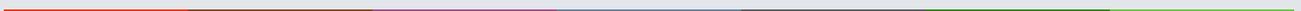


Zweijahresgutachten 2024

Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz)



5. Februar 2025

Zweijahresgutachten 2024

Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz)



Impressum

Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15, 10117 Berlin

Tel.: +49 30 8903 5575

info@expertenrat-klima.de

www.expertenrat-klima.de

Erschienen am 05.02.2025 | Version vom 13.02.2025* | Redaktionsschluss Daten am 15.01.2025

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

* Aufgrund einer Korrektur von Tabelle 20 kam es zu Anpassungen in der Zusammenfassung sowie in RZ 174 und RZ 178. Darüber hinaus kam es zu redaktionellen Änderungen.

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

Zitierweise für diese Publikation: Expertenrat für Klimafragen (2025): Zweijahresgutachten 2024. Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz). Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de>.

© Expertenrat für Klimafragen

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

Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

Die Ratsmitglieder bedanken sich für die sachkundige und engagierte Unterstützung durch die Mitarbeitenden des wissenschaftlichen Stabs und der Geschäftsstelle.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär) • Dr. Jan Stede (Projektleitung) • Jessica Berneiser • Robin Blömer • Iska Brunzema • Nicolai Hans • Dr. Alexander Hurley • Theresa Iglauer • Jakob Junkermann • Dr. Katrin Kohnert • Leon Langerhans • Fabian Liesenhoff • Bruno Nemeč • Hannah Nolte • Dr. Swaroop Rao • Dr. Niklas Reinfandt • Julian Schaper • Dr. Aline Scherrer • Simon Schnier • Dr. Franziska Schulz • Dr. Charlotte Senkpiel • Dr. Annette Steingrube • Pia Willers • Marie-Louise Zeller

Geschäftsstelle

Lea Eisemann • Cynthia Schmitt

Im Laufe der Erarbeitung dieses Gutachtens hat der Expertenrat für Klimafragen und der wissenschaftliche Stab zudem mit vielen Wissenschaftler*innen sowie Mitarbeitenden unterschiedlicher Institutionen zusammengearbeitet:

Mitarbeitende des Umweltbundesamtes sowie Svenja Carstensen (KBA), Dr. Markus Fritz (Fraunhofer ISI), Sabine Gores (Öko-Institut e.V.), Simone Jost (BuVEG), Benjamin Köhler (Öko-Institut e.V.), Dominik Kolbeck (Praktikum ERK), Martin Lange (EWI), Arne Lilienkamp (EWI), Simon Müller (Agora Energiewende), Nils Namockel (EWI), Lea Nesselhauf (Agora Energiewende), Lisa Neusel (Fraunhofer ISI), Marius Neuwirth (Fraunhofer ISI), Ben Rhodes (International Climate Council Network (ICCN) Secretariat), Franka Sunder (Fraunhofer ISE), Stephan Terhost (EWI) und Niels Wauer (Agora Energiewende).

Der Expertenrat für Klimafragen dankt für die wertvolle Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	14
1 Auftrag und Herangehensweise.....	25
Teil I: Bisherige Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends bezüglich der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf die Zielerreichung	27
2 Bisherige Entwicklungen und Trends bezüglich der Jahresemissionsmengen	27
2.1 Sektorenübergreifende Betrachtung	31
2.2 Energiewirtschaft.....	41
2.3 Industrie	50
2.4 Gebäude.....	55
2.5 Verkehr	62
2.6 Landwirtschaft	75
2.7 Abfallwirtschaft und Sonstiges.....	78
2.8 LULUCF.....	81
2.9 Zusammenfassung: Entwicklung von Aktivitäten, Aufbau und Rückbau von Kapitalstock in den KSG-Sektoren seit dem Jahr 2021	86
3 Betrachtungen zur Wirksamkeit klimaschutzpolitischer Maßnahmen.....	89
3.1 Entwicklung der klimapolitischen Maßnahmen seit dem Jahr 2022	90
3.2 Wirkung des derzeitigen Instrumentenmix der Klimapolitik.....	95
3.2.1 Treibhausgasminderung und Auswirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen	95
3.2.2 Bewertung ausgewählter Maßnahmen.....	99
3.3 Zusammenfassende Einordnung zur Wirksamkeit von Maßnahmen	132
3.4 Exkurs: Maßnahmenbeispiele zur Adressierung sozialer Verteilungswirkungen	135
Teil II: Weiterführende Betrachtungen.....	139
4 Investitionen zum Aufbau eines klimaneutralen Kapitalstocks.....	139
4.1 Methodische Einordnung zur Projektion von Investitionsvolumina	140
4.2 Projizierte Investitionsvolumina.....	144
4.3 Rolle der öffentlichen Haushalte bei den Transformationsinvestitionen	148
4.4 Zusammenfassende Einordnung der projizierten Investitionsvolumina.....	151
5 Klimaschutzpolitik umfassend einbetten	153
5.1 Ausgangslage und neue Rahmenbedingungen	153

5.2	Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern	155
5.3	Anforderungen an die künftige Klimaschutzpolitik	163
5.4	Integrative Governance	173
6	Anhang	176
A.1	Dekompositionsanalyse	176
A.1.1	Methodik	176
A.1.2	Sektorenübergreifende Betrachtung	177
A.1.3	Energiewirtschaft.....	178
A.1.4	Industrie	181
A.1.5	Gebäude.....	186
A.1.6	Verkehr	191
A.1.7	Landwirtschaft	196
A.2	Sektorengrafiken.....	201
A.2.1	Sektorenübergreifende Betrachtung	201
A.2.2	Energiewirtschaft.....	205
A.2.3	Industrie	209
A.2.4	Verkehr	212
A.3	Indikatoren	213
A.3.1	Sektorenübergreifende Betrachtung	214
A.3.2	Energiewirtschaft.....	216
A.3.3	Industrie	226
A.3.4	Gebäude.....	231
A.3.5	Verkehr	235
A.3.6	Landwirtschaft	241
A.4	Instrumente und Handlungsfelder	244
A.5	Definition von Instrumententypen.....	249
A.6	Weitere Erläuterungen zur Literaturübersicht der projizierten Investitionsvolumina	250
A.6.1	Methodisches Vorgehen bei der strukturierten Literaturanalyse	250
A.6.2	Überblick über die methodischen Herangehensweisen und zentralen Ergebnisse der betrachteten Studien	251
7	Literaturverzeichnis.....	258

Abbildungen

Abbildung Z 1:	Sektorenübergreifende THG-Emissionen – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	15
Abbildung Z 2:	Überblick über Wirkungen Klimaschutzpolitischer Maßnahmen	18
Abbildung Z 3:	Jährliche projizierte Investitionsvolumina bis zum Jahr 2030 nach Investitionsaggregat und Sektoren (in EUR ₂₀₂₃), basierend auf Daten unterschiedlicher Modelle und Annahmen	21
Abbildung Z 4:	Umsetzung zukünftiger Klimaschutzpolitik mit umfassender Einbettung in eine politische Gesamtstrategie (unter beispielhafter Verwendung der Dimensionen aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“)	24
Abbildung 1:	Handlungsfelder und -optionen zur Treibhausgasminderung mit Blick auf Aktivitäten, fossilen/emissionsintensiven Kapitalstock, nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstock, sowie CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoffmanagement	31
Abbildung 2:	Sektorenübergreifende THG-Emissionen – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	33
Abbildung 3:	THG-Emissionen der KSG-Sektoren (ohne LULUCF) für die Jahre 2021, 2022 und 2023	34
Abbildung 4:	Dekomposition der sektorenübergreifenden THG-Emissionen ohne LULUCF – Jährliche Veränderung seit dem Jahr 2020	36
Abbildung 5:	Ex-post und ex-ante Dekomposition der sektorenübergreifenden THG-Emissionen unter der Annahme einer exponentiellen Trendfortschreibung – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000	38
Abbildung 6:	Endenergieproduktivität, Elektrifizierungsgrad und Bruttowertschöpfung der Industriebranchen und von GHD im Jahr 2022	40
Abbildung 7:	THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	43
Abbildung 8:	Veränderung der CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung nach Energieträgern in den Jahren 2022 bis 2024	46
Abbildung 9:	Elektrische Netto-Nennleistung fossiler und nuklearer Kraftwerke und Reserven in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2024	47
Abbildung 10:	THG-Emissionen im Sektor Industrie – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	51
Abbildung 11:	Entwicklung der ETS- und Nicht-ETS-Emissionen (Basisjahr 2013) im Industriesektor sowie zugehörige EU-ETS 1 Zertifikatspreise zwischen den Jahren 2013 und 2023	52
Abbildung 12:	THG-Emissionen im Sektor Gebäude – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	56
Abbildung 13:	Verbraucherpreise im Zeitraum von 2019 bis 2024 für Strom, Heizöl, Erdgas und Fernwärme mit Preisbasis 2020 = 100	59
Abbildung 14:	Eingesetzte Energieträger zur Deckung des Endenergiebedarfs in Wohngebäuden	61
Abbildung 15:	THG-Emissionen im Sektor Verkehr – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	64

Abbildung 16:	Entwicklung des motorisierten Personenverkehrs nach Verkehrsträger.....	66
Abbildung 17:	Prozentualer Anteil der BEV an den Neuzulassungen nach privater und gewerblicher Zulassung unterteilt nach Quartalen.....	67
Abbildung 18:	Projizierter Pkw-Bestand im Jahr 2030 nach Szenario	70
Abbildung 19:	Vergleich der durchschnittlichen Leermasse und Motorleistung nach Antriebsart neu zugelassener Pkw.....	71
Abbildung 20:	Entwicklung des motorisierten Güterverkehrs nach Verkehrsträgern.....	73
Abbildung 21:	THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	76
Abbildung 22:	THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung	80
Abbildung 23:	THG-Emissionen im Sektor LULUCF – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung.....	82
Abbildung 24:	Entwicklung der historischen THG-Emissionen nach Kohlenstoff-Pools	84
Abbildung 25:	Neue sowie in bedeutendem Umfang novellierte Klimaschutzpolitische Strategien und Programme in Deutschland und auf EU-Ebene im Zeitraum von 2022 bis 2024.	90
Abbildung 26:	Neu eingeführte sowie in bedeutendem Umfang novellierte Klimaschutzpolitische Maßnahmen in Deutschland und auf EU-Ebene im Zeitraum von 2022 bis 2024.....	91
Abbildung 27:	Überblick über Wirkungen Klimaschutzpolitischer Maßnahmen.....	96
Abbildung 28:	Qualitativer Überblick über die Investitionsaggregate	141
Abbildung 29:	Jährliche projizierte Investitionsvolumina bis zum Jahr 2030 nach Investitionsaggregat und Sektoren (in EUR ₂₀₂₃), basierend auf Daten unterschiedlicher Modelle und Annahmen.....	146
Abbildung 30:	Jährliche projizierte Finanzierungsvolumina der öffentlichen Hand bis 2030 (in EUR ₂₀₂₃), basierend auf Daten unterschiedlicher Modelle und Annahmen	150
Abbildung 31:	Exemplarische Darstellung eines Multi-Zielsystems und Visualisierung im Hinblick auf Zielerreichung (unter beispielhafter Verwendung der Dimensionen aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“).....	164
Abbildung 32:	Umsetzung zukünftiger Klimaschutzpolitik mit umfassender Einbettung in eine politische Gesamtstrategie (unter beispielhafter Verwendung der Dimensionen aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“)	166
Abbildung 33:	Wichtige Politikfelder mit starker Wechselwirkung zur Klimaschutzpolitik.....	167
Abbildung A 1:	Dekomposition der THG-Emissionen der Energiewirtschaft – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000	179
Abbildung A 2:	Dekomposition der THG-Emissionen der Energiewirtschaft – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	180

Abbildung A 3: Dekomposition der THG-Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in der Industrie – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	182
Abbildung A 4: Dekomposition der THG-Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in der Industrie – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	183
Abbildung A 5: Dekomposition der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen in der Industrie – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	184
Abbildung A 6: Dekomposition der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen in der Industrie – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	185
Abbildung A 7: Dekomposition der THG-Emissionen im Gebäudesektor, Haushalte – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	187
Abbildung A 8: Dekomposition der THG-Emissionen des Gebäudesektors, Haushalte – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	188
Abbildung A 9: Dekomposition der THG-Emissionen im Gebäudesektor, GHD (1.A.4.a i stationäre Feuerung) – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	189
Abbildung A 10: Dekomposition der THG-Emissionen des Gebäudesektors, GHD (1.A.4.a i stationäre Feuerung) – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	190
Abbildung A 11: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßengüterverkehr – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	192
Abbildung A 12: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßengüterverkehr – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	193
Abbildung A 13: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßenpersonenverkehr – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	194
Abbildung A 14: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßenpersonenverkehr – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	195
Abbildung A 15: Dekomposition der THG-Emissionen von landwirtschaftlich genutzten Flächen – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	197
Abbildung A 16: Dekomposition der THG-Emissionen von landwirtschaftlich genutzten Flächen – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	198
Abbildung A 17: Dekomposition der THG-Emissionen der Nutztierhaltung in der Landwirtschaft – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000.....	199
Abbildung A 18: Dekomposition der THG-Emissionen der Nutztierhaltung in der Landwirtschaft – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023	200
Abbildung A 19: Entwicklung der deutschen THG-Emissionen im Zeitraum von 2000 bis 2023, aufgeschlüsselt in die verschiedenen Treibhausgase	201
Abbildung A 20: Prozentuale Veränderung der erfassten Treibhausgase.....	202
Abbildung A 21: Pro-Kopf-THG-Emissionen im Zeitraum von 2000 bis 2023 und die Zunahme der Weltbevölkerung.....	203

Abbildung A 22: CO ₂ -Emissionen in Deutschland – Produktions- und konsumbasiert	204
Abbildung A 23: Entwicklung der ETS- und Nicht-ETS-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft sowie zugehörige Zertifikatspreise im Zeitraum von 2013 bis 2023	205
Abbildung A 24: Entwicklung der Großhandelspreise für Strom im Zeitraum von 2021 bis 2024	206
Abbildung A 25: Jährliche Außenhandelsstatistik für den elektrischen Stromaustausch in Deutschland	207
Abbildung A 26: Einsatz von Energieträgern zur Fernwärmeerzeugung	208
Abbildung A 27: Produktionsindizes des produzierenden Gewerbes sowie der energieintensiven Industrie im Zeitraum von 2019 bis November 2024	209
Abbildung A 28: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern für die Jahre 2000 bis 2024 im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	214
Abbildung A 29: Endenergieverbrauch nach Energieträgern für die Jahre 2000 bis 2023 im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	215
Abbildung A 30: Entwicklung der installierten Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	216
Abbildung A 31: Entwicklung der installierten Leistung von Erdgaskraftwerken im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien für Gas- und Wasserstoffkraftwerke	217
Abbildung A 32: Entwicklung des Verhältnisses der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern zum Brutto-Stromverbrauch im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	218
Abbildung A 33: Entwicklung der installierten Leistung von Photovoltaik im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	219
Abbildung A 34: Entwicklung der installierten Leistung von Wind an Land im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	220
Abbildung A 35: Entwicklung der jährlich genehmigten Windenergieleistung an Land im Vergleich zur politischen Zielsetzung (Ausschreibungsmengen)	221
Abbildung A 36: Entwicklung der installierten Leistung von Wind auf See im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	222
Abbildung A 37: Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energieträger an der Fernwärmeerzeugung im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	223
Abbildung A 38: Entwicklung der Leistungsaufnahme der installierten Elektrolyseure im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	224
Abbildung A 39: Entwicklung der THG-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	225
Abbildung A 40: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aus fossilen Energieträgern im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	226

