenso müssten die Sondereffekte des Jahres 2020 berücksichtigt werden, die den Maßnahmen zum Eindämmen der Covid-19-Pandemie geschuldet sind. Die in Kapitel 6.2 beschriebenen Untersuchungen haben für eine gedachte Entwicklung, die sich aus einer Trendfortschreibung ergibt, für die Sektoren Gebäude und Verkehr eine wesentliche Abweichung gegenüber den in der Vorjahresschätzung ermittelten Emissionswerten ergeben. Basierend auf dieser Analyse hätte der Sektor Verkehr den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Zielwert überschritten, während der Sektor Gebäude das Sektorziel eingehalten hätte.
- 183 Unterschreitet der in der Vorjahresschätzung berichtete Emissionswert eines Sektors dagegen den entsprechenden Zielwert, so ist unabhängig vom Grad der Unterschreitung und ohne Berücksichtigung sonstiger Sachverhalte keine Vorlage eines Sofortprogramms notwendig. Eine Reihe von Gründen lässt Zweifel daran aufkommen, ob ein solches Vorgehen zielführend im Sinne einer klimapolitisch effizienten Erreichung der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes ist:
- Die bereits zuvor genannten Unsicherheiten der Berichtsdaten und nachträglichen Korrekturbedarfe der Emissionsdaten können dazu führen, dass ein Sektor im Rückblick betrachtet das Sektorziel des Berichtsjahres überschritten hat, weil die späteren Korrekturen zu einem höheren Emissionswert führen. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist umso größer, je näher der in der Vorjahresschätzung berichtete Emissionswert am entsprechenden Zielwert liegt. Die in diesem Bericht in Kapitel 5.1 durchgeführte Analyse hat beispielsweise zum Ergebnis, dass für das Jahr 2020 die Zielerreichung der Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstiges ebenso wahrscheinlich wie nicht wahrscheinlich ist.
 - Sondereffekte wie die Covid-19-Pandemie können dazu führen, dass im Bundes-Klimaschutzgesetz definierte Zielwerte unterschritten werden und somit keine Maßnahmen notwendig werden, obwohl

strukturelle Änderungen möglicherweise nicht oder nicht in ausreichendem Maße angelegt sind, um zukünftige Ziele zu erreichen.

- Strukturelle Entwicklungen können zu intersektoralen Verschiebungen führen. So würde beispielsweise die Zunahme der Installation von elektrischen Wärmepumpen als Ersatz von aus dem Betrieb gehenden fossilen Heizkesseln den Bezug fossiler Energieträger und die damit verbundenen Emissionen im Gebäudesektor mindern und zu einer Zunahme des Stromverbrauchs führen. Ähnliche Effekte lassen sich bei der steigenden Verbreitung der E-Mobilität im Sektor Verkehr erwarten mit einem steigenden Stromverbrauch im Sektor Energiewirtschaft und einer Zunahme von Aktivitäten im Sektor Industrie, sofern die Fertigung der Batteriezellen und -systeme in Deutschland erfolgt. Bei entsprechender Dynamik derartiger struktureller Entwicklungen können die damit verbundenen intersektoralen Verschiebungseffekte wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Emissionen in den einzelnen Sektoren nehmen.
- Auslösetatbestand für Maßnahmen in Einzelsektoren entsprechend Bundes-Klimaschutzgesetz ist die Betrachtung eines Punktwertes für das Vorjahr. Die Daten-basierte Untersuchung historischer Entwicklungen in den Einzelsektoren unter Einbeziehung einer möglichst detaillierten Dekomposition könnte weiterentwickelt werden mit dem Ziel, dass daraus eine möglichst gute Projektion in die nahe Zukunft für die nächsten ein bis zwei Folgejahre abgeleitet werden kann. Bei erfolgreicher Entwicklung könnte ein solches Verfahren hilfreich sein, um entsprechende Ergebnisse in die Entscheidung über die Notwendigkeit von Sofortprogrammen einzubeziehen.

184 Vor dem Hintergrund der genannten Aspekte könnte darüber nachgedacht werden, das Bundes-Klimaschutzgesetz dahingehend weiter zu entwickeln, dass bei Vorliegen noch zu definierender Kriterien auch bei Unterschreitung von Sektorzielen eine qualifizierte Prüfung und Bewertung vorgenommen wird, um zu klären, ob in einem oder mehreren dieser Sektoren ein Sofortprogramm erstellt werden muss. Diese Prüfung und Bewertung sollte die Unsicherheiten bei der Vorjahresschätzung, Sondereffekte und deren Wirkung auf das Emissionsgeschehen sowie intersektorale Verschiebungseffekte und Wechselwirkungen ebenso einbeziehen wie Elemente einer vorausschauenden Analyse unter Einbeziehung bereits getroffener klimapolitischer Maßnahmen und Programme. Damit würde einerseits der Datenunsicherheit Rechnung getragen und es würde eine breitere Einordnung zur Entwicklung des Emissionsgeschehens in den Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes vorgenommen, die eine wirksame und zeitnahe Erreichung der Ziele des Gesetzes unterstützt.

185 Das Klimaschutzgesetz gibt für jeden Sektor mit Ausnahme der Energiewirtschaft, die weitestgehend dem ETS-Mechanismus der Europäischen Union unterliegt, bis zum Jahr 2030 jährlich zulässige Emissionswerte vor [Anlage 2, KSG]. Der § 4 Abs. 3 KSG besagt, dass ab dem Berichtsjahr 2021 sowohl bei Unter- als auch bei Überschreitung der berichteten Emissionen gegenüber dem Zielwert die Differenzmenge, im Rahmen der durch die EU-Regulierung vorgegebenen Maximalmengen, auf die verbleibenden Jahresemissionsmengen des Sektors bis zum Jahr 2030 gleichmäßig angerechnet wird. Das Gesetz folgt damit faktisch einem Budgetansatz, wobei jährlich das verbleibende Budget für jeden Sektor in neue Zielwerte für die verbleibenden Jahre übersetzt wird. Im Gesetz wird nicht ausgeführt, auf Basis welcher Daten diese Anrechnung erfolgt. Vor dem Hintergrund der in einigen Sektoren großen Unsicherheit der Emissionsdaten der Vorjahresschätzung im Vergleich zu den Zielwerten für die jährliche Emissionsminderung erscheint es fragwürdig, die Anrechnung und damit die Anpassung der

Zielwerte alleinig auf Basis der Daten der Vorjahresschätzung durchzuführen. Im Sinne einer Minimierung von Unsicherheiten könnte die Anpassung unter Verwendung der jeweils jüngsten, vorliegenden Daten aller Vorjahre seit Gelten des Klimaschutzgesetzes aktualisiert werden. Dies erscheint allerdings ebenfalls als fragwürdig, da sich dadurch kurzfristig Zielwerte ändern können.

- 186 Es wird angeregt, über ein konsistentes Verfahren für die Anpassung von zukünftigen Werten der Sektorziele aufgrund von Unter- und Überschreitungen innerhalb des Bundes-Klimaschutzgesetzes nachzudenken, das zugleich die Unsicherheit in der Erhebung der Emissionsdaten in der Vorjahresschätzung und die bessere Datenkenntnis aufgrund später durchgeführten Korrekturen berücksichtigt.
- 187 Vor dem Hintergrund der Zielverschärfung der europäischen Emissionsziele wird möglicherweise eine Anpassung der Zielwerte des Klimaschutzgesetzes notwendig, deren genaue Höhe und Form von den noch ausstehenden Festlegungen zur Instrumentierung auf EU-Ebene abhängt. Im Zuge einer solchen Zielanpassung wäre zugleich eine Neuaufteilung der Sektoren hilfreich, die eine möglichst eindeutige Zuordnung eines jeden Sektors entweder zum europäischen Handelssystem für Emissionszertifikate (ETS) oder zur Lastenteilungsverordnung (ESR) erlaubt; dies ist heute für die Sektoren Energiewirtschaft und Industrie nicht gegeben. Dadurch würde eine transparente Zuordnung zu den zentralen klimapolitischen Mechanismen möglich und es würde zugleich auf eine stärkere Harmonisierung zwischen europäischem Rahmen und Bundes-Klimaschutzgesetz hingewirkt.

8.3 Zur Vervollständigung des Bildes der deutschen Treibhausgasemissionen

- 188 Für den Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (LULUCF) wird im Klimaschutzgesetz bislang kein Ziel analog zu den anderen Sektorzielen festgelegt. KSG § 9 1 besagt aber, dass die Bundesregierung im Rahmen des Beschlusses von Klimaschutzprogrammen festlegt, „welche Maßnahmen sie zum Erhalt der Netto-Senke bei Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft ergreifen wird“. Ende 2020 hat die Europäische Union ihre Klimaschutz-Selbstverpflichtung an die Vereinten Nationen (UNFCCC) übermittelt und in diesem Kontext sind die Treibhausgas-Emissionsquellen und -senken von LULUCF Teil der völkerrechtlich verbindlichen Verpflichtung der Europäischen Union. Die EU LULUCF-Verordnung formuliert für jeden Mitgliedsstaat ein verbindliches Ziel. Vor diesem Hintergrund, aber auch vor dem Hintergrund von Veränderungen der Nachfrage nach Biomasse und Land und der sich zunehmend abzeichnenden Änderungen des Wettergeschehens und der Folgen für die Biosphäre, insbesondere die Wälder, sollte geprüft werden, wie auch für diesen Sektor Mindestziele analog zu den anderen KSG-Sektoren formuliert und das entsprechende Ergreifen von Maßnahmen im Falle von Zielüberschreitungen vorgesehen werden können. Allerdings ist die Datenbasis für eine zeitnahe und ausreichend abgesicherte Erhebung im Rahmen der Vorjahresschätzung zu verbessern. Die derzeit in größeren Abständen erfolgenden Erfassungen, wie zum Beispiel die nur alle zehn Jahre erfolgende umfassende Waldbestandsinventur, reichen hierfür nicht aus. Auch für diesen Sektor wäre zudem eine klare Ressortzuständigkeit mit Verantwortung für die Benennung von Maßnahmen im Fall von deren Notwendigkeit zu benennen.
- 189 Im Rahmen einer Studie könnte untersucht werden, welche Maßnahmen im Bereich der Datenerhebung notwendig wären, um mittelfristig den LULUCF-Sektor ebenfalls vollumfänglich in das Bundes-

Klimaschutzgesetz mit aufzunehmen einschließlich der Nennung von Werten für Sektorziele und der Anwendung des Mechanismus zur Vorlage von Sofortprogrammen bei deren Überschreitung.

- 190 Die Ermittlung der Emissionsdaten erfolgt in der internationalen Klimaberichterstattung nach dem Territorialprinzip (siehe Absätze 12 und 13 in Kapitel 2.1). Dieses besagt, dass einem Land alle im Inland freigesetzten Emissionen zugeordnet werden. Klimapolitische Maßnahmen können territoriale Verlagerungseffekte zur Folge haben, die möglicherweise das übergeordnete Ziel einer Minderung globaler Emissionen relativieren. Ein Umstieg auf Elektromobilität kann zum Beispiel die Treibhausgasemissionen bei der Fahrzeugnutzung reduzieren, wenn der elektrische Strom zum Antrieb mit geringen Emissionen hergestellt wird. Wenn allerdings die Batteriezellen im Ausland unter Verwendung von hohen Anteilen fossiler Energieträger erfolgt, kann dies an anderer Stelle entsprechend zusätzliche Treibhausgasemissionen auslösen. Es wäre deshalb wünschenswert zur Frage der Importe und Exporte von Treibhausgasemissionen eine höhere Transparenz herzustellen, um die Wirkung klimapolitischer Maßnahmen im Hinblick auf ihre Wirksamkeit im Kontext des globalen Emissionsgeschehens bewerten zu können und Informationen hierzu nachrichtlich ergänzend zur nationalen Klimaberichterstattung anzufügen. Der methodische Aufwand für eine derartige Erhebung ist allerdings erheblich, da die spezifischen Emissionen globaler Wertschöpfungsketten eingehen.
- 191 Im Rahmen einer Studie könnte evaluiert werden, wie und mit welchem zeitlichen Versatz eine derartige nachrichtliche, die nationalen Inventarberichte ergänzende Information zur Erhebung der mit Importen und Exporten verknüpften Treibhausgasemissionen erfolgen könnte.
- 192 Eine Übersicht über die weiterführenden Vorschläge aus Kapitel 8, verbunden mit Anregungen zum Vorgehen, gibt Tabelle 5.

Tabelle 5: Übersicht über weiterführende Vorschläge und Maßnahmen, um diese anzugehen

Weiterführende Vorschläge	Problembeschreibung	Anregung zum Vorgehen
zur Verbesserung der Vorjahresschätzung	Unsicherheit der Emissionsdaten in der Vorjahresschätzung	Gutachten: <ul style="list-style-type: none"> gezielte Analyse der Ursachen für Korrekturbedarfe der Vorjahresschätzungen in der Vergangenheit konkrete Vorschläge für die Erweiterung der Datenbasis und die Entwicklung zusätzlicher, ergänzender Methoden
	Zusätzliche Erfassung von Treibhausgasemissionen auf Basis messtechnischer Untersuchungen der atmosphärischen Konzentration klimawirksamer Spurengase	Gutachten: <ul style="list-style-type: none"> Erarbeitung von Vorschlägen für die Beteiligung Deutschlands an der Weiterentwicklung der entsprechenden Verfahren Erarbeitung von Vorschlägen, um die messtechnische Erfassung von Treibhausgas-emissionen in den nächsten Jahren mit in die Ermittlung der Emissionsdaten einbeziehen zu können
zur Wirkungsweise des Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes	Unterbleiben von Sofortprogrammen bei (auch kleiner) Unterschreitung von Sektorzielen	Prüfung der Erweiterung des Bundes-Klimaschutzgesetzes dahingehend, dass bei Vorliegen noch zu definierender Kriterien auch bei er Unterschreitung von Sektorzielen eine qualifizierte Prüfung und Bewertung vorgenommen wird, um zu klären, ob in einem oder mehreren dieser Sektoren ein Sofortprogramm vorgelegt werden muss
	Angemessene Berücksichtigung der Unsicherheit der Vorjahresschätzung bei der Anpassung von Sektorzielen bei der Anrechnung von Unter- und Überschreitungen	Entwicklung eines konsistenten Verfahrens für die Anpassung von zukünftigen Werten der Sektorziele aufgrund von Unter- und Überschreitungen innerhalb des Bundes-Klimaschutzgesetzes, das zugleich die Unsicherheit in der Erhebung der Emissionsdaten in der Vorjahresschätzung und die später durchgeführten Korrekturen berücksichtigt
	Harmonisierung von Sektorenzuschnitten zwischen Bundes-Klimaschutzgesetz und europäischer Instrumentierung (ETS, ESR)	Neuaufteilung der Sektoren, die eine möglichst eineindeutige Zuordnung eines jeden Sektors entweder zum europäischen Handelssystem für Emissionszertifikate (ETS) oder zur Lastenteilungsverordnung (ESR) erlaubt
zur Vervollständigung des Bildes der deutschen Treibhausgasemissionen	Mittelfristige Einbeziehung von LULUCF in den Mechanismus des Bundes-Klimaschutzgesetzes	Studie: Untersuchung, welche Maßnahmen im Bereich der Datenerhebung notwendig wären, um mittelfristig den LULUCF-Sektor ebenfalls vollumfänglich in das Bundes-Klimaschutzgesetz mit aufzunehmen (Sektorziele, Vorlage von Sofortprogrammen bei Überschreitung)
	Einbeziehung der territorialen Verlagerungseffekte durch Importe und Exporte	Studie: Evaluierung, wie eine nachrichtliche, die nationalen Inventarberichte ergänzende Information zur Erhebung der mit Importen und Exporten verknüpften Treibhausgasemissionen erfolgen könnte