Abbildung A 41: Entwicklung des Anteils fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien.....	227
Abbildung A 42: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aus Strom im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien.....	228
Abbildung A 43: Entwicklung des Anteils Strom am Endenergieverbrauch im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	229
Abbildung A 44: Entwicklung der Projektpipeline für Stahlproduktion über Wasserstoff-Direktreduktion im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien.....	230
Abbildung A 45: Entwicklung des Anteils fossiler Heizungssysteme am Bestand der Heizungssysteme im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	231
Abbildung A 46: Entwicklung des Bestands an Wärmepumpen im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	232
Abbildung A 47: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien.....	233
Abbildung A 48: Entwicklung der temperaturbereinigten Emissionsintensität pro qm Wohnfläche in Wohngebäuden	234
Abbildung A 49: Entwicklung des Bestands an Pkw mit fossilem Antrieb im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	235
Abbildung A 50: Entwicklung des Bestands an BEV im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	236
Abbildung A 51: Entwicklung der Anzahl an öffentlichen Ladepunkten für BEVs im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	237
Abbildung A 52: Entwicklung des Anteils des Schienengüterverkehrs an der Güterverkehrsleistung im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien	238
Abbildung A 53: Entwicklung des fossilen Bestands an Sattelzügen und Lkw	239
Abbildung A 54: Entwicklung des Bestands an nicht-fossilen Sattelzügen und Lkw	240
Abbildung A 55: Entwicklung des Flächenanteils Ökolandbau an der landwirtschaftlichen Fläche zwischen den Jahren 2000 und 2023, sowie die politische Zielsetzung für das Jahr 2030	241
Abbildung A 56: Entwicklung des Rinderbestandes zwischen den Jahren 2000 und 2024	242
Abbildung A 57: Entwicklung des Stickstoffdüngerabsatzes zwischen den Wirtschaftsjahren 2001/2022 und 2023/2024	243

Tabellen

Tabelle 1:	Historische und durch das Bundes-Klimaschutzgesetz implizierte THG-Emissionen je Sektor	35
Tabelle 2:	Jährliche Wachstumsraten von BIP, Endenergieverbrauch und Endenergieproduktivität	40
Tabelle 3:	Modellergebnisse der ex-post Analyse von EU-ETS 1-Preissensitivitäten	45
Tabelle 4:	Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Energiewirtschaft.....	49
Tabelle 5:	Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Industrie	55
Tabelle 6:	Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Gebäude.....	62
Tabelle 7:	Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Personenverkehr	72
Tabelle 8:	Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Güterverkehr	74
Tabelle 9:	Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Landwirtschaft.....	78
Tabelle 10:	Wesentliche Entwicklungen bei Aktivitäten sowie dem Aufbau und Rückbau von Kapitalstock in den KSG-Sektoren seit dem Jahr 2021	87
Tabelle 11:	Adressierung der Handlungsfelder durch beschlossene oder implementierte Maßnahmen nach Instrumententyp.....	93
Tabelle 12:	Ausgewählte und hinsichtlich ihrer Wirkungen eingeordnete Maßnahmen.....	100
Tabelle 13:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „EU-ETS 1“	102
Tabelle 14:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „EU-ETS 2“	106
Tabelle 15:	Einordnung Wirkungen der Maßnahme „Klimaschutzverträge“	112
Tabelle 16:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „EEW“	115
Tabelle 17:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „BEG“	117
Tabelle 18:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „GEG und WPG“	122
Tabelle 19:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „Umweltbonus“	127
Tabelle 20:	Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „Deutschlandticket“	130
Tabelle 21:	Ausgewählte spezifische Investitionshemmnisse nach Kategorie und Sektor (ohne LULUCF).....	157
Tabelle 22:	Ausgewählte Wechselwirkungen von Klimaschutzpolitik und weiteren Politikfeldern	161
Tabelle 23:	Frageliste für die Erarbeitung umfassend eingebetteter Klimaschutzprogramme (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).....	170
Tabelle A 1:	Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Sektorenübergreifend	177
Tabelle A 2:	Entwicklung der zugrundeliegenden Daten und Faktoren der Dekomposition – Sektorenübergreifend.....	177

Tabelle A 3:	Dekomposition Variablen – Energiewirtschaft	178
Tabelle A 4:	Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Industrie.....	181
Tabelle A 5:	Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Gebäude	186
Tabelle A 6:	Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Verkehr.....	191
Tabelle A 7:	Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Landwirtschaft.....	196
Tabelle A 8:	Veränderung des Endenergieverbrauchs, Brennstoffeinsatzes, Erdgaseinsatzes und Produktionsindexes ausgewählter Branchen des Industriesektors in den Jahren 2019 bis 2023, jeweils im Vergleich zum Vorjahr	210
Tabelle A 9:	Anteil der Energieträger am Endenergieverbrauch ausgewählter Branchen im Industriesektor der Jahre 2019 bis 2023	211
Tabelle A 10:	Annahmen und verwendete Daten des Verkehrsmodells	212
Tabelle A 11:	Handlungsfelder, die von ausgewählten Klimaschutzmaßnahmen der letzten drei Jahre adressiert werden	244
Tabelle A 12:	Definition der Instrumententypen nach UNFCCC	249
Tabelle A 13:	Auswahl an zentralen Annahmen der „Big 5“-Klimaneutralitätsszenarien bzw. deren Aktualisierungen.....	252
Tabelle A 14:	Übersicht der berücksichtigten Studien zu Investitionsvolumina (öffentlich + privat).....	253
Tabelle A 15:	Übersicht der berücksichtigten Studien zu öffentlichen Finanzierungsvolumina	256

Infokästen

Infokasten 1:	Methodik zur linearen Fortschreibung von Indikatoren	29
Infokasten 2:	Ex-post Analyse von EU-ETS 1-Preissensitivitäten.....	44
Infokasten 3:	Umsetzung der Klimaziele und Allokation von Emissionsmengen im Gebäudesektor	60
Infokasten 4:	Szenario-basierte Entwicklung des Pkw-Kapitalstocks im Verkehrssektor	68
Infokasten 5:	Ausgewählte Herausforderungen zur Erreichung der Senkenleistung im Sektor LULUCF	85
Infokasten 6:	Staatliche Begünstigungen mit klimaschädlicher Wirkung.....	94
Infokasten 7:	Energiearmut.....	98
Infokasten 8:	Übergang BEHG zu EU-ETS 2	108
Infokasten 9:	Klima-Sozialfonds	110
Infokasten 10:	Ausgewählte Investitionshemmnisse in den Sektoren (außer LULUCF)	156
Infokasten 11:	Suffizienz	159

Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AFIR	Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz (Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen)
BEV	Batterieelektrische Pkw (Battery Electric Vehicle)
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BIK	Bundesförderung Industrie und Klimaschutz
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (ehem. BMU)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (ehem. BMWi)
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BWS	Bruttowertschöpfung
CAPEX	Anschaffungs-/Kapitalkosten (Capital Expenditure)
CBAM	CO ₂ -Grenzausgleichssystem (Carbon Border Adjustment Mechanism)
CCfD	CO ₂ -Differenzverträge (Carbon Contract for Difference)
CCUS	Carbon Capture Utilization and Storage
CDR	Carbon Dioxide Removal
CfD	Differenzverträge (Contract for Difference)

CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CO ₂ KostAufG	Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz
CRF	Common Reporting Format der Europäischen Klimaberichtserstattung
dena	Deutsche Energieagentur
EED	EU-Energieeffizienzrichtlinie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEP	Endenergieproduktivität
EEV	Endenergieverbrauch
EEW	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft
EH	Effizienzhaus
EKBG	Ersatzkraftwerkebereithaltungsgesetz
EnEfG	Energieeffizienzgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPBD	EU-Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Buildings Directive)
ERK	Expertenrat für Klimafragen
ESR	Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation)
EU	Europäische Union
EUA	Europäisches Emissionszertifikat (European Union Allowance oder Carbon Credit)
EU-ETS	Europäisches Emissionshandelssystem/Handelssystem Emissionszertifikate (European Emissions Trading System)
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GLÖZ	Standards zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in "gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand"
GW	Gigawatt
GWP	Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential)
H ₂	Wasserstoff

ha	Hektar
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
IEA	Internationale Energieagentur, "International Energy Agency"
IPCC	Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IRA	Inflation Reduction Act
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KohleAusG	Kohleausstiegsgesetz
KSF	Klima-Sozialfonds
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KSV	Klimaschutzverträge
KTF	Klima- und Transformationsfonds
KVBG	Kohleverstromungsbeendigungsgesetz
kWh	Kilowattstunde
Lkw	Lastkraftwagen
LULUCF	Land Use Land Use Change and Forestry
MSR	Marktstabilitätsreserve
Mt	Megatonne
N ₂ O	Lachgas
NECP	Nationaler Energie- und Klimaplan
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem
NF ₃	Stickstofffluorid
NMVOG	Flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan
NO _x	Stickoxide
OPEX	Betriebskosten (Operational Expenditure)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEV	Primärenergieverbrauch
PFC	Perfluorcarbone
PHEV	Plug-in-Hybrid (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PI	Produktionsindex
PJ	Petajoule

Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
RED	Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive)
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SO ₂	Schwefeldioxid
SUV	Sport Utility Vehicle
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
THG	Treibhausgas
Tkm	Tonnenkilometer
TREMODO	Transport Emission Model
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
WindBG	Windenergieflächenbedarfsgesetz
WindSeeG	Windenergie-auf-See-Gesetz
WPB	Worst Performing Buildings
WPG	Wärmeplanungsgesetz

Zusammenfassung

Der Expertenrat für Klimafragen untersucht in diesem **Zweijahresgutachten** gemäß dem gesetzlichen Auftrag laut § 12 Abs. 4 KSG bisherige Entwicklungen der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), Trends bezüglich der Jahresemissionsgesamtmengen und sektoralen Jahresemissionsmengen, die Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf die Zielerreichung sowie deren soziale Verteilungswirkungen und Wirtschaftlichkeit. Der Fokus der Analysen liegt auf den Entwicklungen seit dem Jahr 2021. Darüber hinaus werden Abschätzungen aus wissenschaftlichen Studien zum Umfang der Investitionsvolumina für die Transformation Deutschlands hin zur Treibhausgasneutralität dargestellt und eingeordnet. Schließlich gibt der Expertenrat eine Einordnung zur Ausrichtung der zukünftigen Klimaschutzpolitik Deutschlands und formuliert dabei Anforderungen an künftige Klimaschutzprogramme.

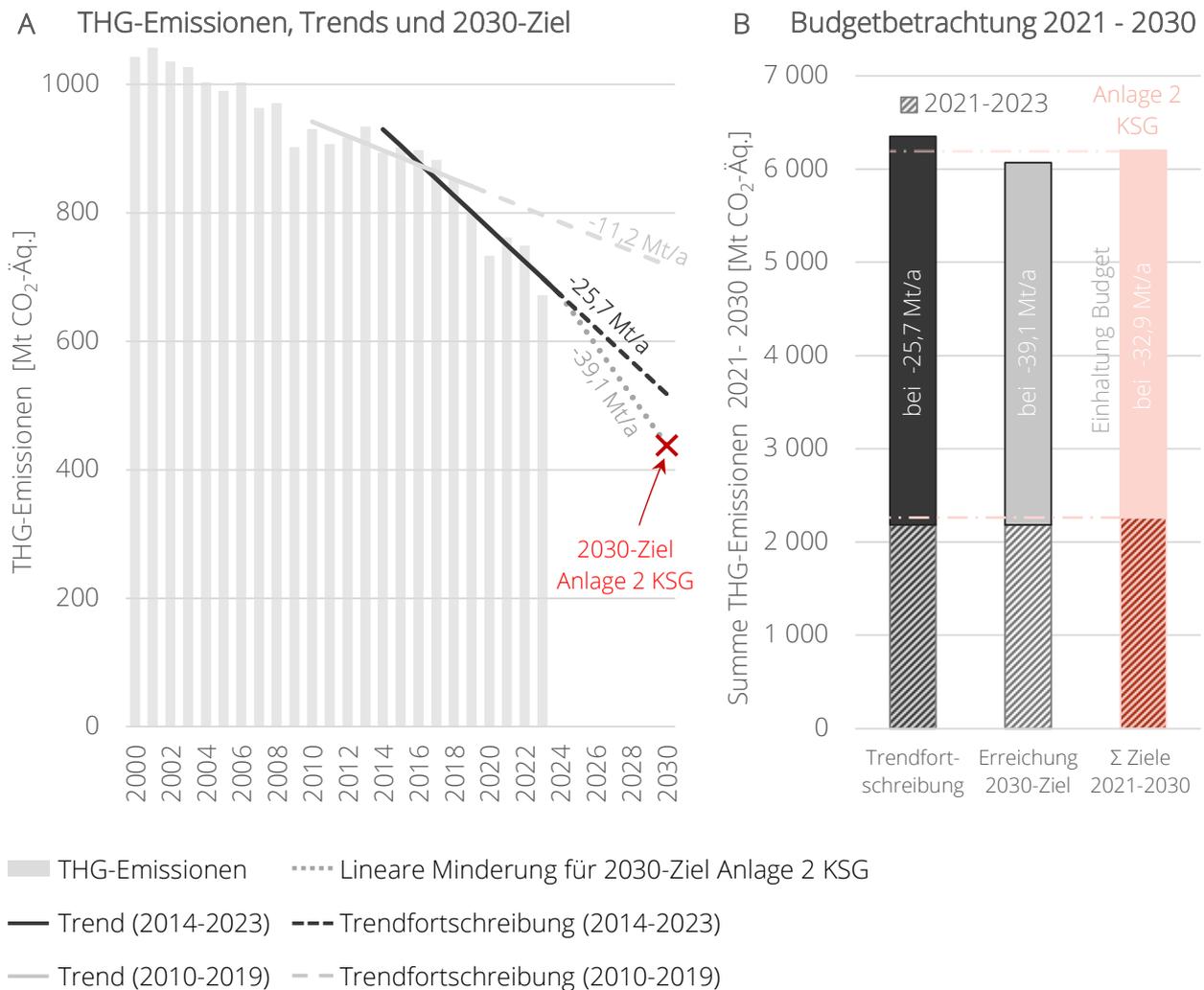
Bisherige Entwicklungen und Trends bezüglich der Jahresemissionsmengen

Die **sektorenübergreifenden THG-Emissionen** (ohne LULUCF) sind seit dem Jahr 2021 deutlich gesunken, wobei alle Sektoren bis auf den Verkehr Rückgänge verzeichneten. Die Geschwindigkeit der THG-Emissionsminderung variiert erheblich zwischen den Sektoren. Signifikante Rückgänge waren besonders im Sektor Energiewirtschaft zu beobachten. Auch in der Industrie kam es in den Jahren 2022 und 2023 zu nennenswerten Reduktionen. Im Gebäudesektor, in der Landwirtschaft und in der Abfallwirtschaft sind die THG-Emissionen leicht gesunken, während im Verkehrssektor die THG-Emissionen seit 2021 leicht angestiegen sind.

Die beschriebenen THG-Emissionsrückgänge waren ausreichend, um die **im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) festgelegten Jahresemissionsgesamtmengen** (ohne LULUCF) in den Jahren 2021 bis 2023 einzuhalten. Auf sektoraler Ebene ergibt sich jedoch ein gemischtes Bild hinsichtlich der Zielerreichung: Während Energiewirtschaft, Industrie, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft ihre sektoralen Vorgaben erreichten, lagen die THG-Emissionen im Gebäudesektor (temperaturbereinigt) knapp oberhalb der Zielwerte. Die THG-Emissionen des Verkehrssektors überstiegen die im Bundes-Klimaschutzgesetz genannten Jahresemissionsmengen deutlich.

Die in den vergangenen Jahren beobachtete Geschwindigkeit der THG-Emissionsminderung würde nicht ausreichen, um das gesetzlich festgelegte Klimaziel für das Jahr 2030 zu erreichen. Zwar hat sich der **Trend** des Rückgangs der THG-Emissionen von 2014 bis 2023 im Vergleich zur Dekade 2010 bis 2019 beschleunigt. Wenn das im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebene Ziel erreicht werden soll, die THG-Emissionen im Jahr 2030 um 65 % gegenüber dem Referenzwert des Jahres 1990 abzusenken, müsste die mittlere jährliche Reduktionsrate ab dem Jahr 2024 jedoch um mehr als die Hälfte zunehmen (Abbildung Z 1, Feld A). Auch zur Einhaltung des in Anlage 2 KSG über den Zeitraum von 2021 bis 2030 implizierten THG-Budgets müsste die Geschwindigkeit der THG-Emissionsreduktion deutlich ansteigen (Abbildung Z 1, Feld B).

Abbildung Z 1: Sektorenübergreifende THG-Emissionen – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025).¹

¹ Die Abbildung ist eine Darstellung der sektorenübergreifenden THG-Emissionen ohne Berücksichtigung des Sektors LULUCF. Die KSG-Ziele für die sektorenübergreifende Betrachtung entstammen der Anlage 2 KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2 (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2 KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsgesamtmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsraten angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021-2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektorenübergreifenden THG-Budget laut Anlage 2 KSG.

Mehr als zwei Drittel der beobachteten mittleren jährlichen Reduktionsrate von 2014 bis 2023 entfielen auf den Sektor Energiewirtschaft, der Rest verteilte sich auf die übrigen **Sektoren** (ohne LULUCF). Setzt sich der mittlere jährliche Reduktionstrend aus den Jahren 2014 bis 2023 fort, könnten die Sektoren Energiewirtschaft, Landwirtschaft und Abfall sowohl ihre Zielwerte für das Jahr 2030 unterschreiten als auch die THG-Budgets bis zum Jahr 2030 einhalten. Für die Sektoren Industrie, Verkehr und Gebäude würden sich hingegen Zielverfehlungen ergeben und die THG-Budgets würden nicht eingehalten. Dies deckt sich mit der Einschätzung des Expertenrates aus seinem Gutachten zur Prüfung der Projektionsdaten 2024. Dort gelangte er zur Einschätzung, dass die für das Jahr 2030 projizierten THG-Emissionen in allen Sektoren mit Ausnahme der Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft vermutlich unterschätzt werden.

Für die Analyse und Einordnung der THG-Emissionsentwicklung nutzt der Expertenrat ein Konzept, das er in seinem Zweijahresgutachten 2022 entwickelt hat und das die unterschiedlichen Handlungsfelder und Handlungsoptionen der THG-Reduktion darstellt. Der Rückgang der THG-Emissionen in den Jahren 2022 bis 2024 ist anteilig auf den Rückgang von **Aktivitäten** zurückzuführen. Der Begriff Aktivitäten bezieht sich dabei auf menschliche Tätigkeiten, die bei Nutzung des fossilen Kapitalstocks THG-Emissionen verursachen. In den Jahren 2021 bis 2023 sank beispielsweise der Stromverbrauch erheblich. In der Industrie waren die THG-Emissionsrückgänge vor allem auf die gegenüber dem Vorkrisenjahr 2019 höheren Energiepreise sowie konjunkturelle und strukturelle Nachfragerückgänge zurückzuführen. Dies gilt insbesondere in den vom Europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) erfassten Bereichen. Der Rückgang der Aktivitäten war dabei teilweise durch Krisenereignisse beeinflusst. Ob dieser durch Krisen verursachte Anteil von dauerhafter Natur ist, ist derzeit noch unsicher. So führte der starke Anstieg der Gaspreise als Folge des russischen Angriffskriegs in der Ukraine zu einem deutlichen Rückgang des Gasverbrauchs in Haushalten, Gewerbe und Industrie. Im Jahr 2024 ist der Gasverbrauch jedoch wieder gestiegen. Auch nahm zum Beispiel der Personenverkehr nach einem deutlichen Rückgang während der Covid-19-Pandemie wieder zu.

Der Rückbau des **fossilen bzw. emissionsintensiven Kapitalstocks** verläuft nach wie vor zu langsam, um die sektoralen Emissionsziele zu erreichen. Im Gebäudesektor sind die Austauschquoten von Gas- und Ölheizungen niedrig und der Absatz von neuen fossilen Heizungen bleibt hoch. Auch im Verkehrssektor wird weiterhin eine hohe Anzahl an fossilen Pkw neu zugelassen, bei denen davon auszugehen ist, dass sie ohne Gegenmaßnahmen lange im Bestand bleiben werden. Damit sind sowohl im Gebäude- als auch im Verkehrssektor im Jahr 2030 weiterhin hohe THG-Emissionen zu erwarten. Dies macht das Erreichen der gesetzlichen Zielvorgaben in den beiden Sektoren aus heutiger Sicht unwahrscheinlich.

Der Aufbau von neuem **nicht-fossilen bzw. emissionsarmem Kapitalstock** geht ebenfalls insgesamt zu langsam voran, um die politisch definierten Ziele für Indikatoren zu erreichen, die für die THG-Emissionsentwicklung eine wichtige Rolle spielen. Unter der Annahme einer linearen Fortschreibung des in den Jahren 2022 bis 2024 erfolgten Zubaus erreicht keiner dieser Indikatoren die angestrebte Aufbaugeschwindigkeit von neuem Kapitalstock zum Erreichen der politischen Ziele bzw. der entsprechenden Kennzahlen in den Klimaneutralitätsszenarien. Lediglich in der Energiewirtschaft ist der starke Rückgang bei den THG-Emissionen mit einem umfangreichen Aufbau von neuem Kapitalstock einhergegangen. Insbesondere die Dynamik beim Ausbau der Photovoltaik und die Genehmigungen für Windenergieanlagen an Land haben deutlich zugenommen, wodurch die politisch angestrebten Ausbauziele für das Jahr 2030 sowohl für Photovoltaik als auch für Wind an Land zunehmend erreichbar scheinen. In allen anderen Bereichen hängt die tatsächliche Entwicklung hinter der von der Bundesregierung angestrebten Entwicklung hinterher oder ist sogar rückläufig. So verzeichnete zum Beispiel im Gebäudesektor der Absatz von Wärmepumpen im Jahr 2024 einen deutlichen Einbruch und die jährliche Sanierungsrate von Gebäuden

liegt weiterhin bei unter einem Prozent. Im Verkehrssektor ist der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge an den Neuzulassungen wieder gesunken, nachdem die Förderung durch den Umweltbonus beendet wurde. Auch in der Industrie gab es nur marginale Fortschritte bei der Elektrifizierung von Prozessen, die bislang fossile Energieträger nutzen.

Im Sektor **LULUCF** hat sich die Datenlage mit der Veröffentlichung der letzten Bundeswaldinventur drastisch geändert: Als kumulierte Netto-Quelle über die Jahre 2018 bis 2022 werden nun statt +11 Mt CO₂-Äq. rund +371 Mt CO₂-Äq. bilanziert – rund 34-mal mehr als zuvor angenommen. Im Jahr 2023 entsprachen die THG-Emissionen des Sektors LULUCF damit etwa 10 % der gesamten deutschen THG-Emissionen. Der LULUCF-Sektor ist bereits seit dem Jahr 2014 eine konstante Netto-Quelle und würde das Ziel einer Netto-Senke von -25 Mt CO₂-Äq. bis zum Jahr 2030 deutlich verfehlen, sollte es nicht zu einer raschen Umkehr des beobachteten Trends kommen.

Betrachtungen zur Wirksamkeit Klimaschutzpolitischer Maßnahmen

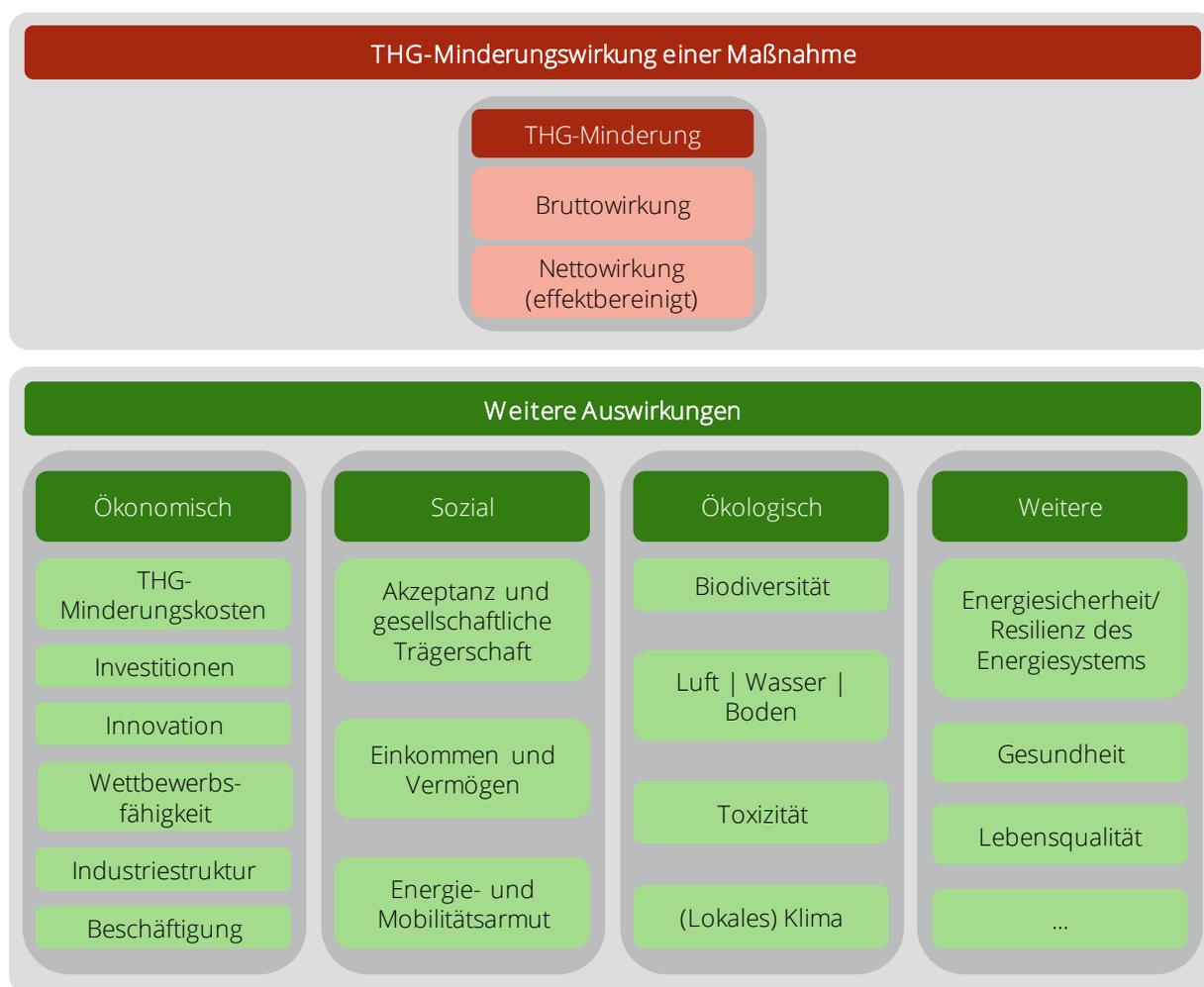
In den vergangenen beiden Jahren wurde eine **Reihe von Maßnahmen zur Minderung der THG-Emissionen substantiell novelliert oder neu eingeführt**. Zudem wurden einige Programme und Strategien beschlossen, die unmittelbar oder mittelbar für die Erreichung der im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Ziele bedeutsam sind. Auf Maßnahmenebene zählen dazu beispielsweise die Regelungen zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren in der Energiewirtschaft, die Einführung von Klimaschutzverträgen in der Industrie, die Novellierung der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sowie die Implementierung des Wärmeplanungsgesetzes (WPG) im Gebäudesektor und im Sektor Verkehr das Deutschlandticket.

Der Expertenrat stellt damit übergreifend fest, dass in den Jahren von 2022 bis 2024 die **Anstrengungen zur Reduktion der THG-Emissionen verstärkt** wurden. Der Blick auf das dahinterstehende Instrumentarium zeigt jedoch, dass sich an der Struktur der Maßnahmen nur wenig geändert hat. Der Schwerpunkt lag auch weiterhin auf der Novellierung oder Neueinführung fiskalischer sowie regulatorischer Instrumente, letzteres vor allem geprägt durch die Umsetzung von im Rahmen des „Fit for 55“-Pakets novellierten EU-Richtlinien. Die neuen Maßnahmen zielen vorwiegend darauf ab, den bestehenden fossilen durch nicht-fossilen Kapitalstock zu ersetzen und damit bestehende industrielle Strukturen zu erhalten, beispielsweise durch eine Unterstützung des Wechsels zu CO₂-freien oder -armen Technologien in der Stahl- oder Automobilindustrie. Hierbei spielt neben der klimapolitischen auch die wirtschaftliche Bedeutung dieser Branchen eine Rolle.

Im vorliegenden Gutachten werden auf Basis wissenschaftlicher Literatur auch die **Wirksamkeit der Maßnahmen** in Bezug auf ihre THG-Minderungswirkung und -kosten sowie ihre ökonomischen, sozialen und weiteren Folgen bewertet (siehe Abbildung Z 2). Hierbei zeigt sich, dass die betrachteten Maßnahmen in der Summe einen merklichen Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen geleistet haben. Insbesondere bei den vom EU-ETS 1 abgedeckten THG-Emissionen waren in der Vergangenheit deutliche Minderungen zu beobachten. Diese lassen sich – neben markt- und krisenbedingten Änderungen der Brennstoffpreise – auch auf das Instrument des EU-ETS 1 zurückführen. Mit dem BEHG und perspektivisch seiner Überführung in den EU-ETS 2 wird in Deutschland zudem seit 2021 eine umfassende Abdeckung der THG-Emissionen auch in den für die Zielerreichung kritischen Sektoren Gebäude und Verkehr durch ein marktbasierendes Instrument erreicht. Die Einhaltung der nationalen THG-Minderungsziele unter der EU-Lastenteilung wird allein dadurch jedoch nicht sichergestellt. Daher dürften zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein, um die Einhaltung dieser Ziele zu gewährleisten und den Zukauf von Zertifikaten von anderen Ländern zu vermeiden. Im Gebäudesektor hatte die BEG eine bedeutsame Minderungswirkung. Perspektivisch könnten die

Einsparungen durch die Kombination aus Förderung (BEG) und Regulatorik (GEG und WPG) vergrößert werden. Im Verkehrssektor half der Umweltbonus dabei, den Absatz von batterieelektrischen Fahrzeugen zu steigern und damit THG-Emissionen zu reduzieren. Allerdings gab es dort signifikante Mitnahme- und Vorzieheffekte und es wurden in den ersten Förderperioden auch Plug-In-Hybride gefördert, bei denen die THG-Emissionsminderung im Vergleich zu gleichartigen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor gering ausfällt. Das Deutschlandticket hat zu THG-Minderungen geführt, die genaue Höhe ist jedoch unsicher. Mittel- und langfristig könnte es die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) weiter stärken und damit eine Reduktion emissionswirksamer Aktivitäten fördern, sofern der ÖPNV durch weitere Maßnahmen gestärkt und damit für mehr Menschen attraktiv wird. Für den Industriesektor ist die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) eine zentrale Fördermaßnahme, die aufgrund der Höhe ihres Fördervolumens und ihrer teils technologieoffenen und wettbewerbsorientierten Ausgestaltung einen merklichen Beitrag zur THG-Minderung leistet. Inwiefern die neu eingeführten Klimaschutzverträge den von ihnen erwarteten Beitrag zur Transformation der energieintensiven Industrie tatsächlich leisten können, bleibt zukünftigen Evaluationen vorbehalten.

Abbildung Z 2: Überblick über Wirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen



Eigene Darstellung. Auswahl Auswirkungen basierend auf Heyen (2021); Weidner (1992); Kellner et al. (2023); Steuwer et al. (2024); Bull und Eadson (2023); DellaValle und Czako (2022); Hagemeyer et al. (2024); Repenning et al. (2018); Lehr et al. (2020); UBA (2020) und Zimmermann (2018).

Im Bereich der **ökonomischen Auswirkungen** zeigt die Analyse, dass insbesondere Förderprogramme mit Ausgaben im zweistelligen Milliardenbereich je nach betrachteter Studie vielfach mittlere bis sehr hohe THG-Minderungskosten und damit eine eher geringe Kosteneffizienz aufweisen. Zu nennen sind hier beispielsweise der Ende 2023 vorzeitig eingestellte Umweltbonus oder das Deutschlandticket. Bei der Novellierung der BEG wurde diesem Aspekt bereits Rechnung getragen, sodass nun eine Erhöhung der Fördereffizienz zu erwarten ist. Zu berücksichtigen ist dabei aber auch, dass die THG-bezogene Fördereffizienz nicht das einzige Kriterium für die Bewertung solcher Klimaschutzpolitischen Maßnahmen darstellen sollte. So verfolgen sie neben dem Ziel der THG-Reduktion häufig auch komplementäre politische Ziele. Hierzu gehören beispielsweise der Erhalt der energieintensiven Industrie über die Klimaschutzverträge oder das Adressieren sozialer Folgen durch eine finanzielle Entlastung von privaten Haushalten mit der novellierten BEG oder dem Deutschlandticket. Dennoch ist unstrittig, dass Emissionshandelssysteme wie der EU-ETS 1 und zukünftig der EU-ETS 2 niedrigere THG-Minderungskosten aufweisen als fiskalische Instrumente. Beim EU-ETS 1 lagen die THG-Minderungskosten zwischen 2021 und 2024 bei unter 100 Euro pro Tonne CO₂-Äq. Eine Bepreisung von THG-Emissionen kann allerdings trotz ihrer höheren Effizienz im Vergleich zu anderen Instrumenten Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Unternehmen haben. So kann der EU-ETS 1 in Verbindung mit anderen energiepreiswirksamen Maßnahmen die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie aufgrund steigender Produktionskosten schwächen und damit auch die wirtschaftliche Aktivität weiter verringern. Um solche negativen Verteilungswirkungen zumindest teilweise zu kompensieren, werden daher auch marktbasierende Instrumente häufig von weiteren – auch fiskalischen – Maßnahmen begleitet. Als bereits eingeführte Maßnahmen lassen sich das CO₂-Grenzausgleichssystem (Carbon Border Adjustment Mechanismen, CBAM) auf EU-Ebene oder die ebenfalls neu eingeführten Klimaschutzverträge in Deutschland nennen.