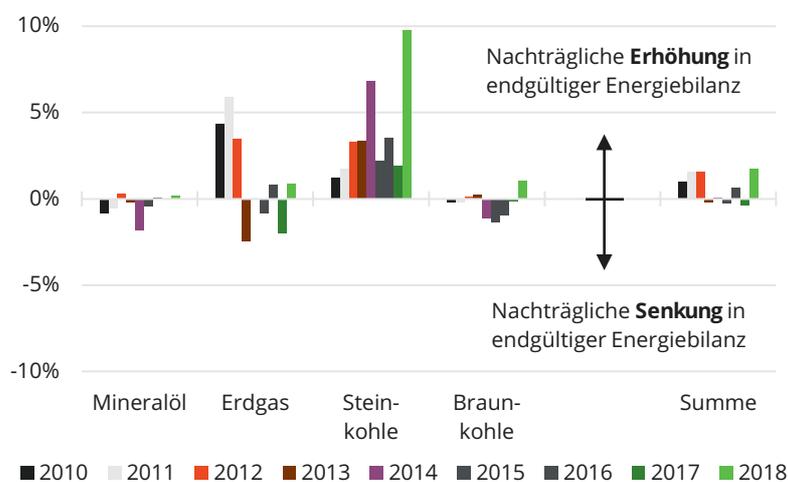
Eigene Darstellung

9 Anhang

A.1 Vorjahresschätzung - Ergänzende Informationen

A.1.1 Nachträgliche Korrekturen in der Primärenergiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

Abbildung 15 Nachträgliche Korrekturen in der endgültigen Energiebilanz gegenüber der jeweiligen vorläufigen Primärenergiebilanz aus dem Dezember



Eigene Darstellung auf Basis von Informationen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

A.1.2 Übersicht Datenquellen zur Vorjahresschätzung

Tabelle 6: Zusammenfassung aller wesentlichen Datenquellen für die Vorjahresschätzung

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit und Aktualität zum Zeitpunkt der Schätzung für die VJS 2020
Amtliche Mineralöldata (BAFA 2021)	Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr	Zusammengefasste Mineralölabsätze in Deutschland auf Basis von Unternehmensmeldungen; statistische Abweichung <1%	Daten liegen vollständig vor
AGEB Primärenergieverbrauch (AGEB 2020b, 2020c)	Energiewirtschaft, Verkehr	Jährlicher Gesamtprimärenergieverbrauch aufgeteilt nach Primärenergieträgern	Gesamtprimärenergieverbräuche liegen vor, sektorale Aufteilung liegt nicht vor
Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung Fachserie 4 Reihe 3.3.1.1 (Destatis 2021b)	Energiewirtschaft, Industrie	Monatliche Erhebung der Brutto- und Nettostromerzeugung sowie Wärme bei KWK Anlagen getrennt nach Energieträgern für Anlagen ab 1 MW installierter Leistung	Daten liegen vollständig vor (Jahreskorrektur der Statistik ist zum Zeitpunkt der Schätzung noch nicht erfolgt gewesen (diese erfolgt meist im April))
Deutsche Braunkohlen Industrie Verein (Kohlenstatistik e.V. 2019)	Energiewirtschaft	Monatliche Daten zur Förderung und Verarbeitung von Braunkohlen	Daten liegen vollständig vor
Gasabsatz sektorenspezifisch (BDEW) (Kiesel 2020)	Gebäude	Monatliche Gasabsätze aufgeteilt nach Sektoren	Basiert zum Teil auf Schätzwerten für Q4, da bereits im Dezember 2020 veröffentlicht
Roheisenproduktion und Produktionsstatistik Stahl (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2021)	Energiewirtschaft, Industrie	Monatliche Meldungen über die Stahl- und Roheisenerzeugung des Verbandes Wirtschaftsvereinigung Stahl	Daten liegen vollständig vor
Destatis Güterverzeichnis Produktionsstatistiken GP 19 (Destatis 2019b)	Industrie	Produktionsstatistiken zur Zementklinkerbrennung und Branntkalkherstellung	Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nicht vollständig; Verbandsdaten liegen noch nicht vor
Verbandsdaten Wirtschaftsvereinigung Metalle (Wirtschaftsvereinigung Metalle 2020)	Industrie	Produktionsmengen und die FKW Emissionen aus der Herstellung von Primäraluminium	Vorläufige Daten liegen vor
Verbandsdaten chemische Industrie (Verband der chemischen Industrie 2020)	Industrie	Produktionsstatistiken für Teilbereiche der chemischen Industrie	Daten liegen für einzelne Teilbereiche der chemischen Industrie vollständig vor

Datensatz	Genutzt in Sektor	Kurzbeschreibung der genutzten Daten aus diesem Datensatz	Vollständigkeit und Aktualität zum Zeitpunkt der Schätzung für die VJS 2020
Destatis Fachserie 3 Reihe 4.1 (Destatis 2020e)	Landwirtschaft	Tierzahlen für Rinder, Schweine, Schafe	Vorläufige Daten liegen vollständig vor
Destatis Fachserie 4 Reihe 8.2 (Destatis 2020g)	Landwirtschaft	Daten zur Düngemittelversorgung	Liegen für das letzte Wirtschaftsjahr Juni-Juli vor
Destatis Fachserie 3 Reihe 3.2.1 (Destatis 2020f)	Landwirtschaft	Statistiken zu Anbaufläche und Ernte der Feldfrüchte (bei den vorläufigen Statistiken fehlen Angaben zu Dauergrünland, Körnermais, Zuckerrüben, Klee gras und Grasanbau)	Vorläufige Zahlen werden im September veröffentlicht und liegen vor, endgültige Zahlen liegen nicht vor
Destatis Daten zur Abfalldponierung (Destatis 2019a) und persönliche Mitteilung an das UBA	Abfallwirtschaft und Sonstiges	Jährliche Aktivitätsdaten zur Abfalldponierung, biologischen Abfallbehandlung, mechanisch-biologischen Abfallbehandlung	Daten für 2020 werden 2 Jahre später veröffentlicht (idR Juli/August)
Einwohnerzahlen in Deutschland (Destatis 2020b)	Abfallwirtschaft und Sonstiges		Fortschreibung beruht auf Schätzwerten
Destatis FS 19, R 2.1.2 + R 2.1.3 (Destatis 2018)	Abfallwirtschaft und Sonstiges	Anzahl an abflusslosen Gruben	Daten werden alle 3 Jahre erhoben und 2 Jahre nach Ablauf des Berichtsjahres veröffentlicht

Eigene Darstellung auf Basis von Informationen des Umweltbundesamtes

A.2 Dekompositionsanalyse

A.2.1 Ergänzende Erläuterungen zur Methodik

Die folgenden Abschnitte erläutern die Methodik der Dekompositionsanalyse als Basis für die Ergebnisse in Kapitel 6.1. 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)). Für eine gute Vergleichbarkeit zwischen den Dekompositionen für verschiedene Sektoren wurde auf eine größtmögliche Konsistenz in der Auswahl der Datenquellen geachtet. Hierbei ergaben sich jedoch Schwierigkeiten durch die unterschiedlichen Definitionen der KSG-Sektoren im Vergleich zu den Standard-Sektoren der Berichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention. Der Anteil der jeweils erfassten Emissionen der jeweiligen KSG-Sektoren in den Dekompositionsanalysen sowie eine Übersicht der enthaltenen Sub-Sektoren sind in den Tabelle 14 und Tabelle 15 aufgeführt.

Die folgenden Abschnitte beschreiben für alle Dekompositionen die jeweils erfassten Treibhausgasemissionen sowie Besonderheiten der jeweiligen Methoden.

Tabelle 7 bis Tabelle 13 zeigen eine Übersicht der jeweils verwendeten Datenquellen, Komponenten der Dekompositionsanalysen sowie der zugrundeliegenden Berechnungsformeln. Die maßgebliche Datengrundlage bilden der Primärenergieverbrauch Deutschlands (AGEB 2020c), der Nationale Inventarbericht (UBA 2020a), das TREMOD Modell (Allekotte et al. 2020), Daten des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2021b, 2020c, 2021e) sowie die Vorjahresschätzung des Umweltbundesamtes (UBA 2021c).

Sektorenübergreifende Betrachtung

Die sektorenübergreifende Dekomposition umfasst die gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft). Der Wert für das Bruttoinlandsprodukt des Jahres 1990 stammt aus einer nicht veröffentlichten Datenreihe des Statistischen Bundesamtes.

Tabelle 7: Dekomposition Variablen – Sektorenübergreifende Betrachtung

Daten:	Quelle:	Details:
THG Emissionen gesamt	NIB (UBA 2020a) und VJS (UBA 2021c)	NIB bis 2019 (Tabelle 1.A(a)s1), VJS für 2020
Anzahl der Einwohner	(Destatis 2020c), (Destatis 2021e)	(Destatis 2020c) bis 2019, (Destatis 2021e) für 2020
Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2021c)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 1.1, Preise für 2015
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen	<i>THG Emissionen_{Gesamte}</i>
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner	<i>Beve</i>
Wirtschaftsentwicklung	Bruttoinlandsprodukt / Anzahl der Einwohner	$\frac{BIP}{Beve}$
Emissionsintensität	THG Emissionen gesamt / Bruttoinlandsprodukt	$\frac{THGe}{BIPe}$
Formel:	$THG\ Emissionen_{Gesamte} = Beve * \frac{BIP}{Beve} * \frac{THG}{BIPe}$	

Eigene Darstellung

Energiewirtschaft

Die Dekomposition der Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft berücksichtigt Emissionen der Erzeugung von Elektrizität und Wärme und umfasst damit 84% der Gesamtemissionen des Sektors. Emissionen aus Raffinerien, der Herstellung fester Brennstoffe und anderer Energieerzeugern, Erdgasverdichtern und diffuse Emissionen aus Brennstoffen sind nicht Teil der Analyse. Die Dekomposition umfasst flüssige, feste und gasförmige fossile Energieträger, weitere fossile Energieträger, Biomasse sowie die Stromerzeugung durch Wind- und Wasserkraft sowie Photovoltaik.

Besonderheiten in der Berechnung ergeben sich insbesondere für das Jahr 2020. Die THG Emissionen für das Jahr 2020 des Sektors berechnen sich durch Multiplikation des Primärenergieverbrauchs der verschiedenen Energieträger (AGEB 2020c) mit Emissionsfaktoren je Energieträger aus dem Nationalen Inventarbericht (UBA 2021a) auf Basis von Berechnungsmethodik in der VJS-Dokumentation Langfassung (UBA 2021e). Aufgrund inkonsistenter Daten wurde der Primärenergieverbrauch von Biomasse (inklusive des Anteils der Abfallwirtschaft) für das Jahr 2020 extrapoliert. Dabei wurden die prozentualen Änderungen der Strom und Wärmeerzeugung (AGEE-Stat 2021) auf Basis impliziter Effizienzfaktoren (Destatis 2021b) in Primärenergieverbrauch umgewandelt und auf die Daten aus dem Jahr 2019 (UBA 2020a) angewendet. Eine letzte Besonderheit ergibt sich für den Primärenergieverbrauch und THG Emissionen des Abfalls, welcher per Konvention in gleichen Teilen der Biomasse und Anderen fossilen Energieträgern zugeordnet wurde (vgl. UBA 2016b). Da die Datenreihe für die Stromerzeugung durch Wind- und Sonnenenergie erst ab dem Jahr 1995 vorhanden ist und die erzeugte Strommenge vernachlässigbar klein ist, wird für die Jahre 1990 bis einschließlich 1994 keine solche Stromerzeugung angenommen. Die Werte für das Bruttoinlandsprodukt im Jahr 1990 stammt aus einer nicht veröffentlichten Datenreihe des Statistischen Bundesamtes.

Für die Energiewirtschaft wird zusätzlich der Teil der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft analysiert, der in Abbildung 8 der Emissionsintensität zugeordnet wird. Die Dekomposition zerlegt die Veränderung der Emissionsintensität in die Veränderung der Gewichte der einzelnen Energieträger. Zur Vereinfachung der Darstellung werden alle Werte mit dem Primärenergieverbrauch multipliziert. Die Berechnung erfolgt analog zu der dargestellten Methode in Abschnitt 3.4 von Steckel et al. (2011). Für eine bessere Übersicht ist die exakte Berechnungsformel in der folgenden Tabelle nicht enthalten. Die zusätzliche Analyse basiert auf derselben Datenbasis wie die reguläre Dekomposition.

Tabelle 8: Dekomposition Variablen – Energiewirtschaft

Daten	Quelle	Details
THG Emissionen Energiewirtschaft	NIB (UBA 2020a) und eigene Berechnung (siehe Text)	Tabelle 1.A(a)s1
Anzahl der Einwohner	(Destatis 2020c) und (Destatis 2021e)	(Destatis 2020c) bis 2019, (Destatis 2021e für 2020
Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2021c)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 1.1, Preise für 2015
Primärenergieverbrauch Energiewirtschaft	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s1
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen Energiewirtschaft	<i>THG Emisse</i> own <i>Energiewirtschaft.e</i>

Daten	Quelle	Details
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner	$Beve$
Wirtschaftsentwicklung	Bruttoinlandsprodukt / Anzahl der Einwohner	$\frac{BIP}{Beve}$
Energieintensität	Primärenergieverbrauch Energiewirtschaft / Bruttoinlandsprodukt	$\frac{PEV}{BIPe}$
Emissionsintensität	THG Emissionen Energiewirtschaft / Primärenergieverbrauch Energiewirtschaft	$\frac{THGe}{PEVe}$
Formel: Energiewirtschaft $THG\ Emissionen_{Energiewirtschaft.e} = Beve * \frac{BIP}{Beve} * \frac{PEV}{BIPe} * \frac{THG}{PEVe}$		

Eigene Darstellung

Industrie

Die Dekomposition der Treibhausgasemissionen des Industriesektors unterscheidet zwischen Emissionen aus der Verbrennung von Kraftstoffen sowie prozessbedingten Emissionen. Die Emissionen umfassen die Sektoren der mineralischen Industrie, chemischen Industrie, Metallindustrie, Emissionen aus Produktverwendungen, Emissionen fluorierter Treibhausgase sowie Emissionen von N₂O aus dem Lachgaseinsatz. Dabei werden 100% der Gesamtemissionen des Sektors erfasst. Bei der Interpretation der Abbildungen ist zu berücksichtigen, dass der Primärenergieverbrauch lediglich die energetische Nutzung fossiler Brennstoffe umfasst und den Primärenergieverbrauch durch erneuerbare Energien damit ausschließt. Der in die Dekomposition einfließende Primärenergieverbrauch ist damit geringer als real, sodass die Komponente Energieintensität indirekt den Effekt einer Zunahme von erneuerbaren Energien in der Industrie beschreibt.