Hinsichtlich der **sozialen Auswirkungen** weisen einige der in diesem Gutachten analysierten Maßnahmen eine regressive Verteilungswirkung auf. So wurden mit den fiskalischen Maßnahmen in den Sektoren Gebäude und Verkehr wie dem Umweltbonus oder der ursprünglichen BEG primär einkommensstarke Haushalte gefördert. Eine sozial differenziertere Förderung wurde mit der Novellierung der BEG im Jahr 2023 angestoßen. Energiearmut wird jedoch im klimapolitischen Instrumentarium in Deutschland weiterhin nur unzureichend adressiert. Zudem belastet die CO₂-Bepreisung im Rahmen des BEHG überproportional private Haushalte mit geringen und mittleren Einkommen, was sich zukünftig mit der weiteren Erhöhung der CO₂-Preise bzw. dem Übergang auf den EU-ETS 2 noch verstärken dürfte. Eine begleitende politische Instrumentierung des EU-ETS 2 wird deshalb erforderlich sein, um die sozialen und wettbewerblichen Folgen von hohen CO₂- und Brennstoffpreisen abzufedern. Darüber hinaus sollten spezifische Hemmnisse adressiert werden, etwa im Bereich der Infrastruktur oder zur Vermeidung von Lock-in-Effekten. Um die sozialen Auswirkungen preis- und mengenpolitischer Instrumente zur THG-Reduktion zu adressieren, sind verschiedene Politikansätze möglich. Dazu gehören der Ausbau einer mit den THG-Minderungszielen kompatiblen Infrastruktur und Daseinsvorsorge, sozial differenzierte Förderprogramme, regulatorische Maßnahmen sowie direkte finanzielle Kompensation. Im Zusammenspiel könnten diese Bausteine dazu beitragen, dass keine Bevölkerungsgruppe durch die Transformation zu einer klimaneutralen Gesellschaft in übermäßiger oder als ungerecht wahrgenommener Weise belastet wird.

Investitionen zum Aufbau eines klimaneutralen Kapitalstocks

Für den Aufbau eines leistungsfähigen klimaneutralen Kapitalstocks sind hohe **Investitionen** notwendig. Der Expertenrat hat hierzu 13 Studien analysiert, die (sektorale) Investitionsvolumina und entsprechende Finanzierungsvolumina der öffentlichen Hand projizieren. Ziel der Analyse ist es, die in den Studien

ausgewiesenen Investitionsvolumina bis zum Jahr 2030 vergleichend einzuordnen und die Möglichkeiten zu diskutieren, diese Volumina volkswirtschaftlich zu realisieren.

Die einbezogenen **Studien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Methodik und Annahmen**, sodass eine einfache Vergleichbarkeit der ausgewiesenen Investitionsvolumina nicht gegeben ist. So unterscheiden sich die Studien beispielsweise in der zugrunde liegenden Szenarienbasis. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse dient daher vor allem einer Darstellung der Bandbreite der ausgewiesenen Investitionsvolumina. Bandbreiten werden zum einen für Transformationsinvestitionen dargestellt, also Investitionen, die durch die Transformation hin zur Klimaneutralität bedingt sind. Zum anderen werden Bandbreiten für Mehrinvestitionen betrachtet, also für den Teil der Transformationsinvestitionen, die über Ersatzinvestitionen in klimaneutrale Technologien (Ohnehin-Investitionen) hinausgehen. Die ausgewiesenen Studien weisen Bruttoanlageinvestitionen aus. Die Auswirkungen der entsprechenden Investitionsvolumina auf die Nettoanlageinvestitionen (unter Berücksichtigung von Abschreibungen) sowie auf die Kapitalproduktivität werden in den Studien nicht berücksichtigt.

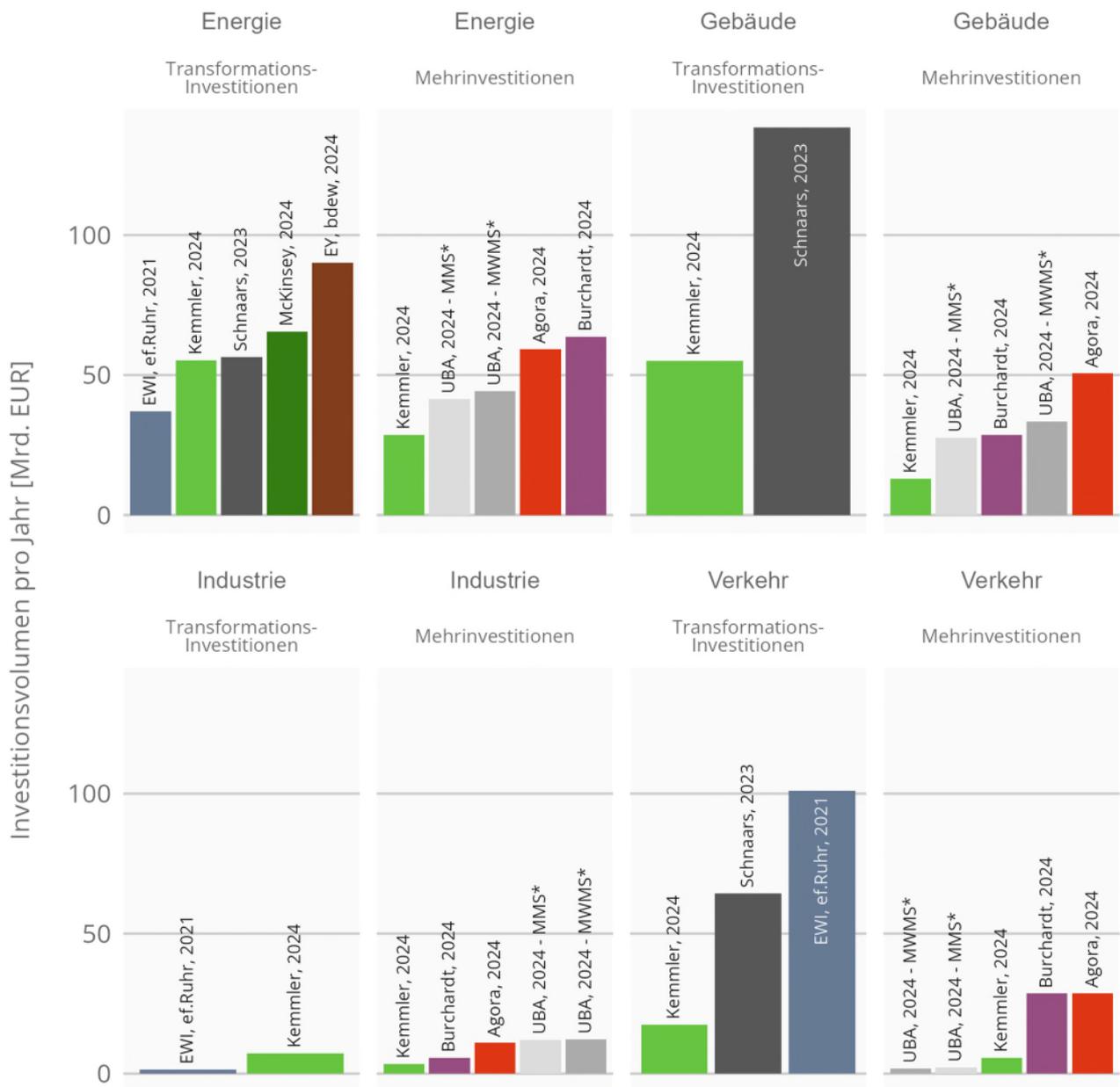
Der sektorenübergreifende Umfang der **projizierten Transformationsinvestitionen** liegt laut Schätzungen in einem Bereich von 135 bis 255 Mrd. Euro pro Jahr. Diese Bandbreite entspricht 3,2 bis 6 % des deutschen BIP im Jahr 2023 und damit einem relevanten Anteil an der erwarteten Wirtschaftsleistung Deutschlands. In den einzelnen Sektoren ergeben sich hohe Bandbreiten der Schätzungen. Besonders hoch sind die projizierten Volumina der Transformationsinvestitionen in den Sektoren Energiewirtschaft (37 bis 90 Mrd. Euro pro Jahr), Gebäude (55 bis 139 Mrd. Euro pro Jahr) und Verkehr (17 bis 101 Mrd. Euro pro Jahr) (siehe Abbildung Z 3).

Ein Teil der Transformationsinvestitionen sind **Mehrinvestitionen**, die über die im Rahmen einer fortlaufenden Erneuerung des Kapitalstocks getätigten Investitionen hinausgehen. Für Mehrinvestitionen wird in den Studien eine Bandbreite von 51 bis 150 Mrd. Euro pro Jahr angegeben. Dies entspricht 1,2 bis 3,6 % des BIP im Jahr 2023. Eine Einordnung der Mehrinvestitionen zeigt deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Sektoren. Im Energiesektor machen Mehrinvestitionen gegenüber den Ohnehin-Investitionen einen relevanten Anteil der Transformationsinvestitionen aus. Ein großer Teil der projizierten Investitionen ist also der Transformation zuzuordnen. Im Gebäudesektor wäre hingegen laut der betrachteten Studien ein hoher Anteil der projizierten Transformationsinvestitionen ohnehin angefallen, wenn man die Neubauten als Ohnehin-Investitionen einordnet.

Aus der Analyse der betrachteten Studien lässt sich ableiten, dass die projizierten Investitionen der Höhe nach **volkswirtschaftlich ins Gewicht fallen**. Der Expertenrat hält es daher für wichtig, dass die Bundesregierung insbesondere in der Systementwicklungsstrategie die finanziellen Herausforderungen durch zukünftige Investitionsvolumina unter Berücksichtigung der finanziellen Anforderungen aller Politikfelder aktiv in den Blick nimmt. Um eine fundierte Abschätzung der Tragfähigkeit des Transformationsprozesses vornehmen zu können, sollte die Bundesregierung deshalb in ihrer mehrjährigen Finanz- und Wirtschaftsplanung die Transformationsinvestitionen ausdrücklich berücksichtigen. Dabei sollten auch die Wachstumspotenziale, die sich für die deutsche Volkswirtschaft aus den Transformationsinvestitionen ergeben können, bei der Strategieentwicklung ausdrücklich berücksichtigt werden. Bei der Einordnung der Investitionsvolumina für die Transformation müssen zudem die zukünftigen durch den Klimawandel zu erwartenden volkswirtschaftlichen Folgekosten berücksichtigt werden. Zwar hängt das Ausmaß des Klimawandels und damit auch die Höhe der Folgekosten von den globalen Fortschritten bei der Begrenzung der THG-Emissionen ab. Wenn Deutschland aber seine Klimaziele durch eine ambitionierte

Klimaschutzpolitik erreicht, so ist dies über die vermiedenen THG-Emissionen hinaus vor allem für die Verlässlichkeit wichtig. Nur bei Einhaltung der eigenen Ziele kann Deutschland auch im internationalen Rahmen glaubwürdig für ambitionierten Klimaschutz eintreten.

Abbildung Z 3: Jährliche projizierte Investitionsvolumina bis zum Jahr 2030 nach Investitionsaggregat und Sektoren (in EUR₂₀₂₃), basierend auf Daten unterschiedlicher Modelle und Annahmen



Eigene Darstellung. Die Werte entstammen den angegebenen Studien und haben die Preisbasis 2023.

* Die Szenarien, die UBA (2024) zugrunde liegen, modellieren die Wirkung von Klimaschutzinstrumenten und sind nicht an der Zielerreichung der KSG-Ziele ausgerichtet. Zudem werden in UBA (2024) keine Infrastrukturinvestitionen berücksichtigt.

Die öffentliche Hand spielt bei den Investitionen eine wichtige Rolle, sowohl durch selbst getätigte Investitionen als auch durch die Bereitstellung von Investitionsanreizen. Die **staatliche Finanzierungslücke** wird in verschiedenen Studien auf einen mittleren bis hohen zweistelligen Milliardenbetrag pro Jahr geschätzt. Die Rücklagen des Klima- und Transformationsfonds (KTF) – das Hauptinstrument zur Finanzierung von öffentlichen Transformationsinvestitionen – sind als Folge des Urteils des Bundesverfassungsgerichts im Jahr 2023 weitgehend abgeschmolzen und es stehen zukünftig hauptsächlich die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung für die Finanzierung zur Verfügung. Erschwert wird diese Herausforderung durch umfassende Finanzbedarfe in anderen Politikfeldern, die in den kommenden Jahren zu erwarten sind. Hierzu zählen zum Beispiel Investitionen für Klimaanpassung und negative THG-Emissionen, aber auch zu erwartende höhere Finanzbedarfe für Bildung, Verteidigung und zur Sanierung der Infrastruktur. Die projizierten durch den Staat zu tätigen Investitionsvolumina in Verbindung mit den knappen zur Verfügung stehenden Mitteln lassen vermuten, dass für die entsprechenden Mehrinvestitionen eine Priorisierung der Ausgaben der öffentlichen Hand in anderen Politikfeldern notwendig ist. Darüber hinaus könnte eine Erhöhung der öffentlichen Finanzmittel Spielräume für Investitionen erweitern und mögliche Kürzungen bei konkurrierenden Ausgabepositionen abmildern.

Hinsichtlich der erwarteten **privaten Investitionsvolumina** sollte aus Sicht des Expertenrats insbesondere nachvollzogen werden, welche Rentabilitätsabwägungen für Investoren gesehen werden, damit diese die Finanzierungsanteile an den Mehrinvestitionen bereitstellen. Schließlich sollte analysiert werden, inwiefern die deutsche Volkswirtschaft über die benötigten **Ressourcen an Fachkräften** verfügt, um die Umsetzung der Transformationsinvestitionen zu realisieren.

Klimaschutzpolitik umfassend einbetten

Laut Klimaschutzgesetz muss eine neue Bundesregierung innerhalb des ersten Jahres der Legislaturperiode ein Klimaschutzprogramm vorlegen. Vor dem Hintergrund der vorgezogenen Bundestagswahl und basierend auf den Ergebnissen der in diesem Gutachten durchgeführten Analysen liefert der Expertenrat eine Einordnung zur Ausrichtung der Klimaschutzpolitik Deutschlands und formuliert dabei **Anforderungen an die zukünftigen Klimaschutzprogramme**.

Die Ergebnisse dieses Gutachtens unterstreichen das **hohe Ambitionsniveau der im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebenen politischen Ziele** und lassen das Erreichen dieser Ziele ohne wesentliche Anpassungen in der Ausrichtung der Klimaschutzpolitik fraglich erscheinen. Hinzu kommt, dass sich wesentliche Rahmenbedingungen in den vergangenen Jahren erheblich geändert haben. Hier sind geopolitische und geoökonomische Entwicklungen ebenso wie die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland zu nennen. Zugleich sind mittlerweile sechs von neun planetaren Grenzen für den Umfang menschlicher Aktivitäten auf der Erde überschritten. Die zunehmend dramatischen Folgen und Auswirkungen dessen, z. B. aufgrund von Extremwetterereignissen, erfordern gleichermaßen politisches Handeln, insbesondere im Bereich der Anpassung an die Klimaänderung.

Diese Situation erfordert aus Sicht des Expertenrats die erheblich stärkere **Einbettung klimaschutzpolitischer Maßnahmen in eine politische Gesamtstrategie**, die sämtliche relevanten Politikfelder umfasst. Diese Strategie muss anschlussfähig an die übergreifende Strategie der Europäischen Union sein und die Anforderungen an diese Strategie aus deutscher Sicht benennen. Der Expertenrat hat bereits in früheren Dokumenten darauf hingewiesen, dass Klimaschutzpolitik in enger Wechselwirkung mit anderen Politikfeldern steht, und ein konsistentes Gesamtkonzept für die deutsche Klimaschutzpolitik angemahnt.

Aus Sicht des Expertenrats haben Dringlichkeit und Relevanz dieser Überlegungen durch die skizzierten Veränderungen und die neuen Herausforderungen für Deutschland und die EU erheblich zugenommen.

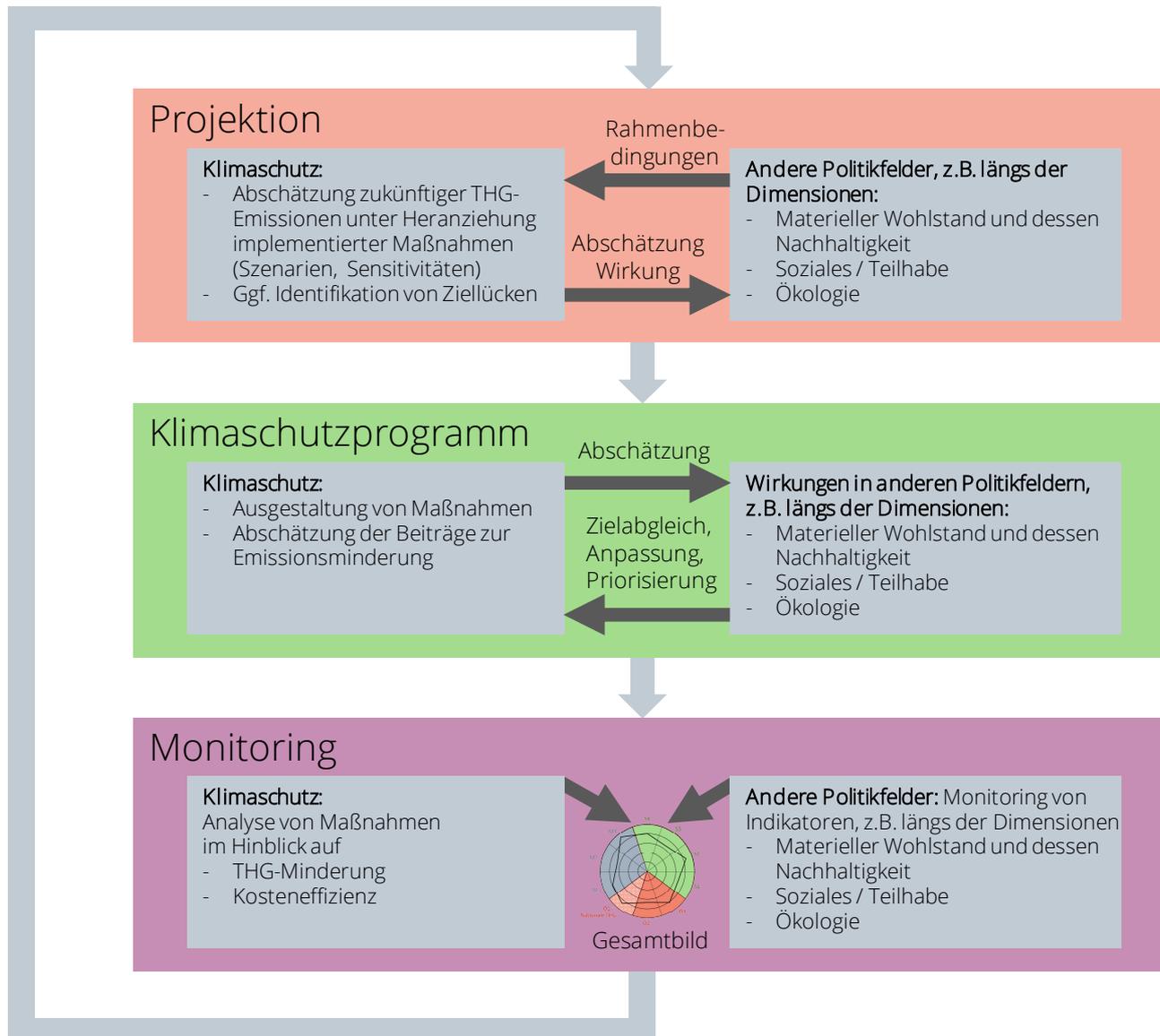
Die umfassende Einbettung der Klimaschutzpolitik in den gesamtpolitischen Kontext bedeutet vor allem, dass zukünftige **Klimaschutzprogramme** und die darin enthaltenen Maßnahmen unter wesentlich stärkerer Einbeziehung von Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern gestaltet werden müssen. Dadurch können unerwünschte oder schädliche Auswirkungen in anderen Politikfeldern minimiert werden, Synergien und Co-Benefits maximiert werden und somit letztlich ihre Umsetzbarkeit und Akzeptanz im größeren Kontext sichergestellt werden. Es bestehen vielfältige Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Politikfeldern, insbesondere der Wirtschaftspolitik, der Sozialpolitik, der Finanzpolitik, der Arbeitsmarktpolitik, der Umweltpolitik und der Sicherheitspolitik. Auch der Erstellung von Klimaschutzprogrammen vor- und nachgelagerte Prozessschritte (Zielüberprüfung ex-post und ex-ante; Monitoring von Maßnahmen und ihrer Wirksamkeit) müssen entsprechend umfassender angelegt sein und umgesetzt werden (siehe Abbildung Z 4).

Für die Umsetzung einer solchermaßen umfassend eingebetteten Klimaschutzpolitik wird ein **umfassendes Zielsystem** benötigt, das Ziele aller relevanten Politikfelder enthält, sowie geeignete Indikatoren, die dieses Zielsystem möglichst vollständig und zugleich handhabbar abbilden und eine Überprüfung im Hinblick auf die Zielerreichung ermöglichen.

Bei auftretenden **Zielkonflikten** ist ein politischer Aushandlungsprozess erforderlich. Dabei sind die THG-Minderungsziele durch das Bundes-Klimaschutzgesetz und den zugrunde liegenden Beschluss des Bundesverfassungsgerichts im Jahr 2021 sowie durch europäische Vorgaben gehärtet. Daraus folgt, dass sich die Kompromissfindung zunächst aus und in den verbleibenden Politikfeldern ergeben muss. Umso wichtiger erscheint dem Expertenrat die umfassendere Einbettung der Klimaschutzpolitik in den gesamtpolitischen Kontext. Denn aus Sicht des Expertenrats sollten etwaige Zielkonflikte transparent benannt und offengelegt und damit dem gesellschaftlich-politischen Diskurs zugeführt werden. Andernfalls würde die durch die Realität eintretende Manifestierung der Zielkonflikte die Akzeptanz der Maßnahmen gefährden, die zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele notwendig ist, womit dem Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes vermutlich deutlich weniger gedient wäre.

Der beschriebene Ansatz einer in eine Gesamtstrategie eingebetteten Klimaschutzpolitik stellt hohe Anforderungen an die **Governance** für den Prozess der Erstellung, Implementierung und Überwachung klimaschutzpolitischer Maßnahmen. Für die zukünftige Governance der Klimaschutzpolitik sieht der Expertenrat die Koordination durch Wiedereinführung des Klimakabinetts mit starker Koordinationsfunktion im Bundeskanzleramt als vielversprechende Option. Ausgangspunkt ist die Verantwortung für einzelne Teilziele in spezifischen Ressorts, um auf dieser Basis im Klimakabinett die Zielkonflikte auszuhandeln. Dies würde auch die im Zusammenhang mit der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes besonders herausgehobene Gesamtverantwortung der Bundesregierung für die Umsetzung widerspiegeln.

Abbildung Z 4: Umsetzung zukünftiger Klimaschutzpolitik mit umfassender Einbettung in eine politische Gesamtstrategie (unter beispielhafter Verwendung der Dimensionen aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“)



Eigene Darstellung unter Verwendung von Dimensionen aus Enquete-Kommission (2013).

1 Auftrag und Herangehensweise

- 1 Der Expertenrat für Klimafragen legt gemäß § 12 Abs. 4 KSG dem Deutschen Bundestag und der Bundesregierung alle zwei Jahre ein „Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends bezüglich der Jahresemissionsgesamtmengen und sektoralen Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf die Zielerreichung nach diesem Gesetz“ vor. Der Auftrag zur Erstellung des **Zweijahresgutachtens** wurde im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) in der Fassung vom 18.08.2021 gesetzlich verankert und in der Novelle vom 15.07.2024 um eine Analyse des Trends der Jahresemissionsgesamtmengen ergänzt, zusätzlich zu den Trends der sektoralen Jahresemissionsmengen. Der Expertenrat veröffentlichte im Jahr 2022 das erste Zweijahresgutachten mit einer Betrachtung der Entwicklung der Jahre 2000 bis 2021 (ERK 2022c). Daran anschließend liegt der Fokus der Analysen im vorliegenden Gutachten auf den Entwicklungen seit dem Jahr 2021.
- 2 Mit dem neu dazugekommenen § 12 Abs. 7 der **KSG-Novelle 2024** wurde der Gegenstand der Gutachten des Expertenrats um die Themen soziale Verteilungswirkungen sowie Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen erweitert: „Der Expertenrat für Klimafragen nimmt bei seinen Gutachten und Stellungnahmen auch zu den ihm vorgelegten von der Bundesregierung getroffenen Feststellungen zu den sozialen Verteilungswirkungen, der Wirtschaftlichkeit und der Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen Stellung“ (§ 12 Abs. 7 KSG). Diese Erweiterung des Mandats wurde in den vorgenommenen Analysen aufgegriffen.
- 3 Im August 2024 hat die Bundesregierung dem Deutschen Bundestag den **Klimaschutzbericht 2024** gemäß § 10 KSG vorgelegt (Bundesregierung 2024b). Ähnlich wie im vorliegenden Gutachten werden dort die Entwicklungen der Treibhausgasemissionen insgesamt und in den verschiedenen Sektoren beleuchtet, sowie klimaschutzpolitische Maßnahmen dargestellt. Das vorliegende Zweijahresgutachten 2024 ist ein vom Klimaschutzbericht 2024 der Bundesregierung unabhängiges Gutachten und prüft diesen auch nicht.
- 4 Das vorliegende Gutachten ist in **zwei Teile** gegliedert. In Teil I (Kapitel 2 und 3) werden gemäß dem gesetzlichen Auftrag bisherige Entwicklungen der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), Trends bezüglich der Jahresemissionsgesamtmengen und sektoralen Jahresemissionsmengen, die Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf die Zielerreichung sowie deren soziale Verteilungswirkungen und Wirtschaftlichkeit untersucht. In Teil II („Weiterführende Betrachtungen“, Kap. 4 bis 5) werden ausgewählte Studien zum Umfang der Investitionsvolumina dargestellt und eingeordnet, die zum Aufbau eines klimaneutralen Kapitalstocks notwendig sind. Außerdem liefert der Expertenrat eine Einordnung zur Ausrichtung der zukünftigen Klimapolitik Deutschlands und formuliert dabei Anforderungen an künftige Klimaschutzprogramme.
- 5 In **Kapitel 2** werden zunächst sektorenübergreifend und für alle Sektoren die historischen Entwicklungen sowie Trends der THG-Emissionen analysiert.² Für die Analyse der Trendentwicklung wird jeweils der Trend der letzten 10 Jahre (2014–2023) mit dem Trend der Jahre 2010 bis 2019 verglichen. Der Trend der letzten 10 Jahre wird außerdem fortgeschrieben, um diese hypothetische zukünftige Entwicklung den im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten 2030-Zielen und THG-Budgets für den Zeitraum 2021

² Die Datengrundlage sind wie im Zweijahresgutachten 2022 die innerdeutschen THG-Emissionen gemäß der einheitlichen Berichterstattung Deutschlands nach der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Die THG-Emissionen des Gebäudesektors wurden temperaturbereinigt.

bis 2030 gegenüberzustellen. Für ein vertieftes Verständnis der Emissionsentwicklungen werden Aktivitäten, Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks sowie Aufbau des nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks betrachtet, einschließlich der Trends von für die Emissionsentwicklung wichtigen Indikatoren im Hinblick auf die Erreichung politischer Ziele.

- 6 In **Kapitel 3** werden klimapolitische Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Auswirkungen betrachtet. Aufbauend auf dem letzten Zweijahresgutachten (ERK 2022c) werden hier in einem ersten Schritt Entwicklungen beim klimapolitischen Instrumentenmix ab dem Jahr 2022 dargestellt. In einem zweiten Schritt werden für ausgewählte Instrumente auf Basis aktueller Literatur die THG-Minderungswirkung, soziale Auswirkungen sowie THG-Minderungskosten und weitere ökonomische Auswirkungen analysiert. Untersucht werden die Instrumente des Europäischen Emissionshandelssystems EU-ETS 1 und EU-ETS 2, die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft, Klimaschutzverträge, Bundesförderung für effiziente Gebäude, Gebäudeenergiegesetz und Wärmeplanungsgesetz, Umweltbonus und Deutschlandticket. Abschließend folgen eine zusammenfassende Einordnung zum gesamten Instrumentenmix, sowie Maßnahmenbeispiele zur Adressierung sozialer Verteilungswirkungen.
- 7 In **Kapitel 4** wird näher beleuchtet, in welcher Höhe Investitionsvolumina für die Transformation von einem fossilen zu einem nicht-fossilen Kapitalstock in wissenschaftlichen Studien projiziert werden. Dazu werden 13 Studien ausgewertet, die solche Investitionsvolumina abschätzen. Zunächst wird auf Unterschiede in der methodischen Herangehensweise der Studien eingegangen. Anschließend werden die projizierten Investitionsvolumina sowohl sektorenübergreifend als auch für einzelne Sektoren zusammengefasst. Dabei wird zwischen gesamten Transformationsinvestitionen und Mehrinvestitionen, die für die Transformation zusätzlich anfallen, unterschieden. Anschließend wird die Rolle der öffentlichen Hand genauer betrachtet. Bei der Einordnung der projizierten Investitionsvolumina wird auch ein Fokus auf die wirtschaftlichen Möglichkeiten gelegt, diese Investitionsvolumina volkswirtschaftlich zu realisieren, sowie auf deren gesamtwirtschaftliche Implikationen.
- 8 In **Kapitel 5** nimmt der Expertenrat eine Einordnung zur Ausrichtung der zukünftigen Klimaschutzpolitik Deutschlands vor und formuliert dabei Anforderungen an das von einer neuen Regierung innerhalb des ersten Jahres der Legislaturperiode vorzulegende Klimaschutzprogramm. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Analysen innerhalb der vorherigen Kapitel und verschiedener neuer Herausforderungen wird eine umfassende Einbettung klimapolitischer Maßnahmen in eine politische Gesamtstrategie als zentrale Anforderung formuliert. Hierbei sollten Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern stärker Berücksichtigung finden, die hinsichtlich des Klimaschutzes sowohl fördernd als auch hemmend wirken können. Der Expertenrat nimmt daher eine Darstellung ausgewählter Wechselwirkungen von Klimaschutzpolitik mit weiteren Politikfeldern vor. Es werden konkrete Anforderungen an zukünftige Klimaschutzpolitik dargelegt, wobei die Bereiche Zielsystem und Monitoring anhand geeigneter Indikatorik sowie Umgang mit möglichen Zielkonflikten adressiert werden. Abschließend wird die zukünftige staatliche Governance zur Umsetzung einer umfassend in eine politische Gesamtstrategie eingebetteten Klimaschutzpolitik diskutiert.

Teil I: Bisherige Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends bezüglich der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf die Zielerreichung

2 Bisherige Entwicklungen und Trends bezüglich der Jahresemissionsmengen

- 9 Im vorliegenden Kapitel werden sektorenübergreifend und für die im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) die **historischen Entwicklungen sowie Trends der THG-Emissionen** basierend auf UBA (2025) analysiert und im Kontext der gesetzlichen Ziele laut Bundes-Klimaschutzgesetz dargestellt. Zusätzlich betrachtet werden Aktivitäten, Abbau des fossilen Kapitalstocks sowie Aufbau des nicht-fossilen Kapitalstocks, einschließlich der Trends von wichtigen Indikatoren im Hinblick auf die Erreichung politischer Ziele.
- 10 In einem ersten Schritt werden dafür die anzusetzenden gesetzlichen Ziele vor dem Hintergrund der KSG-Novelle 2024 diskutiert. In einem nächsten Schritt wird das Vorgehen für die Trendfortschreibung und die Indikatorik-Analysen dargestellt. Darauffolgend wird ein Konzept hinsichtlich Handlungsfeldern, Handlungsoptionen und Wirkräumen eingeführt, welches diesem Kapitel und dem Gutachten insgesamt zugrunde liegt. Schließlich folgen in den Unterkapiteln 2.1 bis 2.8 zunächst eine sektorenübergreifende und dann die sektoralen Darstellungen.