Tabelle 9: Dekomposition Variablen – Industrie

Daten	Quelle	Details
THG Emissionen Industrie (energetische Nutzung von Brennstoffen, prozessbedingte Emissionen)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s2
Bruttowertschöpfung	(Destatis 2021c)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 2.2, Preise für 2015
Bruttowertschöpfung Industrie	(Destatis 2021c)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 2.2, Preise für 2015
Primärenergieverbrauch Industrie (energetische Nutzung von Brennstoffen, prozessbedingte Emissionen)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s2
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen Industrie (energetische Nutzung von Brennstoffen, prozessbedingte Emissionen)	$THG\ Emission_{Industrie}$
Wirtschaftsentwicklung	Bruttowertschöpfung	$BWSe$
Struktureller Wandel	Bruttowertschöpfung Industrie / Bruttowertschöpfung	$\frac{BWS_{Industrie}}{BWSe}$

Daten	Quelle	Details
Energieintensität (energetische Nutzung von Brennstoffen)	Primärenergieverbrauch Industrie (energetische Nutzung von Brennstoffen) / Bruttowertschöpfung Industrie	$\frac{PEV}{BWS_{Industrie}}$
Emissionsintensität (energetische Nutzung von Brennstoffen)	THG Emissionen Industrie (energetische Nutzung von Brennstoffen) / Primärenergieverbrauch Industrie	$\frac{THGe}{PEVe}$
Emissionsintensität (prozessbedingte Emissionen)	THG Emissionen Industrie (prozessbedingte Emissionen) / Bruttowertschöpfung Industrie	$\frac{THGe}{BWS_{Industrie}}$
<p>Formel: Energetische Nutzung von Brennstoffen</p> $THG\ Emissionen_{Industrie} = BWS * \frac{BWS_{Industrie}}{BWS_e} * e * \frac{PEV}{BWS_{Industrie}} * \frac{THG}{PEVe}$ <p>Formel: Prozessbedingte Emissionen</p> $THG\ Emissionen_{Industrie} = BWS * \frac{BWS_{Industrie}}{BWS_e} * \frac{THG}{BWS_{Industrie}}$		

Eigene Darstellung

Gebäude

Die Dekomposition der Treibhausgasemissionen von Gebäuden unterscheidet zwischen Emissionen aus Gebäuden privater Haushalte sowie Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Erfasst sind Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern zur Erzeugung von Wärme. Weiterhin wird Fernwärme nicht berücksichtigt, da diese im Sektor Energiewirtschaft bilanziert wird und Daten hierzu bei Berichtserstellung nicht in konsistenter Form vorlagen. Aufgrund der Vernachlässigung Gebäude für den militärischen Bereich sind 99% der Emissionen des KSG-Sektors Gebäude erfasst. Zur Berücksichtigung von Wetter und Klimaeffekten wurden die Daten auf Basis der gewichteten Gradtagszahlen des BDEW bereinigt (bdew 2020b), was zu Abweichungen der Gesamtemissionen führen kann.

Tabelle 10: Dekomposition Variablen – Gebäude

Daten	Quelle	Details
THG Emissionen von Gebäuden (Gebäude privater Haushalte, Gebäude aus GHD)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s4
Anzahl der Einwohner	(Destatis 2020c)	Fachserie 1, Reihe 1.3
Anzahl Wohnungen	(Destatis 2021c)	Tabellen 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3
Gesamte Wohnfläche	(Destatis 2021c)	Tabellen 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3
Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2021c)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 1.1, Basisjahr 2015
Primärenergieverbrauch (Gebäude privater Haushalte, Gebäude aus GHD)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s4
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen von Gebäuden (Gebäude privater Haushalte, Gebäude aus GHD)	$THG\ Emissionen_{Gebäude}$
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner	$Beve$
Wohnungen pro Kopf	Anzahl Wohnungen / Anzahl der Einwohner	$\frac{Whge}{Beve}$
Durchschnittliche Wohnfläche	Gesamte Wohnfläche / Anzahl Wohnungen	$\frac{Flächee}{Whge}$
Energieintensität (Gebäude privater Haushalte)	Primärenergieverbrauch (Gebäude privater Haushalte) / Gesamte Wohnfläche	$\frac{PEV}{Flächee}$
Emissionsintensität (Gebäude privater Haushalte)	THG Emissionen von Gebäuden (Gebäude privater Haushalte) / Primärenergieverbrauch (Gebäude privater Haushalte)	$\frac{THGe}{PEVe}$
Wirtschaftsentwicklung	Bruttoinlandsprodukt / Anzahl der Einwohner	$\frac{BIP}{Beve}$
Energieintensität (Gebäude aus GHD)	Primärenergieverbrauch (Gebäude aus GHD) / Bruttoinlandsprodukt	$\frac{PEV}{BIPe}$

Daten	Quelle	Details
Emissionsintensität (Gebäude aus GHD)	THG Emissionen von Gebäuden (Gebäude aus GHD) / Primärenergieverbrauch (Gebäude aus GHD)	$\frac{THGe}{PEVe}$
<p>Formel: Gebäude privater Haushalte</p> $THG\ Emissionen_{Gebäude} = Bev * \frac{Whge}{Beve} * \frac{Flächee}{Fläche} * \frac{PEV}{PEVe} * \frac{THG}{PEVe}$ <p>Formel: Gebäude aus GHD</p> $THG\ Emissionen_{Gebäude} = Bev * \frac{BIP}{Bev} * \frac{PEV}{BIPe} * \frac{THG}{PEVe}$		

Eigene Darstellung

Verkehr

Die Dekomposition der Treibhausgasemissionen des Verkehrs betrachtet die Emissionen des Straßenverkehrs und unterscheidet hierbei zwischen Personenverkehr und Güterverkehr. Dabei werden Emissionen aus der Verbrennung von Kraftstoffen erfasst. Diese umfassen 89% der Emissionen des gesamten Sektors. Die Komponente Transportintensität umfasst neben dem Straßenverkehr weiterhin die gesamten Personenkilometer des Flugverkehrs, Schiffsverkehrs und Bahnverkehrs und gibt somit an, inwieweit sich das Reiseverhalten insgesamt geändert hat. Die Komponente „Anteil privater PKW an Transportintensität“ beschreibt daher den Einfluss einer veränderten Nutzung der verschiedenen Transportmittel auf die Emissionen.

Tabelle 11: Dekomposition Variablen - Verkehr

Daten	Quelle	Details
THG Emissionen Verkehr (Personenverkehr, Güterverkehr)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s4
Anzahl der Einwohner	(Destatis 2020c)	Fachserie 1, Reihe 1.3
Personenkilometer gesamt	UBA (Allekotte et al. 2020)	Zusammengestellt von UBA
Personenkilometer Straße	UBA (Allekotte et al. 2020)	Zusammengestellt von UBA
Primärenergieverbrauch	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 1.A(a)s4
Bruttoinlandsprodukt	(Destatis 2021c)	Fachserie 18, Reihe 1.1, Tabelle 1.1, Basisjahr 2015
Tonnenkilometer gesamt	UBA (Allekotte et al. 2020)	Zusammengestellt von UBA
Tonnenkilometer Straße	UBA (Allekotte et al. 2020)	Zusammengestellt von UBA
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen Verkehr (Personenverkehr, Güterverkehr)	$THG\ Emiss_{\text{PersonenVerkehr}}$
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner	$Beve$
Transportintensität (Personenverkehr)	Personenkilometer gesamt / Anzahl der Einwohner	$\frac{Pkm_{\text{Gesamte}}}{Beve}$
Anteil privater PKW	Personenkilometer Straße / Personenkilometer gesamt	$\frac{Pkm_{\text{Autoe}}}{Pkm_{\text{Gesamte}}}$
Energieintensität von Kraftfahrzeugen (Personenverkehr, Güterverkehr)	Primärenergieverbrauch (Personenverkehr, Güterverkehr) / Personenkilometer Straße	$\frac{Energieverbr_{\text{Autoe}}}{Pkm_{\text{Autoe}}}$
Emissionsintensität (Personenverkehr)	THG Emissionen Verkehr (Personenverkehr) / Primärenergieverbrauch (Personenverkehr)	$\frac{THGe}{Energieverbr_{\text{Autoe}}}$
Wirtschaftsentwicklung	Bruttoinlandsprodukt	$BIPe$
Transportintensität (Güterverkehr)	Tonnenkilometer gesamt / Bruttoinlandsprodukt	$\frac{Tkm_{\text{Gesamte}}}{BIPe}$

Daten	Quelle	Details
Anteil schwerer Nutzfahrzeuge	Tonnenkilometer Straße / Tonnenkilometer gesamt	$\frac{Tkm_{Lastverkehr}}{Tkm_{Gesamte}}$
Energieintensität schwerer Nutzfahrzeuge	Primärenergieverbrauch (Güterverkehr) / Tonnenkilometer Straße	$\frac{Energieverbr_{Lastverkehr}}{Tkm_{Lastverkehre}}$
Emissionsintensität (Güterverkehr)	THG Emissionen Verkehr (Güterverkehr) / Primärenergieverbrauch (Güterverkehr)	$\frac{THGe}{Energieverbr_{Lastverkehre}}$
<p>Formel: Personenverkehr</p> $THG\ Emissionen_{Verkehre} = Bev * \frac{Pkm_{Gesamte}}{Beve} * \frac{Pkm_{Autoe}}{Pkm_{Gesamte}} * \frac{Energieverbr_{Autoe}}{Pkm_{Autoe}} * \frac{THG}{Energieverbr_{Autoe}}$ <p>Formel: Güterverkehr</p> $THG\ Emiss\ onen_{Verkehre} = BIP * \frac{Tkm_{Gesamte}}{BIPe} * \frac{Tkm_{Lastverkehre}}{Tkm_{Gesamte}} * \frac{Energieverbr_{Lastverkehre}}{Tkm_{Lastverkehre}} * \frac{THG}{Energieverbr_{Lastverkehre}}$		

Eigene Darstellung

Landwirtschaft

Die Dekomposition der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft unterscheidet zwischen Emissionen der Nutztierhaltung und der Agrarwirtschaft. Für die Nutztierhaltung werden dabei die direkten Emissionen durch Gülleausbringung sowie enterischer Fermentation verschiedener Nutztiere aggregiert, während indirekte N₂O Emissionen der Gülleausbringung vernachlässigt werden. Die Nutztiere umfassen Rinder, Schweine, Geflügel und andere. Für die Agrarwirtschaft werden direkte und indirekte Emissionen der Düngemittelversorgung (N₂O) berücksichtigt. Dabei werden die Emissionen der stationären Feuerung und mobiler Emittenten sowie aus der Verbrennung von Biomasse ausgeschlossen. Insgesamt umfassen beide Dekompositionen 83% der Emissionen des Sektors.

Tabelle 12: Dekomposition Variablen - Landwirtschaft

Daten	Quelle	Details
THG Emissionen Landwirtschaft (Nutztiere, Agrarwirtschaft)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 3s1 and 3.D
Anzahl der Einwohner	(Destatis 2020c)	Fachserie 1, Reihe 1.3
Anzahl Nutztiere	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 3.As1
Anzahl je Nutztierart	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 3.As1
Düngemittelversorgung	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 3.D
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen Landwirtschaft (Nutztiere, Agrarwirtschaft)	$THG\ Emissionen_{Landwirtsch.e}$
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner	$Beve$
Nutztiere pro Kopf	Anzahl Nutztiere / Anzahl der Einwohner	$\frac{Nutztieree}{Beve}$
Anteil Nutztierarten	Anzahl je Nutztierart / Anzahl Nutztiere	$\frac{Nutztiere_{je}}{Nutztieree}$
Emissionsintensität (Nutztiere)	THG Emissionen Landwirtschaft (Nutztiere) / Anzahl je Nutztierart	$\frac{THG_{je}}{Nutztiere_{je}}$
Dünger pro Kopf	Düngemittelversorgung / Anzahl der Einwohner	$\frac{Düngemittel}{Beve}$
Emissionsintensität (Agrarwirtschaft)	THG Emissionen Landwirtschaft (Agrarwirtschaft) / Düngemittelversorgung	$\frac{THGe}{Düngemittel}$
Formel: Nutztiere	$THG\ Emissionen_{Landwirtsch.e} = \sum_{je} THG_{je} = eBeve * \frac{Nutztieree}{Beve} * \frac{Nutztiere_{je}}{Nutztieree} * \frac{THG_{je}}{Nutztiere_{je}}$	
Formel: Agrarwirtschaft	$THG\ Emissionen_{Landwirtsch.e} = Beve * \frac{Düngemittel}{Beve} * \frac{THGe}{Düngemittel}$	

Eigene Darstellung

Abfallwirtschaft und Sonstiges

Die Dekompositionen der Emissionen des Sektors „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ unterscheiden zwischen Emissionen der Abfallwirtschaft und der Abwasserbehandlung. Dabei werden Emissionen aus der Abfalldeponierung, der biologischen Abfallbehandlung, der Abfallverbrennung, der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sowie der Abwasserbehandlung berücksichtigt. Emissionen aus der Verbrennung von Abfall sind hingegen dem Sektor Energiewirtschaft zugeordnet. Insgesamt sind damit annähernd 100% der Gesamtemissionen des Sektors enthalten.