Gesetzliche Ziele

- 11 Im **Bundes-Klimaschutzgesetz** sind die nationalen Treibhausgasminderungsziele für die Jahre 2030 und 2040 definiert, sowie das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 und das Ziel der negativen Treibhausgasemissionen im Jahr 2050. Laut § 3 Abs. 1 KSG müssen die THG-Emissionen schrittweise gemindert werden, damit sie **im Jahr 2030 um mindestens 65 % unter denjenigen des Jahres 1990** liegen (-65 %-Ziel im Jahr 2030). Zusätzlich wird für den Zeitraum 2021 bis 2030 ein **sektorenübergreifendes THG-Emissionsbudget** definiert. Dies erfolgt über Jahresemissionsgesamtmengen (Anlage 2 KSG) in Verbindung mit dem Ausgleichsmechanismus (§ 4 Abs. 2 KSG). Mit dem Nachsteuerungsmechanismus nach § 8 KSG wird die Einhaltung des THG-Budgets nach Anlage 2 KSG geregelt. Neben den nationalen Zielen laut Bundes-Klimaschutzgesetz hat Deutschland auch nach der **europäischen Lastenteilungsverordnung** (Effort-Sharing-Regulation (Europäische Kommission 2023d), im Folgenden ESR) verpflichtende Ziele. Diese umfassen die THG-Emissionen, die nicht dem Europäischen Emissionshandelssystem 1 (Europäische Kommission 2023a), im Folgenden EU-ETS 1, oder LULUCF zuzuordnen sind, d. h. vor allem die THG-Emissionen des Verkehrs-, Gebäude- und Landwirtschaftssektors, aber auch Teile des Energiewirtschafts- und Industriesektors.
- 12 Das novellierte Bundes-Klimaschutzgesetz in der Fassung vom 15.07.2024 enthält im Vergleich zur Fassung vom 18.08.2021 neben weiteren Änderungen eine Neu-Definition des **Ausgleichsmechanismus auf der sektorenübergreifenden statt der sektoralen Ebene** (§ 4 Abs. 2 KSG). Dabei werden Unter- und Überschreitungen der Jahresemissionsgesamtmengen in Anlage 2 KSG anteilig auf die verbleibenden Jahre bis zum nächsten Zieljahr (2030 bzw. 2040, § 3 Abs. 1 KSG) angerechnet. Zusätzlich enthält das

Gesetz eine grundlegende Anpassung des Nachsteuerungsmechanismus gemäß § 8 KSG bei Zielverfehlung. So ist in der geltenden Fassung nicht mehr eine sektorale Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmenge Auslöser für die Pflicht zur Vorlage eines Sofortprogramms und damit zusätzlicher Maßnahmen für den jeweiligen Sektor. Vielmehr basiert das **Auslösekriterium für die Pflicht zur Vorlage zusätzlicher Maßnahmen** gemäß § 8 Abs. 1 KSG auf einer sektorenübergreifenden und mehrjährigen Gesamtrechnung: Überschreitet die sektorenübergreifende Summe der historischen und projizierten THG-Emissionen in den Jahren 2021 bis einschließlich 2030 das THG-Budget nach Anlage 2 KSG für diese Jahre in zwei aufeinanderfolgenden Jahren, wird die Pflicht zum Beschluss zusätzlicher Maßnahmen durch die Bundesregierung ausgelöst.³

- 13 Durch die in Anlage 2a KSG festgelegten **sektoralen Jahresemissionsmengen** lässt sich bei sektorenübergreifender Zielverfehlung feststellen, welche Sektoren „zur Überschreitung beitragen“ (§ 8 Abs. 2 KSG) und damit, welche Bundesministerien in besonderem Maße in der Verantwortung zur Vorlage von zusätzlichen Maßnahmen stehen. Die sektoralen Jahresemissionsmengen gemäß Anlage 2a KSG haben folglich eine wichtige Funktion als Bezugsgröße in der Monitoring- und der Governance-Architektur des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Allerdings stellen sie in der geltenden Fassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes kein unmittelbares Auslösekriterium bei Zielüberschreitung dar.

Trendfortschreibung und Indikatoren

- 14 Die bisherigen Entwicklungen und Trends werden sowohl auf Ebene der sektorenübergreifenden THG-Emissionen betrachtet als auch in den im Bundes-Klimaschutzgesetz definierten Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstiges sowie LULUCF. Die **Trends** werden dabei auf Basis einer **linearen Regression für zwei 10-Jahres-Zeiträume** berechnet.⁴ Der Zeitraum 2010 bis 2019 umfasst die Entwicklungen vor der Covid-19-Pandemie, der Zeitraum 2014 bis 2023 betrachtet die vergangenen 10 Jahre und beinhaltet somit die aktuellen Entwicklungen. In der sektorenübergreifenden Betrachtung werden zunächst die beiden Trends dem sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030 nach § 3 Abs. 1 KSG gegenübergestellt. Anschließend wird geprüft, ob bei einer Fortschreibung der linearen Minderungsrate des Trends der vergangenen 10 Jahre das sektorenübergreifende THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 nach Anlage 2 KSG eingehalten würde. Außerdem werden – ausgehend vom 2024-Wert dieser Trendfortschreibung – die beiden linearen Minderungsraten berechnet, die zur Erreichung des 2030-Ziels und des THG-Budgets 2021–2030 notwendig wären und in einer Budgetbetrachtung 2021–2030 miteinander verglichen. In den darauffolgenden sektoralen Betrachtungen werden die beiden Ziele (2030-Ziel und THG-Budget 2021–2030) auf Basis der Anlage 2a KSG auf die Sektoren heruntergebrochen und analoge Analysen durchgeführt (siehe Kapitel 2.1 bis Kapitel 2.7); Für LULUCF wird die Zielerreichung anhand der Senkenleistung, die in § 3a KSG definiert ist, betrachtet (siehe Kapitel 2.8). Eine Trendbetrachtung und Vergleich der unter die ESR fallenden THG-Emissionen und der ESR-Ziele wird in diesem Gutachten nicht vorgenommen (siehe ERK 2024a, für eine Trendbetrachtung auf Basis der Projektionsdaten 2024).

³ Siehe weiterführende Betrachtungen zur Anpassung von § 8 KSG in ERK (2023b), ERK (2023a) und ERK (2024a).

⁴ Es sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um eine Fortschreibung historischer Trends handelt, die mögliche Strukturbrüche nur bedingt berücksichtigt. In diesem Gutachten wird keine Abschätzung zukünftiger THG-Emissionen anhand eines detaillierten Modells vorgenommen, wie es beispielsweise im Projektionsbericht der Fall ist (siehe Harthan et al. (2024) und ERK (2024a)).

Infokasten 1: Methodik zur linearen Fortschreibung von Indikatoren

In den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft wird die Dynamik ausgewählter Indikatoren untersucht. Diese Untersuchung umfasst die Berechnung der jährlichen Veränderungen in der Vergangenheit sowie die Ermittlung der erforderlichen Veränderungen, um die politischen Ziele für das Jahr 2030 zu erreichen.

Für die Berechnung der erforderlichen Veränderungen wird eine lineare Veränderung unterstellt. Zwar folgt der Verlauf bei einer Marktdurchdringung neuer Technologien typischerweise einer S-Kurve, in der das Wachstum bei einem Bestand nahe Null annähernd exponentiell ansteigt, bevor es mit zunehmender Marktsättigung abnimmt. Dies gilt jedoch nicht für alle Indikatoren. Vereinfacht wird daher für alle Indikatoren eine lineare Fortschreibung für den Zeitraum 2024 bis 2030 angenommen.

Die Analyse auf Basis einer linearen Fortschreibung stellt explizit keine Prognose dar. Es wird die Frage beantwortet, ob die politischen Ziele unter Fortschreibung der linearen Trends der Jahre 2022 bis 2024 rechnerisch erreicht würden. Das tatsächliche Wachstum wird jedoch durch verschiedene externe Faktoren beeinflusst, die bei einer solchen Betrachtung nicht berücksichtigt werden. Hierzu zählen insbesondere mögliche strukturelle Veränderungen der Rahmenbedingungen, die signifikante Auswirkungen auf das zukünftige Wachstum haben können. Beispiele hierfür sind die Einführung neuer Förderprogramme oder die Adressierung weiterer Hemmnisse, aber auch gegenläufige Entwicklungen wie eine mögliche strukturelle Wirtschaftsschwäche in der Bundesrepublik.

Die politischen Ziele für das Jahr 2030 werden mit den projizierten Werten verglichen, die durch die lineare Fortschreibung der Jahre 2022 bis 2024 berechnet wurden. Auf dieser Basis erfolgt eine Bewertung der Zielerreichung:

- Eine Zielübererfüllung von über 10 % wird als projiziertes Übertreffen des politischen Ziels gewertet.
- Eine Über- oder Unterschreitung des politischen Ziels um weniger als 10 % wird als Projektion einer weitgehenden Zielerreichung gewertet.
- Eine Zielverfehlung von mehr als 10 % weist darauf hin, dass das politische Ziel laut Projektionen nicht erreicht werden würde.

Die Annahme eines linearen Wachstums kann je nach Phase der Marktdurchdringung zu unterschiedlichen Verzerrungen führen, falls der tatsächliche Verlauf einer S-Kurve folgt. In diesem Fall würde das Wachstum durch die Annahme einer linearen Veränderung in der Phase eines annähernd exponentiellen Wachstums (in der Anfangsphase der Marktdurchdringung) unterschätzt. Ein Vergleich der Ergebnisse unter der Annahme des linearen Wachstums und der Annahme des exponentiellen Wachstums zeigt: Bei 3 der insgesamt 18 betrachteten Indikatoren gäbe es eine abweichende Einordnung der Dynamik (siehe RZ 44, RZ 42, FN 54).

- 15 Zur Einordnung der **Dynamik wichtiger Indikatoren**⁵ in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft werden historische jährliche Veränderungen und zukünftige notwendige Veränderungen zur Erreichung der für diese Indikatoren jeweils gesetzten politischen Ziele bis zum Jahr 2030 berechnet. Infokasten 1 erörtert die Methodik zur Fortschreibung der linearen Wachstumsraten von Indikatoren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4, Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt.

Handlungsfelder, Handlungsoptionen und Wirkräume

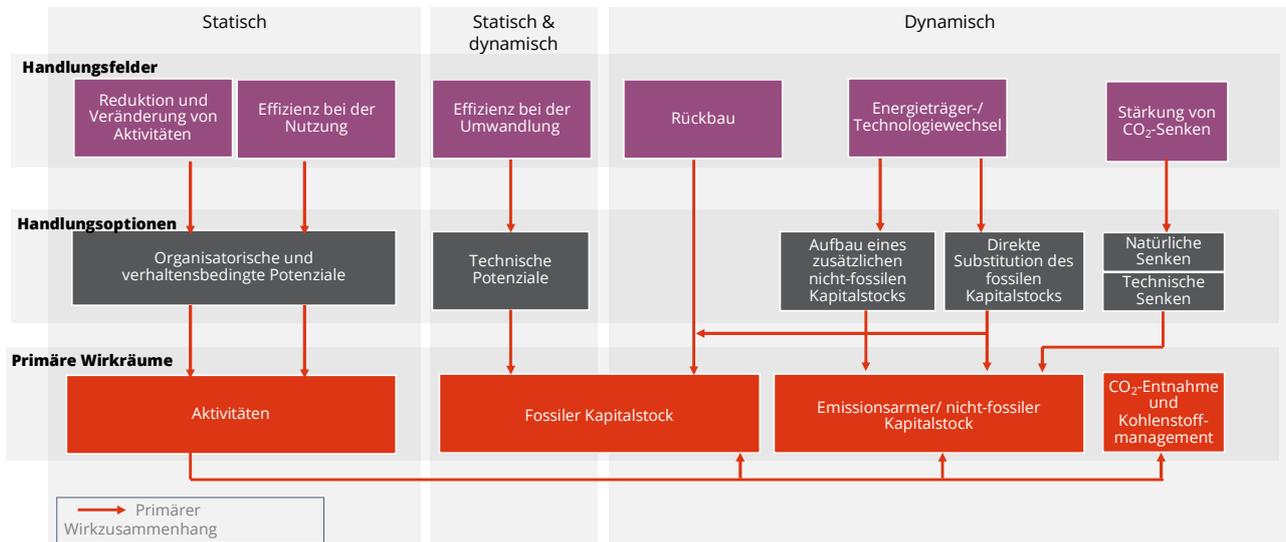
- 16 Bereits im letzten Zweijahresgutachten des Expertenrats für Klimafragen wurde ein Konzept entwickelt, das unterschiedliche Handlungsfelder der THG-Minderung sowie Handlungsoptionen und primäre Wirkräume darstellt (ERK 2022c). Hierzu zählen die **Reduktion und Veränderung von Aktivitäten**⁶, **Effizienzsteigerungen bei der Nutzung und Umwandlung**, **der Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks** sowie **Energieträger- und Technologiewechsel** mittels eines **Aufbaus eines nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks** (zusätzlich oder substituierend).⁷ Im Rahmen dieses Gutachtens wird dieses Konzept erweitert um das Handlungsfeld **Stärkung von CO₂-Senken** sowie um die **statische und dynamische Perspektive** (siehe Abbildung 1). Die Reduktion und Veränderung von Aktivitäten (z. B. Absenken der Heiztemperatur, Ersetzen von Autofahrten durch Bahnfahrten) sowie die Effizienz bei der Nutzung können in dieser kapitalstockorientierten Betrachtung als statisch bezeichnet werden. Ein Rückbau des fossilen Kapitalstocks und der Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks kann als dynamisch beschrieben werden. Die Verbesserung der Effizienz bei der Umwandlung kann sowohl statisch (z. B. hydraulischer Abgleich einer bestehenden fossilen Heizanlage) als auch dynamisch wirken (z. B. Ersatz einer Gasheizung durch eine neuere Gasheizung mit verbesserter Effizienz). Der in Abbildung 1 dargestellte Wirkraum „CO₂-Entnahme und Kohlenstoffmanagement“ wird in diesem Gutachten nicht näher betrachtet, mittelfristig, aber voraussichtlich eine wichtige Rolle bei der Kompensation nicht vermeidbarer Restemissionen spielen, wie auch in den Eckpunkten zur Langfriststrategie Negativemissionen der Bundesregierung erörtert (BMWK 2024g).

⁵ Hierzu zählen z. B. die installierte Leistung von Photovoltaik oder der Bestand an Wärmepumpen. Die Entwicklung solcher Indikatoren wurden vom Expertenrat bereits im letzten Zweijahresgutachten (ERK 2022c) dargestellt.

⁶ Die Aktivitätsdaten werden in diesem Gutachten grundsätzlich gemäß der IPCC-Nomenklatur definiert (IPCC 2019). Demnach beschreiben sie die Größe menschlicher Aktivitäten, die über einen bestimmten Zeitraum zu Emissionen von Treibhausgasen oder zu deren Aufnahme führen. Beispiele sind die Düngemittelverwendung, Landflächen, Energieeinsätze oder die Metallproduktion. Zusätzlich werden sie in diesem Gutachten um Verbrauchsmuster, wie z. B. den Heiz- und Warmwasserverbrauch oder die Verkehrsleistung nach Verkehrsträger erweitert.

⁷ Unter fossilem Kapitalstock werden z. B. Kohlekraftwerke verstanden, emissionsintensiver Kapitalstock beinhaltet z. B. Zementwerke. Beispiele für nicht-fossilen Kapitalstock sind Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern oder Wärmepumpen, zu emissionsarmem Kapitalstock zählen Gaskraftwerke, die H₂-ready sind bzw. mit Wasserstoff betrieben werden oder ein Stahlwerk, das mit Direktreduktion arbeitet. Vereinfachend werden teilweise im Gutachten die allgemeinen Bezeichnungen fossiler Kapitalstock (fossil oder emissionsintensiv) und nicht-fossiler Kapitalstock (nicht-fossil oder emissionsarm) verwendet.

Abbildung 1: Handlungsfelder und -optionen zur Treibhausgasminderung mit Blick auf Aktivitäten, fossilen/emissionsintensiven Kapitalstock, nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstock, sowie CO₂-Entnahme und Kohlenstoffmanagement



Eigene Darstellung.