Tabelle 13: Dekomposition Variablen – Abfallwirtschaft und Sonstiges

Daten	Quelle	Details
THG Emissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges (Abfallwirtschaft, Abwasserbehandlung)	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 5
Anzahl der Einwohner	(Destatis 2020c)	Fachserie 1, Reihe 1.3
Gesamtmenge Abfall	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 5.A, 5.B, 5.C
Menge jeweiliger Abfallkomponenten	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 5.A, 5.B, 5.C
Abwassermenge	NIB (UBA 2020a)	Tabelle 5.D
Komponente Dekomposition:	Definition:	Term:
THG Emissionen gesamt	THG Emissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges (Abfallwirtschaft, Abwasserbehandlung)	$THG\ Emissionen_{Abfalle}$
Bevölkerungsentwicklung	Anzahl der Einwohner	$Beve$
Abfall pro Kopf	Gesamtmenge Abfall / Anzahl der Einwohner	$\frac{Abfalle}{Beve}$
Art der Abfallbehandlung	Menge jeweiliger Abfallkomponenten / Gesamtmenge Abfall	$\frac{Abfall_{je}}{Abfalle}$
Emissionsintensität (Abfallwirtschaft)	THG Emissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges (Abfallwirtschaft) / Menge jeweiliger Abfallkomponenten	$\frac{THG_{je}}{Abfall_{je}}$
Abwasser pro Kopf	Abwassermenge / Anzahl der Einwohner	$\frac{Abwassere}{Beve}$
Emissionsintensität (Abwasserbehandlung)	THG Emissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges (Abwasserbehandlung) / Abwassermenge	$\frac{THGe}{Abwassere}$
Formel: Abfallwirtschaft $THG\ Emissionen_{Abfalle} = \sum_{je} THG_{je} = Beve * \frac{Abfalle}{Beve} * \frac{Abfall_{je}}{Abfalle} * \frac{THG_{je}}{Abfall_{je}}$		
Formel: Abwasserbehandlung $THG\ Emissionen_{Abfalle} = Beve * \frac{Abwassere}{Beve} * \frac{THG}{Abwassere}$		

Eigene Darstellung

A.2.2 Ergänzende Ergebnisdarstellung

Die Darstellung der Ergebnisse der Dekompositionsanalyse erfolgt in diesem Bericht in grafischer Form. Für die sektorenübergreifende Betrachtung und die Analyse des Sektors Energiewirtschaft werden jeweils zwei Darstellungen gewählt, deren Aussagen sich ergänzen:

- Zum einen werden die Änderungen der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Vorjahr dargestellt. Diese Darstellung verdeutlicht Veränderungen zwischen einzelnen Jahren.
- Zum anderen werden die Änderungen der Treibhausgasemissionen in jedem Jahr gegenüber dem gewählten Basisjahr 1995 dargestellt. Diese Darstellung macht den Einfluss der einzelnen Faktoren über den gesamten Betrachtungszeitraum deutlich.

In Kapitel 6.1 wird für die sektorenübergreifende Betrachtung und für die Analyse des Sektors Energiewirtschaft die Veränderung im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr über den gesamten Betrachtungszeitraum dargestellt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Veränderungen gegenüber dem gewählten Basisjahr 1990 bzw. 1995 für alle KSG-Sektoren.

Im Sektor **Industrie** sind die Emissionen seit 1995 um 24% zurückgegangen, stagnieren jedoch in den vergangenen 10 Jahren weitestgehend. Haupttreiber zusätzlicher Emissionen ist die wachsende Wirtschaftsentwicklung (Abbildung 19). Emissionsminderungen aus Industrieprozessen resultieren maßgeblich aus einer sinkenden Emissionsintensität (Abbildung 20). Der strukturelle Wandel (gemessen durch den Anteil des Industriesektors an der Bruttowertschöpfung) trägt zu einem leichten Absinken von Emissionen des gesamten Sektors bei.

Im Sektor **Gebäude** sind die Emissionen seit 1995 um 34% gesunken. Dabei ist der Haupttreiber der Emissionsminderung bei Gebäuden privater Haushalte ein verringerter Primärenergieverbrauch pro Wohnfläche. Zur Erhöhung der Emissionen trägt dagegen eine gestiegene Anzahl von Wohnungen pro Kopf sowie die Erhöhung der durchschnittlichen Wohnfläche bei (Abbildung 21).

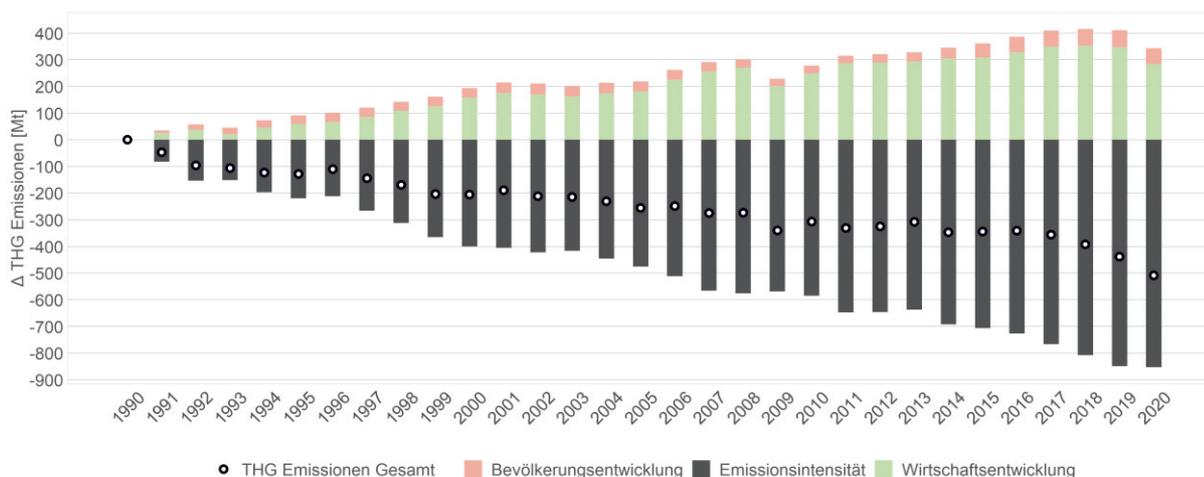
Im gesamten Sektor **Verkehr** sind seit 1995 die Emissionen um 7% gesunken, jedoch in den vergangenen Jahren weitestgehend stagniert. Während die Emissionen des Personenverkehrs im Vergleich zu 1995 leicht gesunken sind (Abbildung 23), gab es einen leichten Anstieg der Emissionen des Güterverkehrs (Abbildung 24). Im Personenverkehr wirkt vor allem eine höhere Transportintensität (gemessen als gefahrenen Personenkilometer pro Kopf des gesamten Verkehrssektors, inklusive Flug-, Bahn- und Schiffsverkehr) emissionssteigernd, während ein verringerter Anteil der Personenkilometer privater PKW (an dem gesamten Verkehrssektor) zu Emissionsminderungen beiträgt. Im Güterverkehr tragen die Wirtschaftsentwicklung, eine höhere Transportintensität und ein höherer Anteil schwerer Nutzfahrzeuge (am gesamten Verkehrssektor) zu einer Emissionssteigerung bei.

Im Sektor **Landwirtschaft** unterscheidet man zwischen Emissionen der Nutztierhaltung und der Agrarwirtschaft. Die Emissionen des gesamten Sektors sind seit 1995 um 8% gesunken, jedoch in den vergangenen Jahren weitestgehend stagniert. Die Emissionsminderung der Nutztierhaltung (Abbildung 25) basiert ausschließlich auf einer veränderten Zusammensetzung der Nutztiere, während ein absoluter Anstieg gehaltener Nutztiere (gemessen als Anzahl Nutztiere pro Kopf) sowie eine zugenommene Emissionsintensität (hier gemessen als Summe der Treibhausgasemissionen über alle Nutztiere) einen Anstieg der Emissionen bedingen. Die Emissionen der Agrarwirtschaft (Abbildung 26) fluktuieren stark; der maßgebliche Treiber von Veränderungen ist hier die Menge des eingesetzten Düngemittels pro Kopf.

Im Sektor **Abfallwirtschaft und Sonstiges** unterscheidet man zwischen Abfallwirtschaft und Abwasserbehandlung. Seit 1995 sind die Emissionen des gesamten Sektors um 76% gesunken, wobei die Emissionsminderung maßgeblich auf die Abfallwirtschaft zurückzuführen ist. Die Haupttreiber sind dabei eine veränderte Art der Abfallbehandlung und, in geringerem Maße, ein verringerter Abfall pro Kopf (Abbildung 27).

Sektorenübergreifende Betrachtung

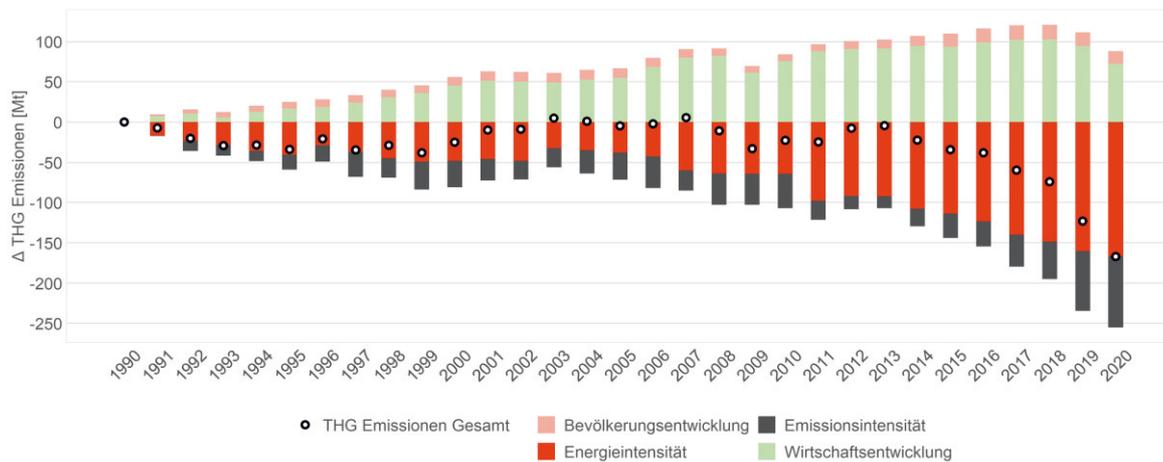
Abbildung 16 Dekomposition Treibhausgasemissionen sektorenübergreifende Betrachtung – Änderungen im Vergleich zu 1990



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (Bruttoinlandsprodukt pro Anzahl Einwohner) und Emissionsintensität (THG Emissionen gesamt pro Bruttoinlandsprodukt) in Bezug auf das Jahr 1990.
Eigene Darstellung

Energiewirtschaft

Abbildung 17 Dekomposition Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft – Änderungen im Vergleich zu 1990



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (Bruttoinlandsprodukt pro Anzahl Einwohner), Energieintensität (Primärenergieverbrauch Energiewirtschaft pro Bruttoinlandsprodukt) und Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen Energiewirtschaft pro Primärenergieverbrauch Energiewirtschaft) in Bezug auf das Jahr 1990. Die hier darstellte Analyse deckt etwa 84% der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft ab.

Eigene Darstellung

Abbildung 18 Dekomposition Treibhausgasemissionen des Anteils der Emissionsintensität in der Energiewirtschaft nach Energieträgern – Änderungen im Vergleich zu 1990

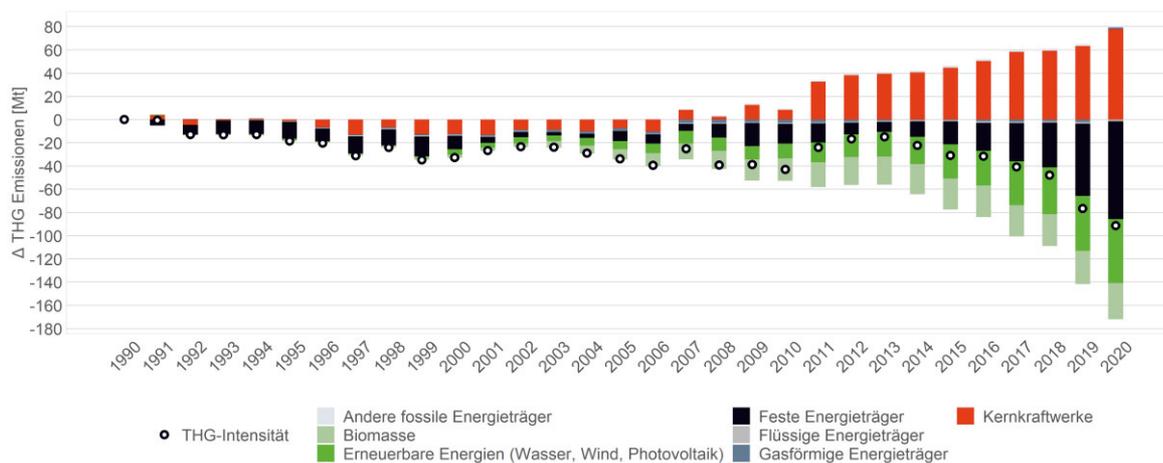
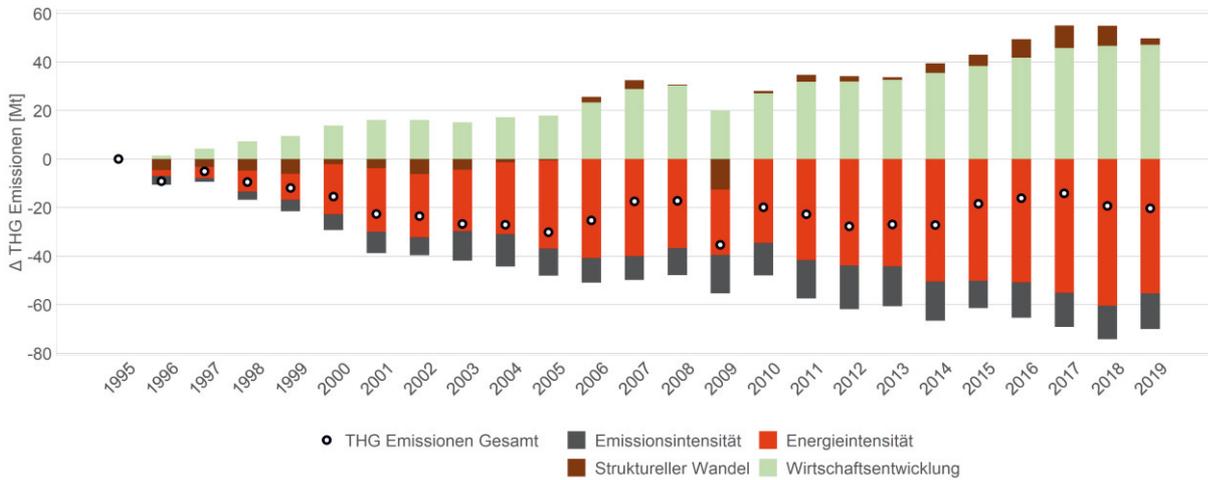


Abbildung zeigt eine detaillierte Betrachtung für den Teil der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft, der in Abbildung 8 der Emissionsintensität zugeordnet wird. Die Abbildung zeigt die Zerlegung der Veränderung der Emissionsintensität in die Veränderung der Gewichte der einzelnen Energieträger (jeweilige Balken) in Bezug auf das in Bezug auf das Jahr 1990. Zur Vereinfachung der Darstellung werden alle Werte mit dem Primärenergieverbrauch multipliziert. Die dargestellten Kreise entsprechen demjenigen Anteil der Gesamtemissionen, der in Abbildung 8 dem Faktor Emissionsintensität zugeordnet worden ist. Die hier darstellte Analyse deckt etwa 84% der Emissionen des Sektors Energiewirtschaft ab. Die Komponenten umfassen fossile Energieträger (feste, flüssige, gasförmige und andere), Kernkraftwerke, erneuerbare Energien (Wasser, Wind, Photovoltaik) und Biomasse. Hinweis: Die Verringerung der Stromproduktion aus Kernkraftwerken führt zu einer relativen Erhöhung zu einer Erhöhung von Emissionen da dies zu einem Anstieg der Emissionsintensität im Energiemix führt. Entsprechend führt eine Zunahme erneuerbarer Energien zu einer Abnahme der Emissionsintensität.