2.1 Sektorenübergreifende Betrachtung

17 Die **gesamten THG-Emissionen ohne Berücksichtigung des LULUCF-Sektors** in Deutschland sind im Zeitraum von 2021 bis 2023 gesunken.⁸ Während im Jahr 2021 761,4 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 672 Mt CO₂-Äq. (siehe Abbildung 2). Dies entspricht einem Rückgang im Zweijahreszeitraum von insgesamt 89,4 Mt CO₂-Äq. oder ca. 11,7 %, wobei der Großteil der Minderung im Jahr 2023 erfolgt ist. Die beschriebenen Emissionsrückgänge waren ausreichend, um die im Bundes-

⁸ Die im Rahmen des Bundes-Klimaschutzgesetzes erhobenen und ausgewiesenen THG-Emissionen und Luftschadstoffe werden nach dem Territorialprinzip bilanziert. Dieser Ansatz erfasst direkte und indirekte Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O, HFKW, PFC, SF₆, NF₃, SO₂, NO_x, NMVOC, CO), welche durch die Produktion innerhalb der Landesgrenzen entstehen. Für Deutschland werden jene THG-Emissionen, die durch Privathaushalte oder durch die Produktion von finalen Produkten oder Zwischenprodukten in Deutschland entstehen, einberechnet. Für eine ausführlichere Beschreibung siehe die Ausführungen des Infokastens 1 in ERK (2022c). Abbildung A 22 stellt zudem die Entwicklung der territorialen und konsumbasierten THG-Emissionen von Deutschland dar.

Klimaschutzgesetz festgelegten Jahresemissionsgesamtmengen (ohne LULUCF) in den Jahren 2021 bis 2023 einzuhalten.⁹

- 18 Abbildung 2 (Feld A) stellt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023¹⁰ mit dem sektorenübergreifenden **-65 %-Ziel für das Jahr 2030** gegenüber dem Jahr 1990 gemäß § 3 Abs. 1 KSG und Anlage 2 KSG¹¹ dar. Es zeigt sich eine Beschleunigung der Reduktion der THG-Emissionen. In den Jahren 2010 bis 2019 lag der Trend bei -11,2 Mt CO₂-Äq. pro Jahr, in den Jahren 2014 bis 2023 bei -25,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr.¹² Beide Trendfortschreibungen würden im Jahr 2030 zu höheren THG-Emissionen führen als die festgelegte Jahresemissionsgesamtmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2 KSG (sektorenübergreifendes -65 %-Ziel im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990). Um dieses 2030-Ziel zu erreichen, wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine 1,5-fach so hohe Minderungsrate von 39,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig.
- 19 Abbildung 2 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** über alle Sektoren aggregiert im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2 KSG dar. Das sektorenübergreifende THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 beträgt 6 199 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-25,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 6 350 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030 resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 nicht eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsgesamtmenge für das Jahr 2030 überschritten. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre eine jährliche Minderungsrate von 32,9 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig (6 199 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Diese Minderung würde jedoch nicht ausreichen, um die festgelegte Jahresemissionsgesamtmenge für das Jahr 2030 zu erreichen oder zu unterschreiten. Mit der für das 2030-Ziel kompatiblen Minderungsrate von

⁹ In der KSG-Novelle 2024 wurde der Fokus auf eine sektorenübergreifende Zielerreichung gelegt. Dabei wurden im Bundes-Klimaschutzgesetz erstmals Jahresemissionsgesamtmengen definiert (vgl. Anlage 2 KSG). In den vorherigen Versionen des Gesetzes lag der Fokus auf einer sektoralen Zielerreichung. Somit waren damals keine Jahresemissionsgesamtmengen, sondern ausschließlich sektorale Jahresemissionsmengen für die Jahre 2020 bis 2030 definiert. Für den Sektor Energiewirtschaft waren dabei nur einzelne Jahre (2020, 2022 und 2030) festgelegt (vgl. Anlage 2a KSG). Der Fokus der Feststellungen zur Zielerreichung für die Jahre 2020 bis 2023 durch den Expertenrat für Klimafragen lag folglich auf der sektoralen Zielerreichung auf Basis der sektoralen Jahresemissionsmengen (siehe ERK 2021b; 2022b; 2023b; 2024b). Zusätzlich wurde für die Jahre 2020 und 2022 auch eine Feststellung zur sektorenübergreifenden Zielerreichung getroffen, basierend auf der Summe der sektoralen Jahresemissionsmengen. Für die Jahre 2021 und 2023 ist auf Basis der KSG-Novelle 2024 eine nachträgliche Feststellung zur sektorenübergreifenden Zielerreichung möglich: Sowohl im Jahr 2021 als auch im Jahr 2023 lagen die THG-Emissionen unterhalb der zulässigen Jahresemissionsgesamtmengen laut Anlage 2 KSG.

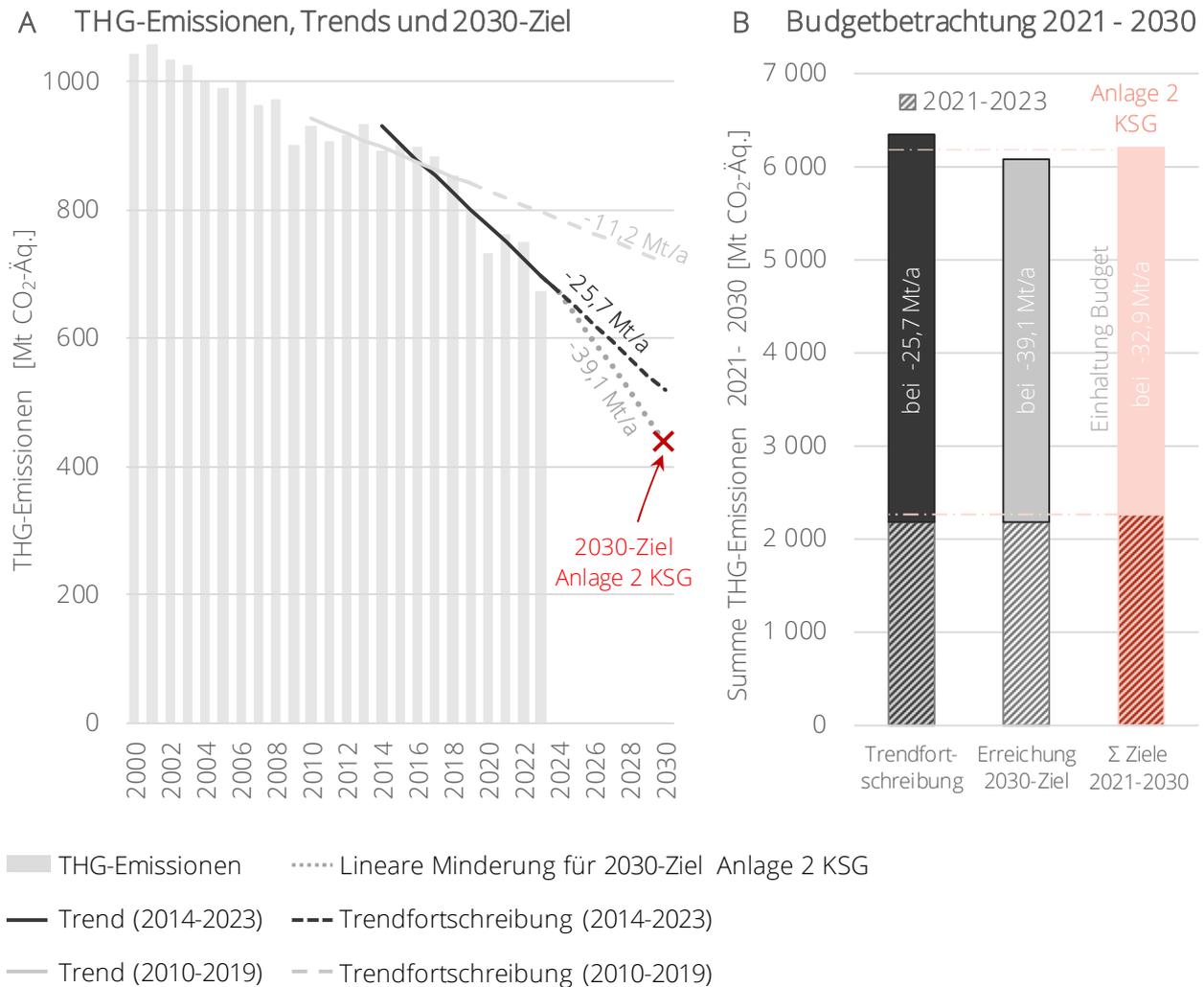
¹⁰ Der Zeitraum 2010 bis 2019 umfasst die Entwicklungen vor der Covid-19-Pandemie, der Zeitraum 2014 bis 2023 betrachtet die vergangenen 10 Jahre und beinhaltet somit die aktuellen Entwicklungen. Im letzten Zweijahresgutachten (ERK 2022c) wurde ein langfristiger Trend, abgeleitet auf Basis der Entwicklung von 2000 bis 2021, und ein Trend basierend auf den Entwicklungen vor der Covid-19-Pandemie (2010 bis 2019) betrachtet.

¹¹ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

¹² Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft mit 2 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass die THG-Emissionen im Jahr 2024 ebenfalls auf dem 10-Jahres-Trend lagen. Laut einer ersten Schätzung lagen die sektorenübergreifenden THG-Emissionen im Jahr 2024 bei 656 Mt CO₂-Äq. (Agora Energiewende 2025) und somit mit 3 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend (673 Mt CO₂-Äq.).

39,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr hingegen könnte auch das THG-Budget im Zeitraum 2021 bis 2030 eingehalten werden (6 069 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).

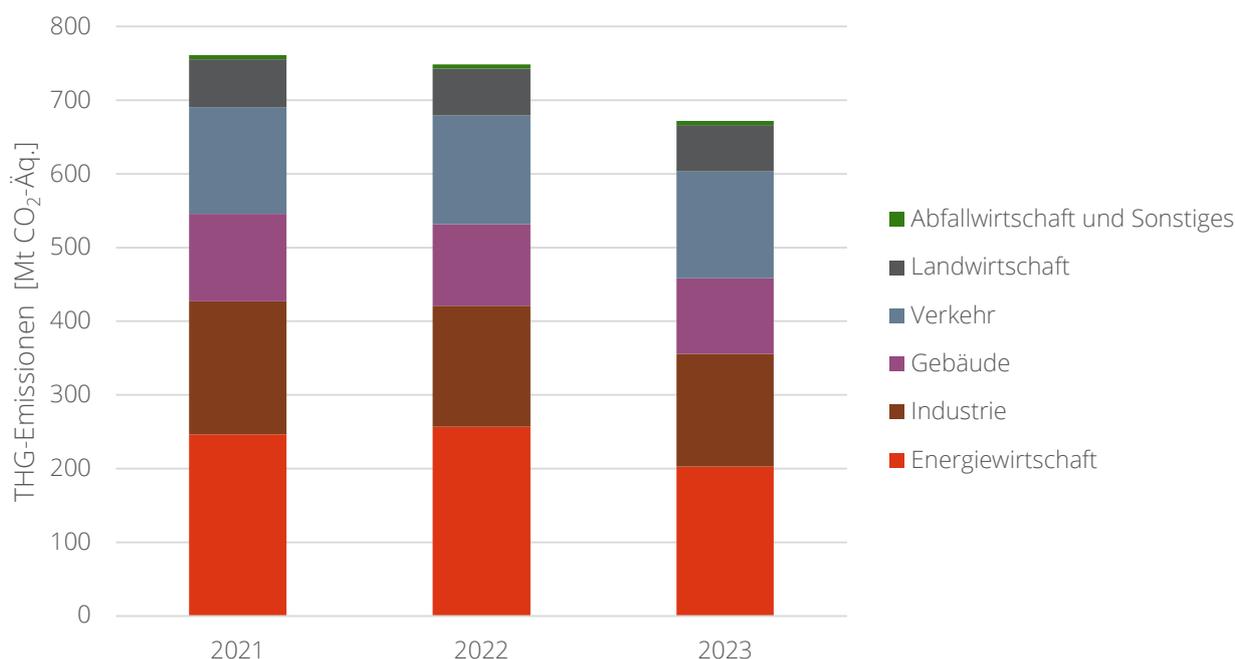
Abbildung 2: Sektorenübergreifende THG-Emissionen – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Darstellung der sektorenübergreifenden THG-Emissionen ohne Berücksichtigung des Sektors LULUCF. Die KSG-Ziele für die sektorenübergreifende Betrachtung entstammen der Anlage 2 KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind den kumulierten THG-Emissionen für den Zeitraum von 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2 (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2 KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsgesamtmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsrate angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021-2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektorenübergreifenden THG-Budget laut Anlage 2 KSG.

- 20 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich ausreichen würden, um das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2 KSG einzuhalten (UBA 2024d). Allerdings sind die bestehenden Maßnahmen laut Projektionsdaten 2024 voraussichtlich nicht hinreichend, um die Jahresemissionsgesamtmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2 KSG und damit das sektorenübergreifende -65 %-Ziel im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990 gemäß § 3 Abs. 1 KSG zu unterschreiten. Zudem kommt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten zu dem Schluss, dass die gesamten THG-Emissionen ohne Berücksichtigung des LULUCF-Sektors gemäß der Projektionsdaten 2024 wahrscheinlich unterschätzt werden.
- 21 Die Energiewirtschaft hatte mit 30 % den größten **Anteil an den THG-Emissionen** im Jahr 2023 (siehe Abbildung 3). Auf sie folgten die Sektoren Industrie (23 %), Verkehr (22 %) und Gebäude (15 %). Die Landwirtschaft emittierte 9 % der gesamten THG-Emissionen. Der kleinste Beitrag von 1 % entfiel auf den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges. Der Anteil der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen sank gegenüber dem Jahr 2021 um etwa 2 Prozentpunkte. Die Anteile von Industrie und Landwirtschaft sanken jeweils um ca. einen Prozentpunkt. Für die Sektoren Gebäude und Abfallwirtschaft und Sonstige blieben die Anteile hingegen unverändert. Beim Verkehr stieg der Anteil an den Gesamtemissionen gegenüber dem Jahr 2021 um etwa 3 Prozentpunkte an.

Abbildung 3: THG-Emissionen der KSG-Sektoren (ohne LULUCF) für die Jahre 2021, 2022 und 2023



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2025).

- 22 Im Zeitraum von 2014 bis 2023 hat der Sektor Energiewirtschaft den mit Abstand größten **Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen** geleistet, sowohl absolut als auch relativ (siehe Tabelle 1). Gefolgt wurde die Energiewirtschaft von den Sektoren Industrie, Verkehr und Gebäude. Die Sektorziele für das Jahr 2030 aus Anlage 2a KSG implizieren für die Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr jedoch deutlich höhere benötigte mittlere lineare Minderungsraten für den Zeitraum von 2024 bis 2030 im Vergleich

zum Zeitraum von 2014 bis 2023. Würden diese Ziele genau erreicht werden, würde der Anteil der Industrie an der Gesamtminderung um den Faktor 1,8, vom Gebäudesektor um den Faktor 4,3 und vom Verkehrssektor um den Faktor 3,3 gegenüber den vergangenen zehn Jahren angestiegen sein. Die Last der zusätzlichen Minderung würde sich also von der Energiewirtschaft weg und stärker zu den Verbrauchssektoren verschieben (siehe Tabelle 1).

- 23 Das novellierte Bundes-Klimaschutzgesetz in der Fassung vom 15.07.2024 sieht eine **Verrechnung bei einer sektoralen Über- oder Unterschreitung** der festgelegten Jahresemissionsmengen innerhalb der Sektoren vor. Tabelle 1 illustriert daher zum Vergleich auch die benötigte Zielerreichung, falls die Anteile der Sektoren an der Gesamtminderung im Zeitraum von 2024 bis 2030 unverändert zu 2014 bis 2023 blieben. Im Falle solcher Minderungsanteile würden alle Sektoren ihre Minderungsleistung gegenüber dem Zeitraum von 2014 bis 2023 erhöhen, auch der Sektor Energiewirtschaft.