Eigene Darstellung

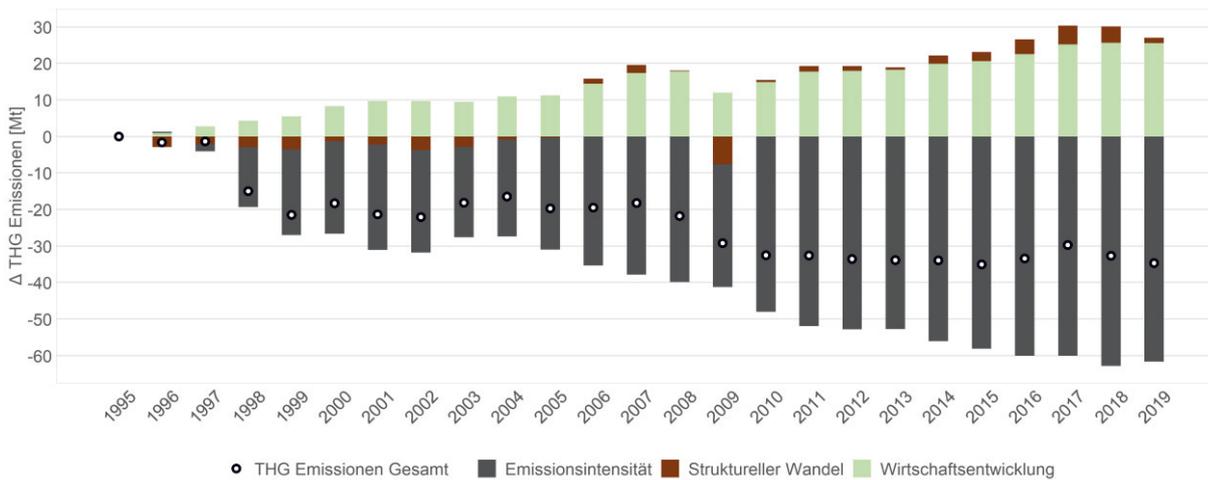
Industrie

Abbildung 19 Dekomposition Treibhausgasemissionen Industrie, energetische Nutzung von Brennstoffen – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Industrie aus der energetischen Nutzung von Brennstoffen (Kreis) in die Komponenten Wirtschaftsentwicklung (Bruttowertschöpfung), Struktureller Wandel (Anteil Bruttowertschöpfung der Industrie an gesamter Bruttowertschöpfung) Energieintensität (Primärenergieverbrauch Industrie pro Bruttowertschöpfung Industrie) und Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen Industrie pro Primärenergieverbrauch Industrie) in Bezug auf das Jahr 1995.
Eigene Darstellung

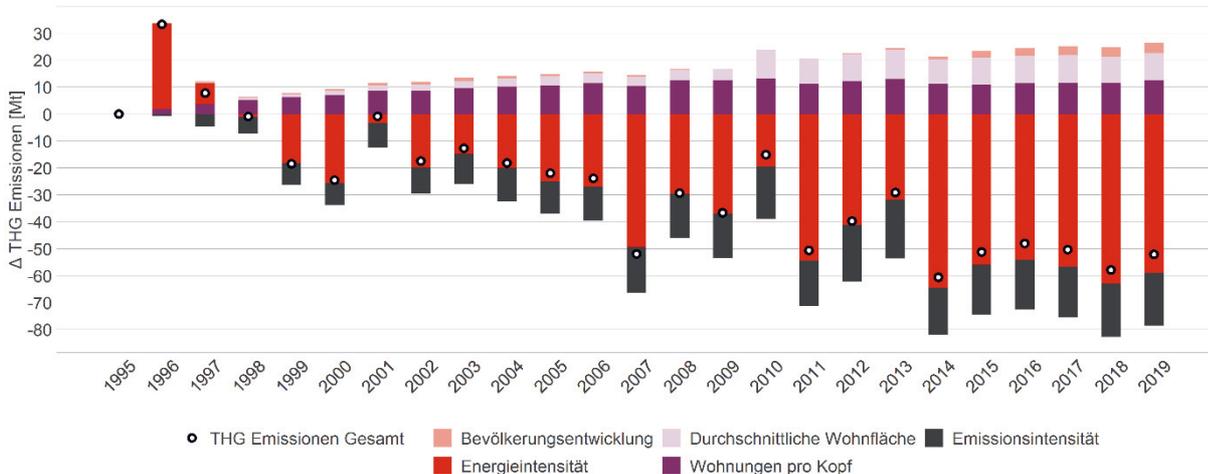
Abbildung 20 Dekomposition Treibhausgasemissionen Industrie, Industrieprozesse – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen (Kreis) in die Komponenten Wirtschaftsentwicklung (Bruttowertschöpfung), Struktureller Wandel (Anteil Bruttowertschöpfung der Industrie an gesamter Bruttowertschöpfung) Energieintensität (Primärenergieverbrauch Industrie pro Bruttowertschöpfung Industrie) und Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen Industrie pro Primärenergieverbrauch Industrie) in Bezug auf das Jahr 1995.
Eigene Darstellung

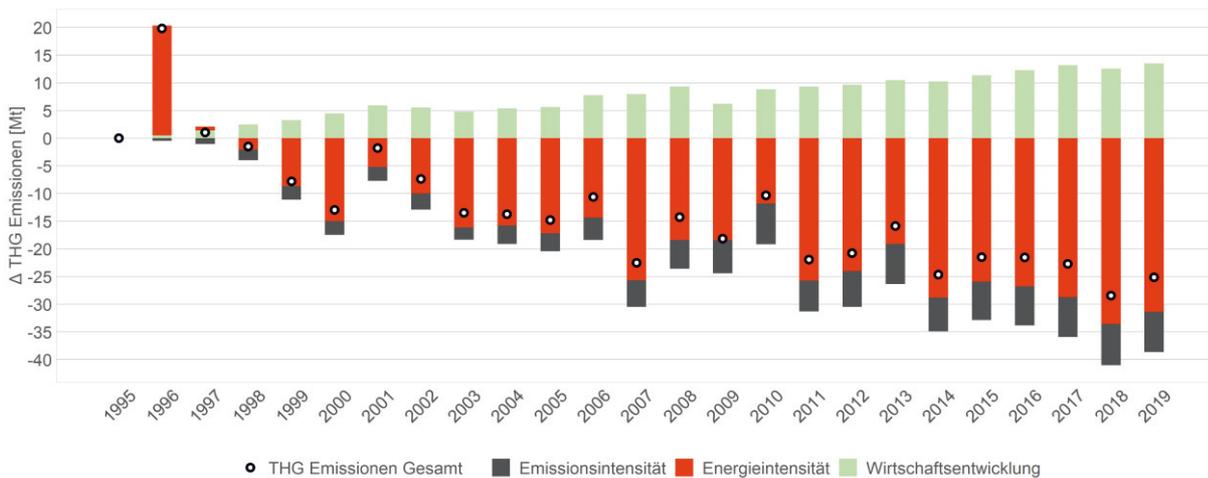
Gebäude

Abbildung 21 Dekomposition Treibhausgasemissionen Gebäude, Gebäude privater Haushalte – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen von Gebäuden privater Haushalte (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Wohnungen pro Kopf (Anzahl Wohnungen pro Anzahl Einwohner), Energieintensität (Primärenergieverbrauch von Gebäuden pro Bruttoinlandsprodukt) und Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen von Gebäuden pro Primärenergieverbrauch von Gebäuden) in Bezug auf das Jahr 1995.
Eigene Darstellung

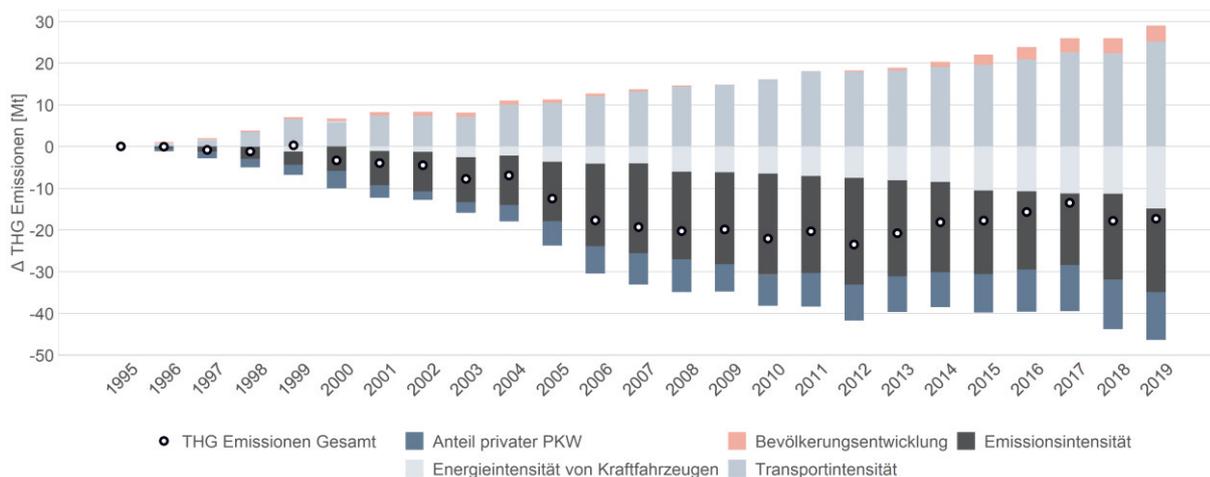
Abbildung 22 Dekomposition Treibhausgasemissionen Gebäude, Gebäude aus GHD – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen aus Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Wirtschaftsentwicklung (Bruttoinlandsprodukt pro Anzahl Einwohner), Energieintensität (Primärenergieverbrauch von Gebäuden pro Bruttoinlandsprodukt) und Emissionsintensität (Treibhausgasemissionen von Gebäuden pro Primärenergieverbrauch von Gebäuden) in Bezug auf das Jahr 1995.
Eigene Darstellung

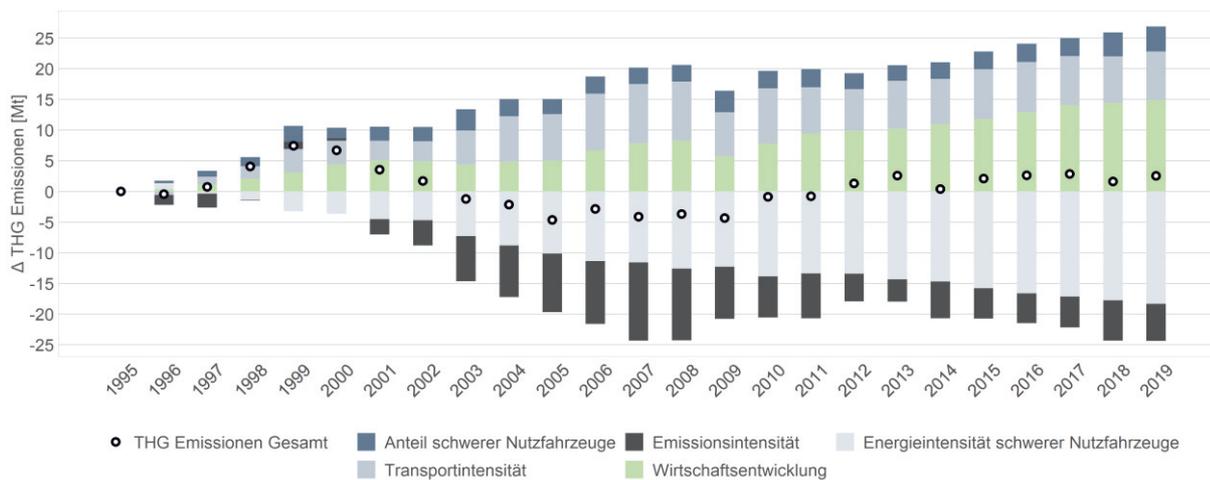
Verkehr

Abbildung 23 Dekomposition Treibhausgasemissionen Verkehr, Personenverkehr – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Transportintensität (Personenkilometer Gesamt pro Anzahl der Einwohner), Anteil privater PKW (Personenkilometer Straße pro Personenkilometer Gesamt), Energieintensität von Kraftfahrzeugen (Primärenergieverbrauch Verkehr pro Personenkilometer Straße) und Emissionsintensität (THG Emissionen Verkehr pro Primärenergieverbrauch Verkehr) in Bezug auf das Jahr 1995. Eigene Darstellung

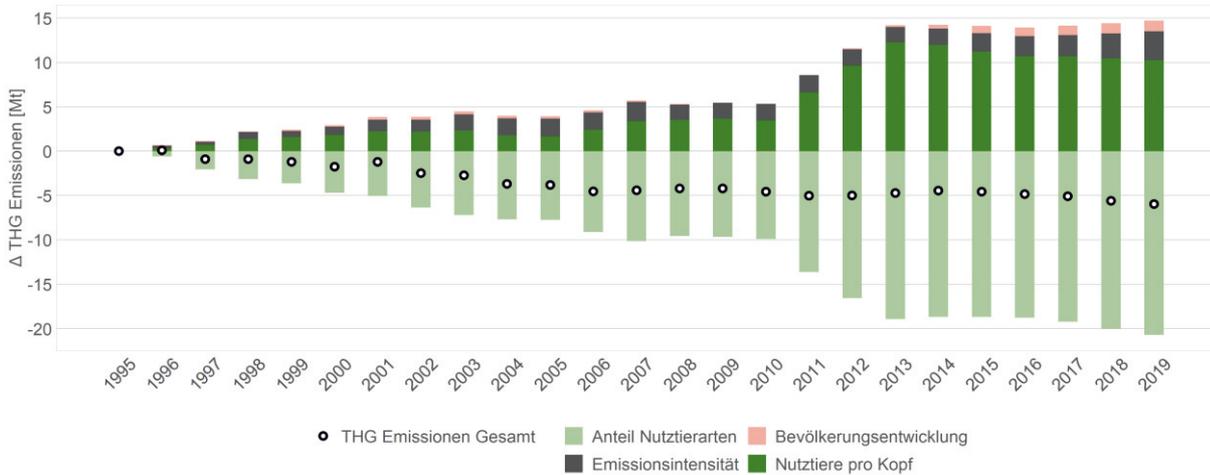
Abbildung 24 Dekomposition Treibhausgasemissionen Verkehr, Güterverkehr – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs (Kreis) in die Komponenten Wirtschaftsentwicklung (Bruttoinlandsprodukt), Transportintensität (Tonnenkilometer Gesamt pro Bruttoinlandsprodukt), Anteil schwerer Nutzfahrzeuge (Tonnenkilometer Straße pro Tonnenkilometer Gesamt), Energieintensität schwerer Nutzfahrzeuge (Primärenergieverbrauch Verkehr pro Tonnenkilometer Straße) und Emissionsintensität (THG Emissionen Verkehr pro Primärenergieverbrauch Verkehr) in Bezug auf das Jahr 1995. Eigene Darstellung

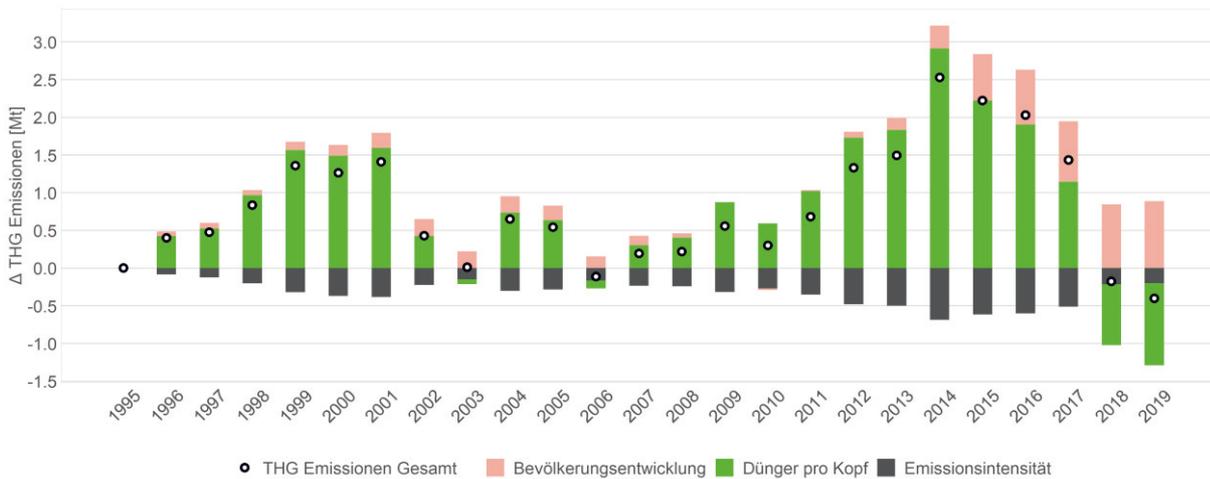
Landwirtschaft

Abbildung 25 Dekomposition Treibhausgasemissionen Landwirtschaft, Nutztiere – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft (Nutztiere) (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Nutztiere pro Kopf (Anzahl Nutztiere pro Anzahl der Einwohner), Anteil Nutztierarten (Anzahl je Nutztierart pro Anzahl Nutztiere) und Emissionsintensität (THG Emissionen Landwirtschaft pro Anzahl je Nutztierart) in Bezug auf das Jahr 1995. Eigene Darstellung

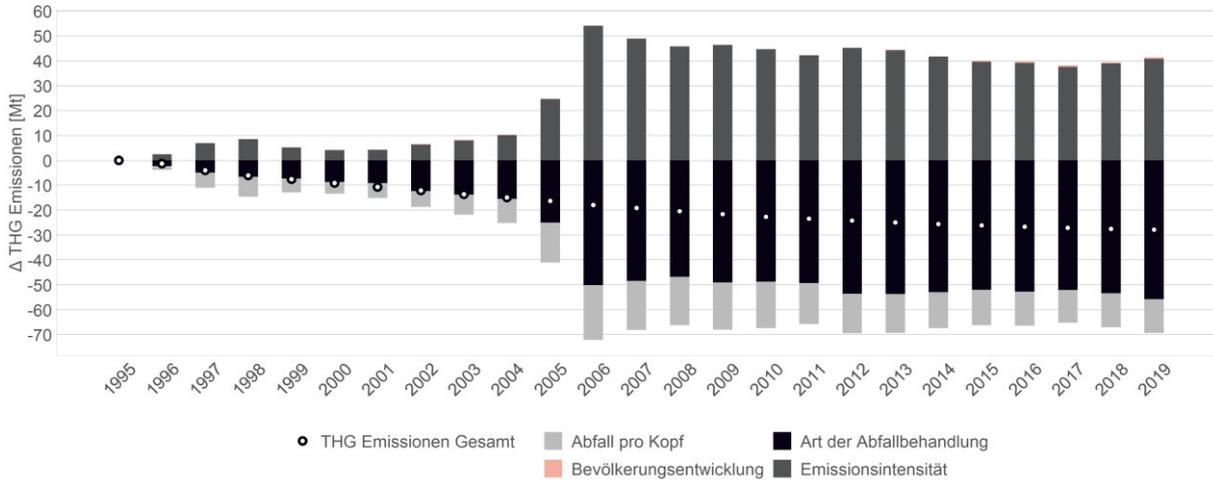
Abbildung 26 Dekomposition Treibhausgasemissionen Landwirtschaft, Agrarwirtschaft – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft (Agrarwirtschaft) (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Dünger pro Kopf (Düngemittelversorgung pro Anzahl der Einwohner) und Emissionsintensität (THG Emissionen Landwirtschaft pro Düngemittelversorgung) in Bezug auf das Jahr 1995. Eigene Darstellung

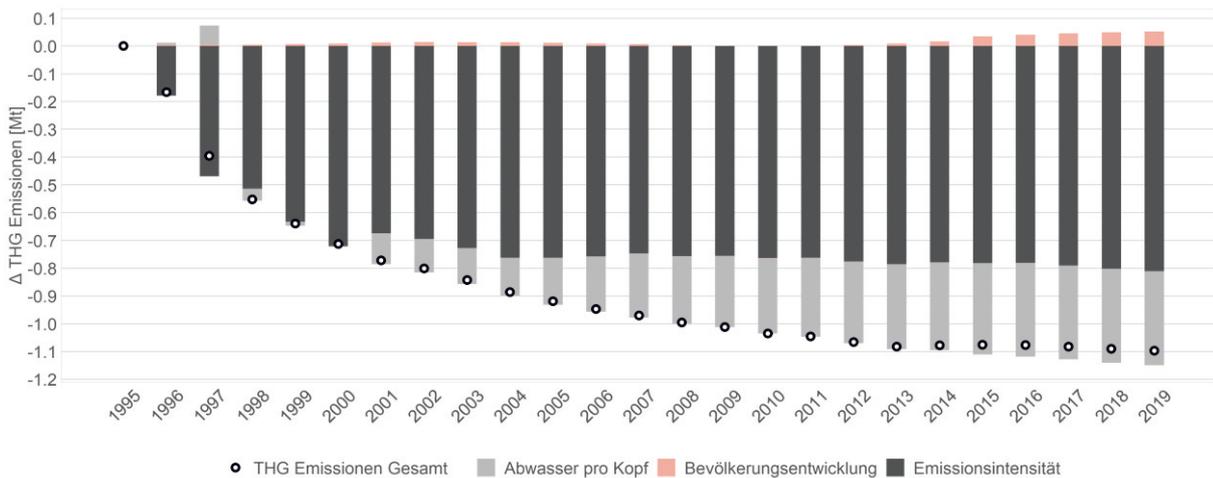
Abfallwirtschaft und Sonstiges

Abbildung 27 Dekomposition Treibhausgasemissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges, Abfallwirtschaft – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Abfall pro Kopf (Gesamtmenge Abfall pro Anzahl der Einwohner), Art der Abfallbehandlung (Menge jeweiliger Abfallkomponenten pro Gesamtmenge Abfall) und Emissionsintensität (THG Emissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges pro Menge jeweiliger Abfallkomponenten) in Bezug auf das Jahr 1995.
Eigene Darstellung

Abbildung 28 Dekomposition Treibhausgasemissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges, Abwasserbehandlung – Änderungen im Vergleich zu 1995



Die Abbildung zeigt eine Dekomposition der jährlichen Treibhausgasemissionen der Abwasserbehandlung (Kreis) in die Komponenten Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner), Abwasser pro Kopf (Abwassermenge pro Anzahl der Einwohner) und Emissionsintensität (THG Emissionen Abfallwirtschaft und Sonstiges pro Abwassermenge) in Bezug auf das Jahr 1995.
Eigene Darstellung

A.3 Strukturelle Daten-Fortschreibung – Ergänzende Erläuterungen zu Methodik und Ergebnissen

Methoden

Die strukturelle Daten-Fortschreibung erfolgt auf zwei Ebenen. Zum einen werden auf gesamtwirtschaftlicher Ebene die sektorenübergreifenden Emissionen betrachtet. Zum anderen werden mittels einer Dekompositionsanalyse die Emissionen für jeden Sektor separat betrachtet. Die gesamten Emissionen eines Sektors ergeben sich dann aus der Addition der Beträge der einzelnen Komponenten. Aus der Addition der Emissionen der einzelnen Sektoren erhält man wiederum die sektorenübergreifenden Emissionen. Auf beiden Ebenen basiert die Datenfortschreibung für das Jahr 2020 auf einem ökonometrischen Ansatz in Form eines autoregressiven (AR) Modells für Zeitreihendaten. Ein AR Modell erklärt die Entwicklung einer Variablen aus den Vergangenheitswerten derselben Variablen. Für die Fortschreibung der kontrafaktischen Entwicklung der Emissionen im Jahr 2020 wird ein autoregressives Modell erster Ordnung, ein AR(1)-Modell, verwendet. In einem AR(1)-Modell wird der Wert einer Variablen im Jahr (t) durch den Wert derselben Variablen aus dem Vorjahr (t-1) erklärt. Dieser Ansatz eignet sich besonders zur Modellierung von Prozessen, denen kapitalintensive Strukturen zugrunde liegen.

Das AR(1)-Modell lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben:

$$y_t = \delta + \varphi y_{t-1} + \varepsilon_{te}$$

wobei y_{t-1} die Werte aus dem Vorjahr und ε_{te} einen nicht-systematischen Fehlerterm darstellen. Die Konstante δ ist durch die folgende Gleichung definiert:

$$\delta = (1 - \varphi)\mu$$

wobei μ der Mittelwert der Zeitreihe darstellt. Die Parameter wurden mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. Da die verwendeten Zeitreihen vergleichsweise kurz sind, wurde eine Bias-Korrektur nach Kendall (1954) vorgenommen. Die Robustheit der Ergebnisse wurde auch mit anderen Bias-Korrekturverfahren (Phillips und Yu 2005) geprüft.

Die Stationarität der Zeitreihen wurde durch die Bildung der ersten Differenz sichergestellt und mit dem Augmented Dickey-Fuller (ADF)-Test (Dickey und Fuller 1979) und dem Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)-Test (Kwiatkowski et al. 1992) überprüft.

Für die Fortschreibung wird angenommen, dass sich die aus den Vergangenheitsdaten ergebenden strukturellen Zusammenhänge für den Fortschreibungszeitraum nicht ändern.

Daten

Sektorenübergreifende THG-Emissionen

Für die strukturelle Daten-Fortschreibung auf der sektorenübergreifenden Ebene wurde ein AR(1)-Modell für die Emissionsintensität (definiert als gesamte THG-Emissionen/BIP_{real2015}) geschätzt. Die historischen Daten für die THG-Emissionen stammen aus dem Nationalen Inventarbericht, während die Daten für das historische BIP aus (Destatis 2021c) stammen. Aus dem AR(1)-Modell ergibt sich dann die Emissionsintensität für das Jahr 2020. Diese wird für die strukturelle Datenfortschreibung im Jahr 2020 mit der BIP-Prognose für das Jahr 2020 der Jahresprojektion 2020 der Bundesregierung in Höhe von 1,1% (BMWi 2020) multipliziert. Daraus ergibt sich für die THG-Emissionen in der Trendfortschreibung im Jahr 2020 ein Wert von 787,4 Mt

CO₂e. Die Grenzen des 90%-Konfidenzintervalls liegen bei 735 bzw. 843 und die des 95%-Konfidenzintervalls liegen bei 725 Mt CO₂e bzw. 853 Mt. CO₂e.⁴⁵

Um die Plausibilität der Ergebnisse des AR(1)-Ansatzes zu überprüfen, wurde ein weiterer Ansatz verfolgt, der auf den Veränderungsraten des Primärenergieverbrauchs (PEV) in der Vergangenheit basiert. Für diesen Ansatz wurden zwei Varianten gerechnet, um einen Wert für die THG-Emissionen in der Trendfortschreibung in 2020 zu erhalten. In der ersten Variante wird vereinfachend angenommen, dass die Veränderungsrate von 2019 auf 2020 für jeden Primärenergieträger der Veränderungsrate von 2018 auf 2019 entspricht. In der zweiten Variante wird angenommen, dass die Veränderungsrate von 2019 auf 2020 für jeden Primärenergieträger der durchschnittlichen Veränderungsrate des Zeitraums 2015 bis 2019 entspricht. Für die spezifischen Emissionen im Jahr 2020 wurden für beide Varianten die Angaben aus dem Nationalen Inventarbericht 2021 für das Jahr 2019 übernommen. Für die erste Variante erhält man für die kontrafaktischen THG-Emissionen in 2020 einen Wert von 770 Mt CO₂e, für die zweite Variante einen Wert von 801 Mt. CO₂e. Die fortgeschriebenen THG-Emissionen aus dem AR(1)-Modell liegen in etwa in der Mitte der Werte, die man über den PEV-basierten Ansatz erhält.

Sektorale Treibhausgasemissionen

Für die Berechnung der kontrafaktischen THG-Emissionen in 2020 auf sektoraler Ebene wurde für jeden Sektor jede Komponente der Dekomposition zunächst separat mit einem AR(1)-Modell geschätzt. Die Gesamtemissionen je Sektor ergeben sich dann durch Addition der Ergebnisse für die einzelnen Komponenten.⁴⁶ Aufgrund der Datenverfügbarkeit deckt die Dekomposition jedoch nicht die gesamten Treibhausgasemissionen ab. Der Grad der Abdeckung ist mit knapp 85% jedoch sehr hoch (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Vergleich der THG-Emissionen im Jahr 2019 des Nationalen Inventarberichts mit den abgedeckten THG-Emissionen in der Dekompositionsanalyse

KSG - Sektoren	THG Emissionen im Jahr 2019 aus NIB	Summe THG Emissionen in Dekomposition	Abgedeckte THG Emissionen in Dekomposition
1 - Energiewirtschaft	258,0	217,9	84,5%
2 - Industrie	186,8	172,8	92,5%
3 - Gebäude	123,5	122,5	99,3%
4 - Verkehr	164,3	146,4	89,1%
5 - Landwirtschaft	67,9	56,5	83,2%
6 - Abfallwirtschaft und Sonstiges	9,2	9,2	99,6%
Summe	809,8	725,3	89,6%

Eigene Darstellung

⁴⁵ Für die Berechnung wurde das 90%-Konfidenzintervalls für den Schätzwert für ϕ verwendet. Außerdem wurde angenommen, dass die BIP-Prognose nicht stochastisch ist.

⁴⁶ Auf die Ausweisung von Konfidenzintervallen wird für diesen Ansatz verzichtet. Da die Prognosefehler der einzelnen Komponenten korreliert sind, können dafür die Grenzen der Konfidenzintervalle nicht einfach addiert werden.

Für die Zeitreihe der fehlenden Emissionen wird die Emissionszeitreihe aus dem Nationalen Inventarbericht für das AR(1) Modell verwendet. Diese werden dann zur Schätzung der einzelnen Identitäten addiert, um die Gesamtemission in jedem Sektor zu erhalten. Die Teile der THG-Emissionen, die aus der Dekomposition und dem Nationalen Inventarbericht 2021 stammen, sind in Tabelle 15 dargestellt.

Die Identitäten für jede der in der Dekompositionsanalyse berücksichtigten THG-Emissionen sind in Tabelle 16 aufgeführt. Diese Identitäten werden dann für 2020 mit Hilfe des ökonometrischen Ansatzes fortgeschrieben. Der autoregressive Modellansatz wird für alle Sektoren mit Ausnahme der Abfallwirtschaft und Sonstiges angewendet. Für die Abfallwirtschaft zeigten sich mehrere Strukturbrüche in den Zeitreihendaten, so dass der ökonometrische Ansatz wenig geeignet schien. Die Fortschreibung der Emissionen aus der Abfallwirtschaft für das Jahr 2020 basiert stattdessen auf der Veränderung des Vorjahres.

Tabelle 15: Fehlender Datensatz aus der Dekompositionsanalyse, der direkt mit den Emissionszeitreihen des Nationalen Inventarberichts in dem AR(1)-Modell regressiert wurde

KSG Sektoren	Dekomposition	Kommentar
1 - Energiewirtschaft		
CRF 1.A.1 - Energiewirtschaft	Ja	
CRF 1.A.3.e - Erdgasverdichter	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 1.B - Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
2 - Industrie		
CRF 1.A.2 - Verarbeitendes Gewerbe	Ja	Emission aus Brennstoff
CRF 2.A - Herstellung mineralischer Produkte	Ja	Prozessemissionen
CRF 2.B - Chemische Industrie	Ja	Prozessemissionen
CRF 2.C - Herstellung von Metallen	Ja	Prozessemissionen
CRF 2.D-H - übrige Prozesse und Produktverwendungen	Ja	Prozessemissionen
Summe F-Gase	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
3 - Gebäude		
CRF 1.A.4.a - Gewerbe, Handel, Dienstleistung (ohne Militär und Landwirtschaft)	Ja	GHD
CRF 1.A.4.b - Haushalte	Ja	Haushalte
CRF 1.A.5 - Militär	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
4 - Verkehr		
CRF 1.A.3.a - nationaler Luftverkehr	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 1.A.3.b - Straßenverkehr	Ja	Personen- und Güterverkehr
CRF 1.A.3.c - Schienenverkehr	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 1.A.3.d - Küsten- & Binnenschifffahrt	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)

KSG Sektoren	Dekomposition	Kommentar
5 - Landwirtschaft		
CRF 1.A.4.c - Stationäre & mobile Feuerung	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 3.A - Landwirtschaft - Fermentation	Ja	Landwirtschaftliche Emissionen (Nutztiere)
CRF 3.B - Landwirtschaft - Düngewirtschaft	Ja	Landwirtschaftliche Emissionen (Nutztiere)
CRF 3.D - Landwirtschaft - Landwirtschaftliche Böden	Ja	Landwirtschaftliche Emissionen (Agrarwirtschaft)
CRF 3.G - Landwirtschaft - Kalkung	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 3.H - Landwirtschaft - Harnstoffanwendung	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 3.I - Landwirtschaft - Andere kohlenstoffhaltige Düngemittel	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
CRF 3.J - Andere	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)
6 - Abfallwirtschaft und Sonstiges		
CRF 5.A - Abfalldeponierung	Ja	Emissionen aus Abfall
CRF 5.B - biologische Behandlung von festen Abfällen	Ja	Emissionen aus Abfall
CRF 5.D - Abwasserbehandlung	Ja	Abwasser-Emissionen
CRF 5.E - übrige Emissionen - Andere	Nein	Fortgeschrieben aus NIB (UBA 2021a)

Eigene Darstellung

Tabelle 16: Fortgeschriebene Identitäten aus der Dekompositionsanalyse für die kontrafaktischen THG-Emissionen im Jahr 2020

KSG-Sektoren	Fortgeschriebene Identitäten mit dem AR(1)-Modell ¹⁾
Energiewirtschaft	Bevölkerungsentwicklung
	Wirtschaftsentwicklung
	Energieintensität
	Emissionsintensität
Industrie: energiebedingte Emissionen	Wirtschaftsentwicklung
	Struktureller Wandel
	Energieintensität
	Emissionsintensität
Industrie: prozessbedingte Emissionen	Wirtschaftsentwicklung
	Struktureller Wandel
	Emissionsintensität

KSG-Sektoren	Fortgeschriebene Identitäten mit dem AR(1)-Modell ¹⁾
Gebäude: Wohngebäude	Bevölkerungsentwicklung
	Energieintensität
	Durchschnittliche Wohnfläche
	Wohnungen pro Kopf
	Emissionsintensität
Gebäude: Nicht-Wohngebäude	Bruttowertschöpfung
	Energieintensität
	Emissionsintensität
Verkehr: Straßenpersonenverkehr	Anteil privater PKW
	Energieintensität von Kraftfahrzeugen
	Bevölkerungsentwicklung
	Transportintensität
	Emissionsintensität
Verkehr: Straßengüterverkehr	Anteil schwerer Nutzfahrzeuge
	Energieintensität schwerer Nutzfahrzeuge
	Bruttowertschöpfung
	Transportintensität
	Emissionsintensität
Landwirtschaft: Nutztiere	Anteil Nutztierarte
	Emissionsintensität
	Bevölkerung
	Nutztiere pro Kopf
Landwirtschaft: Agrarwirtschaft	Bevölkerung
	Emissionsintensität
	Dünger pro Kopf

1. Zur Definition der Identitäten siehe Anhang A.1

Eigene Darstellung

Die vollständige Liste der Emissionsberechnungsformel, die zur Berechnung der sektoralen Emissionen geschätzt wurden, ist in Anhang A.2 aufgeführt.

10 Literaturverzeichnis

- acatech (2020): Mobilitätsmonitor 2020. Hg. v. acatech - Deutsche Akademie für Technikwissenschaften. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/medien/mediathek/mobilitaetsmonitor-2020/>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- AGEB (2020a): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland Daten für die Jahre von 1990 bis 2019. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB). Online verfügbar unter <https://www.ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- AGEB (2020b): Energieverbrauch sinkt auf historisches Tief. Deutliche Auswirkungen der Corona-Pandemie / Anteil fossiler Energien sinkt. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (Pressedienst, 07/2020). Online verfügbar unter https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=22&archiv=18&year=2020, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- AGEB (2020c): Primärenergieverbrauch. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB). Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/6-0-Primaerenergieverbrauch.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- AGEB (2021): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020. Energieverbrauch sinkt in Deutschland im Jahr 2020 in Folge der Covid-19-Pandemie auf historisches Tief. Unter Mitarbeit von H. G. Buttermann. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) e.V. Berlin. Online verfügbar unter https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2020_20210406b_dt.pdf, zuletzt geprüft am 09.04.2021.
- AGEE-Stat (2021): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Hg. v. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Online verfügbar unter https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Agora & Ecologic (2021): A "Fit for 55" Package Based on Environmental Integrity and Solidarity: Designing an EU Climate Policy Architecture for ETS and Effort Sharing to Deliver 55% Lower GHG Emissions by 2030. Hg. v. Agora Energiewende and Ecologic Institute. Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/a-fit-for-55-package-based-on-environmental-integrity-and-solidarity/>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Allekotte, M.; Biemann, K.; Heidt, C.; Colson, M.; Knörr, W. (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990- 2018). Berichtsteil „TREMOD“. Hg. v. Umweltbundesamt. ifeu-Institut. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremod-2019>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Ang, B. W. (2005): The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. In: *Energy Policy* 33 (7), S. 867–871. DOI: 10.1016/j.enpol.2003.10.010.
- BAFA (2021): Amtliche Mineralöl Daten für die Bundesrepublik Deutschland. Monat: Dezember 2020. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_amtliche_daten_2020_12.xlsx?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

- bdew (2020a): Die Energieversorgung 2020. Hg. v. Bundesverband für Energie und Wasserwirtschaft (BDEW) (Jahresbericht). Online verfügbar unter <https://www.bdew.de/energie/die-energieversorgung-2020-neuer-jahresbericht/>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- bdew (2020b): Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland. Basisdaten und Einflussfaktoren - 4. aktualisierte Ausgabe. Foliensatz zur BDEW. Hg. v. Bundesverband für Energie und Wasserwirtschaft (BDEW). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/20200525_Waermeverbrauchsanalyse_Foliensatz_2020_daQSUCb.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- BMWi (2020): Jahreswirtschaftsbericht 2020. Wachstum, Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität stärken - in Deutschland und Europa. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Wirtschaft/Projektionen-der-Bundesregierung/projektionen-der-bundesregierung-jahresprojektion-2020.html>, zuletzt geprüft am 23.03.2021.
- BMWi; BMF (2020): Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten. Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung. Stand: Herbstprojektion der Bundesregierung vom 30. Oktober 2020. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Bundesministerium der Finanzen (BMF). Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesamtwirtschaftliches-produktionspotenzial-herbst-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Brinktrine, R.; Ludwigs, M.; Seidel, W. (2014): Energieumweltrecht in Zeiten von Europäisierung und Energiewende. Berlin: Duncker & Humblot (Schriften zum deutschen und europäischen Infrastrukturrecht, Bd. 2).
- Bundesbank (2020): Perspektiven der deutschen Wirtschaft für die Jahre 2021 bis 2023. Hg. v. Deutsche Bundesbank. Online verfügbar unter <https://www.bundesbank.de/de/publikationen/suche/perspektiven-der-deutschen-wirtschaft-fuer-die-jahre-2021-bis-2023-853746>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Burger, A.; Gibis, C.; Knoche, G.; Lünenbürger, B.; Weiß, J. (2020): Raising the EU 2030 GHG Emission Reduction Target. Implications for ETS and non ETS sectoral targets. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/w_p_04_paper_raising_the_eu_2030_ghg_emission_reduction_target_with_german-language_summary_rev.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Capgemini (2021): Shifting gears: COVID-19 and the fast-changing automotive consumer. Automotive Consumer Tracker Survey. Hg. v. Capgemini Research Institute. Online verfügbar unter <https://www.capgemini.com/research/full-throttle/>, zuletzt geprüft am 01.02.2021.
- Creutzig, F.; Lohrey, S.; Emele, L.; Le Quéré, C.; Jones, M. (2020): COVID-19 und CO₂-Emissionen in Deutschland: Eine Analyse basierend auf den Schätzungen des Global Carbon Projects. Hg. v. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/covid_19_co2_deutschland_bf.pdf, zuletzt geprüft am 01.02.2021.

- Creutzig, F.; Lohrey, S.; Koch, N.; Kraus, S. (2021): Emissionen im Verkehrssektor in Deutschland in 2020 – Effekt von Covid-19. Hg. v. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change. Online verfügbar unter https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2021_Verkehrsemissionen_Effekt_von_COVID.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- DeCola, P.; WMO Secretariat (2017): An Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG3IS). Bulletin, Vol 66 (1) - 2017. Hg. v. World Meteorological Organization (WMO). Online verfügbar unter <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/integrated-global-greenhouse-gas-information-system-ig3is>, zuletzt geprüft am 18.03.2021.
- DEHSt (2019): Leitfaden Zuteilung 2021-2030. Glossar und Abkürzungen. Hg. v. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt). Online verfügbar unter https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere_anlagen/2021-2030/Zuteilung-2030-Glossar-Abkuerzungen.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- 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 (BSH).
- Demmelhuber, K.; Englmaier, F.; Leiss, F.; Möhrle, S.; Peichl, A.; Schröter, T.; others (2020): Homeoffice vor und nach Corona: Auswirkungen und Geschlechterbetroffenheit. In: *ifo Schnelldienst Digital* 1 (14).
- Destatis (2018): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Strukturdaten zur Wasserwirtschaft. 2016. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/wasserwirtschaft-2190213169005.xlsx;jsessionid=FF50F4C24CADA03595121E45A009CEB4.live742?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2019a): Fachserie 19, Reihe 1, 2017. Umwelt, Abfallentsorgung. 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, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Destatis (2019b): Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 2019 (GP 2019). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-gp-19.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2020a): 46 % weniger Fahrgäste im Fernverkehr mit Bussen und Bahnen im 1. Halbjahr 2020. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Pressemitteilung, 424). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/10/PD20_424_461.html, zuletzt geprüft am 12.02.2021.
- Destatis (2020b): Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht 2020. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit-2020.html>, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

- Destatis (2020c): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Publikationen/Downloads-Bevoelkerungsstand/bevoelkerungsfortschreibung-2010130187004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2020d): Bevölkerungszahl im 1. Halbjahr 2020 leicht zurückgegangen. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Pressemitteilung, 404). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/10/PD20_404_12411.html, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2020e): 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-2030410205324.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2020f): 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/Publikationen/Downloads-Feldfruechte/feldfruechte-august-september-2030321202094.pdf;jsessionid=2A19FA51E7BBA94E2A11111CD097ED52.live741?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 13.04.2021.
- Destatis (2020g): Fachserie 4 Reihe 8.2 Produzierendes Gewerbe. Düngemittelversorgung. Wirtschaftsjahr 2019/2020. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Fachstatistiken/duengemittelversorgung-jahr-2040820207004.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2020h): Täglicher LKW-Maut-Fahrleistungsindex aus digitalen Prozessdaten der LKW-Mauterhebung. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) (WISTA, 4). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2020/04/lkw-maut-fahrleistungsindex-042020.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2021a): 43321-0001: Gewinnung, Netzeinspeisung, Eigenverbrauch, Speicherstand von Gas: Deutschland, Monate. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=43321-0001#astructure>, zuletzt geprüft am 12.04.2021.
- Destatis (2021b): 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>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2021c): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Reihe 1.1. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-18.html, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

- Destatis (2021d): Fleischerzeugung 2020 um 1,6 % gegenüber dem Vorjahr gesunken. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Pressemitteilung, 052 vom 5. Februar). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_052_413.html#, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Destatis (2021e): Statistisches Bundesamt. Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht 2020. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit-2020.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Destatis (2021f): 74,5 % weniger Fluggäste im Jahr 2020. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Pressemitteilung, 048). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_048_464.html, zuletzt aktualisiert am 02.02.2021, zuletzt geprüft am 12.02.2021.
- Destatis (2021g): Wirtschaftliche Auswirkungen – Statistiken mit Bezug zu Covid-19 -Branchenmonitor. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Corona/Wirtschaft/kontextinformationen-wirtschaft.html#branchenmonitor>, zuletzt aktualisiert am 02.02.2021, zuletzt geprüft am 12.02.2021.
- Deutscher Bundestag (2019): Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und SPD - Entwurf eines Gesetzes zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften. Drucksache 19/14337, vom 22.10.2019. Online verfügbar unter <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/143/1914337.pdf>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Dickey, D. A.; Fuller, W. A. (1979): Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. In: *Journal of the American Statistical Association* 74 (366a), S. 427–431. DOI: 10.1080/01621459.1979.10482531.
- DIHK (2020): AHK World Business Outlook Sonderumfrage zu den COVID-19 Auswirkungen. Hg. v. Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK). Online verfügbar unter <https://www.dihk.de/resource/blob/25672/1a0e7354855aa46f3fccceb34f9eff30/ahk-world-business-outlook-2020-corona-sonderbefragung-data.pdf>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- DWD (2019): Integriertes Treibhausgas-Monitoringsystem (ITMS). Hg. v. Deutscher Wetter Dienst (DWD). Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/treibhausgase/treibhausgase_node.html, zuletzt aktualisiert am 2019, zuletzt geprüft am 18.03.2021.
- Edenhofer, O.; Kosch, M.; Pahle, M.; Zachmann, G. (2021): A whole-economy carbon price for Europe and how to get there. In: *Policy Contribution* Issue n° 06/21. Online verfügbar unter <https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2021/03/PC-06-2021-090321.pdf>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- EEA (2020): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. Hg. v. European Environment Agency (EEA). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- EEA (2021): EEA greenhouse gas - data viewer. Hg. v. European Environment Agency (EEA). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/data-and-maps/data-data-viewers/greenhouse-gases-viewer>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.

- EU (2013a): Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. Hg. v. European Parliament and Council of the European Union. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32003L0087>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- EU (2013b): Verordnung Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2013 über ein System für die Überwachung von Treibhausgasemissionen sowie für die Berichterstattung über diese Emissionen und über andere klimaschutzrelevante Informationen auf Ebene der Mitgliedstaaten und der Union und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 280/2004/EG Text von Bedeutung für den EWR. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32013R0525>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- EU (2020a): Commission Implementing Decision (EU) 2020/2126 of 16 December 2020 on setting out the annual emission allocations of the Member States for the period from 2021 to 2030 pursuant to Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council. updated in 2020. Hg. v. European Parliament and Council of the European Union. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2020/2126/oj, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- EU (2020b): Communication from the commission to the European Parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. COM/2020/562 final. Hg. v. European Commission. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0562>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- EU (2020c): European Council meeting (10 and 11 December 2020) – Conclusions. Hg. v. European Council. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/media/47296/1011-12-20-euco-conclusions-en.pdf>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- EU (2020d): Commission staff working document - Impact assessment Accompanying the document - Stepping up Europe's 2030 climate ambition - Investing in a climate - neutral future for the benefit of our people. Hg. v. European Commission. SWD/2020/176/final. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020SC0176>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Eurostat (2021a): Population projections. Hg. v. Eurostat. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00002/default/table?lang=en>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Eurostat (2021b): Real GDP per capita. Hg. v. Eurostat. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_08_10/default/table, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Fezzigna, P.; Borghesi, S.; Caro, D. (2019): Revising Emission Responsibilities through Consumption-Based Accounting: A European and Post-Brexit Perspective. In: *Sustainability* 11 (2), S. 488. DOI: 10.3390/su11020488.
- 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. Hg. v. Umweltbundesamt. Öko-Institut; ifeu-Institut. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/komponentenerlegung-energiebedingter>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.

- Gosten, A.; Henkel, I. (2020): Auswirkungen der Corona-Krise auf die Abfallwirtschaft in Deutschland. Die DGAW wagt eine Prognose zur Mengenentwicklung der Abfallströme UPDATE Mai 2020. In: *Müll und Abfall - Fachzeitschrift für Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft* (07/2020). DOI: 10.37307/j.1863-9763.2020.07.04.
- Graichen, J.; Scheuer, S.; Thomas, S. (2021): Strengthening synergies between climate effort sharing & energy savings obligations. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Synergies-between-ESR-EED.pdf>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Haberl, H.; Wiedenhofer, D.; Virág, D.; Kalt, G.; Plank, B.; Brockway, P. et al. (2020): A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. In: *Environ. Res. Lett.* 15 (6), S. 65003. DOI: 10.1088/1748-9326/ab842a.
- Halbrügge, S.; Schott, P.; Weibelzahl, M.; Buhl, H. U.; Fridgen, G.; Schöpf, M. (2021): How did the German and other European electricity systems react to the COVID-19 pandemic? In: *Applied Energy* 285, S. 116370. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.116370.
- IEA (2020): Decomposition of IEA member countries energy use, 2009-2018. Hg. v. International Energy Agency (IEA). Paris. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/decomposition-of-iea-member-countries-energy-use-2009-2018>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Digitalisierte Bände unter: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>. Hg. v. H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara und K. Tanabe. IPCC. Japan.
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hg. v. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC. Geneva, Switzerland. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- IPCC (2019): Chapter 6: Quality Assurance / Quality Control and Verification. Unter Mitarbeit von Shamil Maksyutov, Simon Eggleston, Jung Hun Woo, Shuangxi Fang, Jongikhaya Witi, Michael Gillenwater et al. International Panel of Climate Change (IPCC) (2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1: General Guidance and Reporting). Online verfügbar unter <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol1.html>, zuletzt geprüft am 18.03.2021.
- Jakob, M.; Ward, H.; Steckel, J. C. (2021): Sharing responsibility for trade-related emissions based on economic benefits. In: *Global Environmental Change* 66, S. 102207. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102207.
- Kander, A.; Jiborn, M.; Moran, D. D.; Wiedmann, T. O. (2015): National greenhouse-gas accounting for effective climate policy on international trade. In: *Nat. Clim. Chang.* 5 (5), S. 431–435. DOI: 10.1038/nclimate2555.
- Karstensen, J.; Peters, G. P.; Andrew, R. M. (2018): Trends of the EU's territorial and consumption-based emissions from 1990 to 2016. In: *Climatic Change* 151 (2), S. 131–142. DOI: 10.1007/s10584-018-2296-x.

- KBA (2021): Fahrzeugzulassungen im Dezember 2020 - Jahresbilanz. Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (Pressemitteilung, 02/2021). Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/Fahrzeugzulassungen/pm02_2021_n_12_20_pm_komplett.html, zuletzt geprüft am 15.02.2021.
- Kendall, M. G. (1954): Note on bias in the estimation of autocorrelation. In: *Biometrika* (41), S. 403–404. DOI: 10.1093/biomet/41.3-4.403.
- Kiesel, F. (2020): Entwicklungen in der deutschen Gaswirtschaft – das Jahr 2020. Webkonferenz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen am 16. Dezember 2020. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/28-0-Zusatzinformationen.html>.
- Knodt, M.; Pahle, M.; aus dem Moore, N.; Edenhofer, O.; Fahl, U.; Görlach, B. et al. (2020): Wegmarken für das EU-Klimaziel 2030. Versteckte Risiken und Chancen der Szenarien der EU-Kommission für den Pfad zur Klimaneutralität. Online verfügbar unter https://ariadneprojekt.de/media/2020/12/2020_Dezember_Ariadne-Kurzdosier_EU2030-1.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Kohlenstatistik e.V. (2019): Statistik der Kohlewirtschaft. Braunkohle. Hg. v. Kohlenstatistik e.V. Online verfügbar unter <https://kohlenstatistik.de/downloads/braunkohle/>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- KSG (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513).
- Kwiatkowski, D.; Phillips, P. C.; Schmidt, P.; Shin, Y. (1992): Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. In: *Journal of Econometrics* 54 (1-3), S. 159–178. DOI: 10.1016/0304-4076(92)90104-Y.
- Lerch, C.; Jäger, A.; Heimberger, H. (2020): Produktion in Zeiten der Corona-Krise : Welche Auswirkungen hat die Pandemie heute und zukünftig auf die Industrie? Bericht. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung -ISI- (Karlsruhe). Karlsruhe (Mitteilungen aus der ISI-Erhebung zur Modernisierung der Produktion). Online verfügbar unter <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2020/Auswirkungen-Corona-Krise-auf-Industrie.html>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Löschel, A.; Grimm, V.; Lenz, B.; Staiß, F. (2021): Stellungnahme zum achten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für die Berichtsjahre 2018 und 2019. In: *Expertenkommission „Energie der Zukunft“*.
- Mastrandrea, M. D.; Field, C. B.; Stocker, T. F.; Edenhofer, O.; Ebi, K.; Frame, D. J. et al. (2010): Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/08/AR5_Uncertainty_Guidance_Note.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2021.
- Perino, G. (2018): New EU ETS Phase 4 rules temporarily puncture waterbed. In: *Nat. Clim. Chang.* 8 (4), S. 262–264. DOI: 10.1038/s41558-018-0120-2.
- Phillips, P. C. B.; Yu, J. (2005): Jackknifing Bond Option Prices. In: *Rev. Financ. Stud.* 18 (2), S. 707–742. DOI: 10.1093/rfs/hhi018.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Hg. v. Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. Online verfügbar unter https://static.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2020/KNDE2050/A-EW_195_KNDE_Langfassung_DE_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 10.04.2021.

- Rentz, O.; Karl, U.; Peter, H. (2002): Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010. Karlsruhe.
- RKI & HU (2021): Covid-19 Mobility Project. Hg. v. Robert Koch-Institut (RKI) und Humboldt-Universität zu Berlin (HU). Online verfügbar unter <https://www.covid-19-mobility.org/de/>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Rösemann, C.; Haenel, H-D.; Vos, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S. et al. (2021): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2019: Report on methods and data (RMD) Submission 2021. Online verfügbar unter https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00068045, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Schelewsky, M.; Follmer, R.; Dickmann, C. (2020): CO₂-Fußabdrücke im Alltagsverkehr. Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in Deutschland. 224/2020. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_03_text_e_224-2020_co2-fussabdrucke_alltagsverkehr_0.pdf, zuletzt geprüft am 09.02.2021.
- Schönebeck, S.; Schepers, A.; Pöppel-Decker, M.; Färber, N.; Fitschen, A. (2020): Voraussichtliche Entwicklung von Unfallzahlen und Jahresfahrleistungen in Deutschland. Ergebnisse 2020. Hg. v. Bundesamt für Straßenwesen (BAST). Online verfügbar unter https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Presse/Downloads/2020-17-Unfallprognose.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Schulte, S.; Arnold, F.; Gruber, K. (2021): Der Strompreis in Zeiten von Covid-19. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH. Online verfügbar unter <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/news/ewi-merit-order-tool-2021/>, zuletzt geprüft am 15.02.2021.
- Steckel, J. C.; Jakob, M.; Marschinski, R.; Luderer, G. (2011): From carbonization to decarbonization?—Past trends and future scenarios for China's CO₂ emissions. In: *Energy Policy* 39 (6), S. 3443–3455. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.03.042.
- UBA (2012): Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Energieeinsätze und Emissionen des zivilen Flugverkehrs – TREMOD AV. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (Texte, 48/2012). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-modells-zur-berechnung>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- UBA (2013): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2011. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (Climate Change, 08/2013). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/berichterstattung-unter-klimarahmenkonvention-2>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- UBA (2016a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2015. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2013. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (Climate Change, 02/2016). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-0>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

- UBA (2016b): Datenquellen und Methodik der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stromerzeugung und installierte Leistung. Unter Mitarbeit von M. Walker, P. Bickel, F. Musiol, T. Nieder, S. Schneider, L. Schrepf und M. Memmer. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (DOKUMENTATIONEN 09/2016). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-11-15_dokumentation_agee-stat-zr_stromerzeugung_leistung_final.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- UBA (2020a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2018. Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-15-climate-change_22-2020_nir_2020_de.pdf.
- UBA (2020b): Emissionen der Anlagen in Deutschland nach Branchen (EU-ETS-Abgrenzung). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/5_tab_emi-anlagen-nach-branchen_2020-11-16.xlsx, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- UBA (2020c): Tab: Emissionen der Anlagen in Deutschland nach Branchen (EU-ETS-Abgrenzung). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/bild/tab-emissionen-der-anlagen-in-deutschland-nach>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- UBA (2021a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2019. unveröffentlicht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (Climate Change).
- UBA (2021b): Gemeinsame Pressemitteilung von Umweltbundesamt und Bundesumweltministerium Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent - Positiver Trend der Vorjahre setzt sich fort / 40,8 Prozent Rückgang seit 1990. Pressemitteilung. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent>, zuletzt geprüft am 06.04.2021.
- UBA (2021c): Vorjahreschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2020 - 15.03.2021. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/2021_03_10_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx, zuletzt geprüft am 06.04.2020.
- UBA (2021d): Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen 2020. Begleitender Bericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). unveröffentlicht.
- UBA (2021e): Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen, allgemeiner Methodenband. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). unveröffentlicht.
- UBA (2021f): Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen Deutschlands 2020. Methodenband zur Veröffentlichung der Emissionsdaten. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/2021_03_10_vjs_2020_kurzdoku_uba.pdf, zuletzt geprüft am 06.03.2021.
- UfU (2021): Stellungnahme zum Thema „erhöhter Heizenergieverbrauch an Schulen durch verstärkte Fenster-Lüftung“. Hg. v. Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU). Online verfügbar unter

<https://www.ufu.de/wp-content/uploads/2021/02/20210203-Stellungnahme-zum-Thema-erh%C3%B6hter-Heizenergieverbrauch.pdf>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

- 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.
- VDA (2021): Anzahl der exportierten Personenkraftwagen aus Deutschland von Januar 2010 bis Januar 2021 [Graph]. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/158068/umfrage/export-von-pkw-monatszahlen/>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2021, zuletzt geprüft am 15.02.2021.
- Verband der chemischen Industrie (2020): Presseinformation 16. Dezember 2020 Konjunktur-Indikatoren zur chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland. Kennzahlen für das Jahr 2020. Verband der chemischen Industrie e.V. Frankfurt. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kennzahlen-2020-prognose-2021-vci.pdf>, zuletzt aktualisiert am 2020, zuletzt geprüft am 08.04.2021.
- Wirtschaftsvereinigung Metalle (2020): Quartalsberichte 2020. Hg. v. Wirtschaftsvereinigung Metalle. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.wvmetalle.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=223026&token=80745779ff4f73e34d8c82a860efbc74bc996ee1>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2021): Rohstahlproduktion in Deutschland: Februar 2021. Hg. v. Wirtschaftsvereinigung Stahl. Online verfügbar unter <https://www.stahl-online.de/index.php/medieninformation/rohstahlproduktion-in-deutschland-februar-2021/>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- World Bank (2020): Commodity Markets Outlook. Hg. v. The World Bank. Online verfügbar unter <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.
- WZB (2020): Die Vermessung der Mobilität in der Pandemie: Gedämpfte Hoffnung auf die Verkehrswende. Mobilitätsreport 03, Ergebnisse aus Beobachtungen per repräsentativer Befragung und ergänzendem Mobilitätstracking bis Ende Oktober. Ausgabe 15.12.2020. Unter Mitarbeit von Franziska Zehl und Patrick Weber. Hg. v. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB). Online verfügbar unter https://www.infas.de/fileadmin/pdf-geschuetzt/infas_Mobilit%C3%A4tsreport_WZB_7331_20201217.pdf, zuletzt geprüft am 01.02.2021.