Tabelle 1: Historische und durch das Bundes-Klimaschutzgesetz implizierte THG-Emissionen je Sektor

	Beobachtete mittlere Minderungsrate 2014–2023		Implizierte mittlere Minderungsrate durch die 2030-Ziele aus Anlage 2 und Anlage 2a KSG (ausgehend vom 2024-Wert des 10-Jahres-Trends) 2024–2030		Implizierte mittlere Minderungsrate, falls beobachtete Anteile beibehalten würden (ausgehend vom 2024-Wert des 10-Jahres-Trends) 2024–2030	
	Absolute Reduktion [Mt CO ₂ -Äq. pro Jahr]	Anteil an gesamter Reduktion [%]	Absolute Reduktion [Mt CO ₂ -Äq. pro Jahr]	Anteil an gesamter Reduktion [%]	Absolute Reduktion [Mt CO ₂ -Äq. pro Jahr]	Anteil an gesamter Reduktion [%]
Sektorenübergreifend (ohne LULUCF)	25,7	100	39,1*	100	39,1*	100
Energiewirtschaft	18,1	70	13,5	34	27,4	70
Industrie	2,7	10	7,4	19	4,0	10
Gebäude	1,3	5	8,3 (12.7)	21	1,9	5
Verkehr	2,0	8	10,0 (12.7)	25	3,0	8
Landwirtschaft	1,0	4	1	3	1,5	4
Abfallwirtschaft & Sonstiges	0,4	2	0,1	0	0,6	2

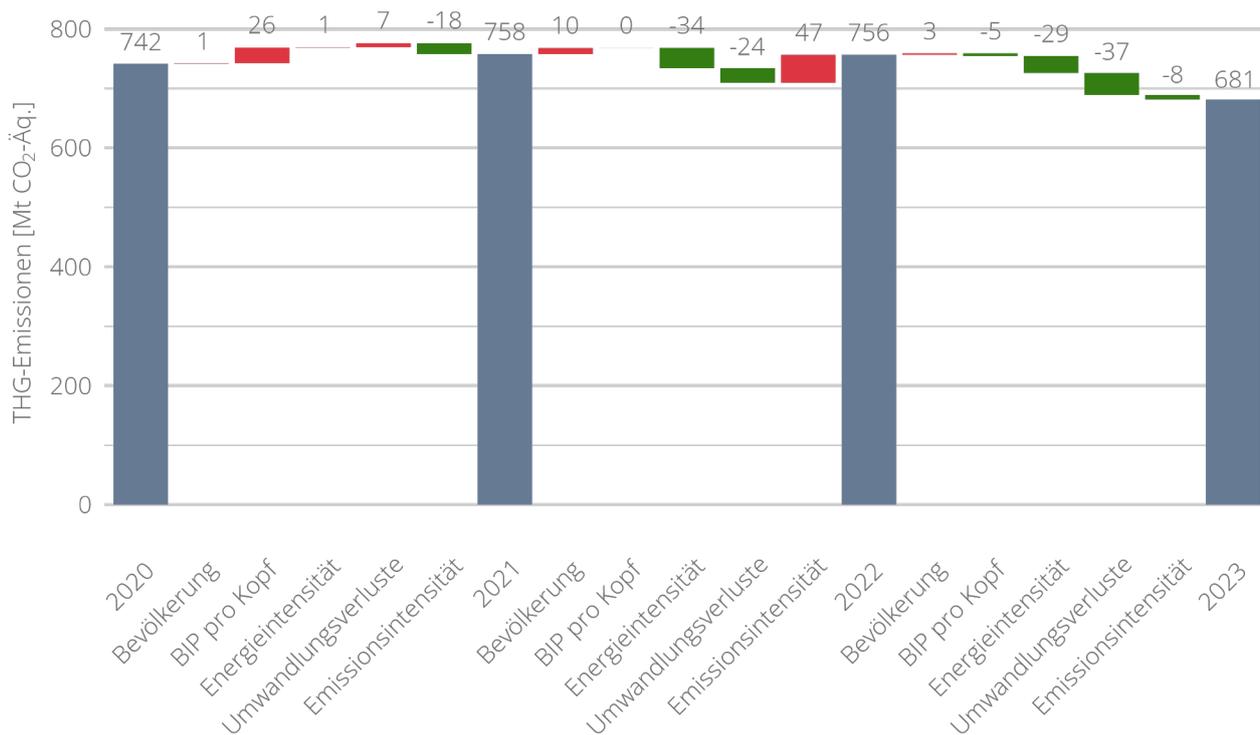
Eigene Berechnung basierend auf UBA (2025) und ERK (2024b). Die implizierten mittleren Minderungsraten wurden auf Basis des 2030-Ziels aus Anlage 2 (sektorenübergreifend) resp. Anlage 2a KSG (sektoral) und dem 2024-Wert des 10-Jahres-Trends 2014–2023 berechnet. Dabei ist zu beachten, dass die sektoralen 2030-Ziele aus Anlage 2a KSG indikativen Charakter haben, während das sektorenübergreifende 2030-Ziel aus Anlage 2 KSG bindend ist gemäß § 3 Abs. 1 KSG. Abweichungen zwischen den sektoralen und sektorenübergreifenden Reduktionen sind auf die Temperaturbereinigung im Gebäudesektor zurückzuführen.

*Wert aus KSG-Anlage 2 KSG.

Die Werte in Klammern zeigen die implizierte mittlere Minderungsrate für die Einhaltung des sektoralen THG-Budgets, das sich aus der Anlage 2a KSG ergibt (Summe der Jahresemissionsmengen über den Zeitraum von 2021–2030; für Energiewirtschaft lineare Minderung angenommen). Bei den übrigen Sektoren reicht die angeführte Minderungsrate zur Einhaltung des 2030-Ziels bereits aus, um auch das THG-Budget einzuhalten. Im Gebäude- und Verkehrssektor hingegen wird eine stärkere Minderung benötigt (jeweils 12,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), um beide Ziele zu erreichen. Siehe hierzu die Ausführungen und zugehörigen Abbildungen in den nachfolgenden Sektoren-Kapiteln.

- 24 Eine **ex-post Dekompositionsanalyse** ordnet die jährliche Veränderung der THG-Emissionen über den Zeitraum von 2020 bis 2023 fünf Faktoren rechnerisch zu (siehe Abbildung 4). Die hier berücksichtigten Faktoren sind Bevölkerungsentwicklung, Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf, Energieintensität, Umwandlungsverluste und Emissionsintensität.¹³ Eine Beschreibung der Methodik findet sich im Anhang A.1.1.

Abbildung 4: Dekomposition der sektorenübergreifenden THG-Emissionen ohne LULUCF – jährliche Veränderung seit dem Jahr 2020



Eigene Darstellung. Faktoren: Bevölkerung (Bevölkerungszahl), BIP pro Kopf (Bruttoinlandsprodukt pro Kopf), Energieintensität (Endenergieverbrauch (EEV) pro BIP), Umwandlungsverluste (Primärenergieverbrauch (PEV) pro EEV), Emissionsintensität (THG-Emissionen pro PEV). Um etwaige Witterungseffekte im Gebäudesektor zu berücksichtigen, wurden die Daten zu den THG-Emissionen auf Basis von gewichteten Gradtagszahlen bereinigt. Weitere Details zu den verwendeten Daten sowie der Methodik finden sich im Anhang (Kapitel A.1). Dort sind auch in Tabelle A 2 die Entwicklung der zugrundeliegenden Faktoren dieser Dekompositionsanalyse dargelegt.

- 25 Die **Bevölkerungszahl** ist in dem Zeitraum jährlich leicht gestiegen und wird deshalb mit geringen emissionssteigernden Beiträgen verknüpft. Das BIP pro Kopf stagnierte im Jahr 2022 und sank im Jahr 2023. Grund dafür ist vor allem ein Rückgang der Produktion und Wertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe (SVR Wirtschaft 2024b). Den Faktoren **Energieintensität** und **Umwandlungsverluste** werden

¹³ Die Faktoren sind wie folgt definiert: Bevölkerung (Bevölkerungszahl), BIP pro Kopf (Bruttoinlandsprodukt pro Kopf), Energieintensität (Endenergieverbrauch (EEV) pro BIP), Umwandlungsverluste (Primärenergieverbrauch (PEV) pro EEV), Emissionsintensität (THG-Emissionen pro PEV).

über den Zeitraum von 2021 bis 2023 rechnerisch die größten emissionsmindernden Beiträge zugeordnet. Diese Entwicklung begründet sich bei der Energieintensität vor allem durch einen Produktionsrückgang der energieintensiven Industrie (siehe Kapitel 2.3). Bei den Umwandlungsverlusten ergibt sich diese Entwicklung zum einen durch eine Verschiebung im Energiemix von Energieträgern mit niedrigem Wirkungsgrad zu Energieträgern mit höherem Wirkungsgrad und zum anderen aus gestiegenen Stromimporten (siehe Kapitel 2.2).¹⁴ Die Energiekrise führte im Jahr 2022 zu einem Energieträgerwechsel von Gas zu Kohle bei der Stromerzeugung, was die **Emissionsintensität** steigen ließ (siehe Abbildung A 2). Über einen längeren Zeitraum betrachtet verzeichnet die Emissionsintensität jedoch einen sinkenden Trend, der auf eine Verschiebung im Energiemix weg von Kohle hin zu Erdgas und erneuerbaren Energieträgern zurückzuführen ist. Eine detailliertere Beschreibung der sektorenübergreifenden Dekomposition des Zeitraums von 2019 bis 2023 wird in ERK (2024b) gegeben. Eine Analyse der Entwicklungen vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

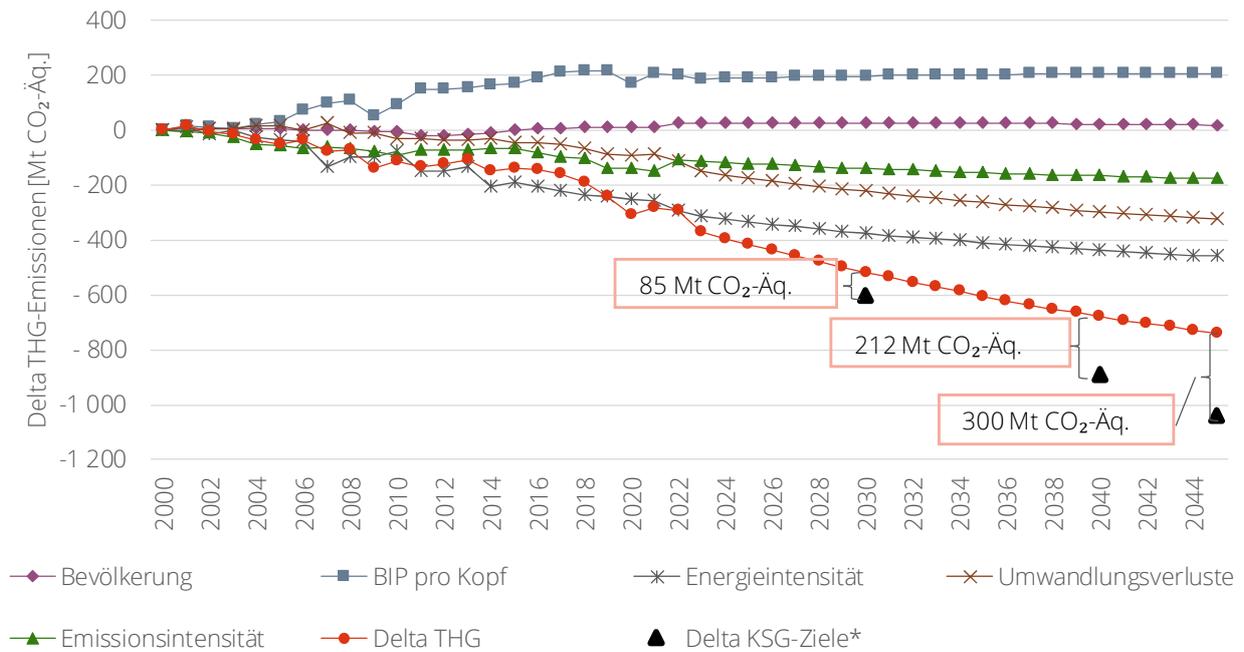
- 26 Die strukturelle Verschiebung hin zu emissionsärmeren Energieträgern wird besonders in der Entwicklung des **Primärenergieverbrauchs** (PEV) deutlich (siehe Abbildung A 28). Insgesamt sinkt der Primärenergieverbrauch seit dem Jahr 2021 stark. Grund dafür ist ein geringerer Einsatz von fossilen Energieträgern. Zusätzlich ist dies auf eine schwache wirtschaftliche Lage im Zuge der Covid-19-Pandemie und gestiegene Energiepreise zurückzuführen, dies trifft insbesondere auf die energieintensive Industrie zu. Darüber hinaus wirkten die Verbesserung in der Energieeffizienz und eine Erhöhung des Brennstoffnutzungsgrades bei fossilen Kraftwerken (siehe ERK 2022c) senkend auf den Primärenergieverbrauch. Der Anteil von Kernenergie nahm seit dem Jahr 2021 weiter ab und verschwand mit dem im Jahr 2023 vollzogenen Ausstieg aus der Kernkraft vollends. Demgegenüber nahm der Anteil erneuerbarer Energieträger von 15,7 % im Jahr 2021 auf 19,4 % im Jahr 2023 und 20 % im Jahr 2024 weiter zu (siehe Kapitel 2.2). Der Primärenergieverbrauch ist im Vergleich zum Jahr 2008 bis zum Jahr 2024 um ca. 27,1 % gesunken. Das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) sieht bis zum Jahr 2030 eine Reduktion von 39,3 % im Vergleich zum Jahr 2008 als gesetzliches Ziel vor.¹⁵
- 27 Anders als beim Primärenergieverbrauch ist beim **Endenergieverbrauch** (EEV) die strukturelle Verschiebung hin zu emissionsärmeren Energieträgern kaum festzustellen (siehe Abbildung A 29). Allgemein ist in den Jahren ab 2021 ein leichtes Absinken des Endenergieverbrauchs zu verzeichnen. Auffällig ist der Rückgang in der Nutzung von Erdgas und Strom in den Jahren 2022 und 2023 aufgrund der Energiekrise. Alle weiteren Energieträger verbleiben in den Jahren seit 2021 auf einem gleichbleibenden Niveau. Das EnEfG fordert eine Senkung des Endenergieverbrauchs um 26,5 % bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 2008. Im Jahr 2023 liegt der Endenergieverbrauch mit einer

¹⁴ Der Wirkungsgrad von Braunkohle lag im Jahr 2022 im Durchschnitt bei 40,2 %, der Wirkungsgrad von Steinkohle bei 43,5 % und der Wirkungsgrad von Erdgas bei 49,2 % (UBA 2022b). Die Wirkungsgrade für Strom aus Kernenergie (33 %), Geothermie (10 %) sowie für Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft (erneuerbare Energieträger: 100 %) und Stromimporte (100 %) werden festgesetzt (UBA 2022c). Dadurch sinken bei einem höheren Anteil von erneuerbaren Energieträgern und Stromimporten am Energiemix die Umwandlungsverluste.

¹⁵ Die Datengrundlage der Einsparziele des Primär- und des Endenergieverbrauchs im EnEfG unterscheiden sich geringfügig von den historischen Daten des Primär- und des Endenergieverbrauchs von AGEB (2024a) und AGEB (2024c). Für den Primärenergieverbrauch wird der nicht-energetische Verbrauch und die Umweltwärme im EnEfG im Gegensatz zu AGEB (2024a) und AGEB (2024c) nicht berücksichtigt.

Reduktion von ca. 12,5 % im Vergleich zum Jahr 2008 bereits in dem durch die „Big 5“-Szenarien¹⁶ aufgespannten Bereich für das Jahr 2025 (siehe Abbildung A 29 und RZ 306).¹⁷

Abbildung 5: Ex-post und ex-ante Dekomposition der sektorenübergreifenden THG-Emissionen unter der Annahme einer exponentiellen Trendfortschreibung – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2025), AGEb (2024a), Destatis (2024i) und Destatis (2024e). Faktoren: Bevölkerung (Anzahl der Einwohner*innen), BIP pro Kopf (Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf), Energieintensität (Endenergieverbrauch (EEV) pro BIP), Umwandlungsverluste (Primärenergieverbrauch (PEV) pro EEV), Emissionsintensität (THG-Emissionen pro PEV). Die Faktoren BIP pro Kopf, Energieintensität, Umwandlungsverluste und Emissionsintensität werden ab dem Jahr 2023 exponentiell fortgeschrieben (Wachstumsrate der Jahre 2014 bis 2023).

* Delta KSG-Ziele beschreibt die Differenz zwischen dem THG-Emissionswert des Jahres 2000 und den absoluten THG-Emissionswerten für die Jahre 2030, 2040 und 2045, die sich aus den Klimaschutzzielen gemäß § 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes ergeben.

28 Eine **ex-ante Dekomposition** zeigt, dass bei einer Trendfortschreibung der Faktoren der ex-post Dekomposition aus dem Zeitraum von 2014 bis 2023, die Klimaschutzzielen gemäß § 3 des Bundes-

¹⁶ Die „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien zeigen normative Zielszenarien auf, die mögliche Transformationspfade hin zu Klimaneutralität im Jahr 2045 beschreiben. Hierbei werden Energiesystemmodelle genutzt, deren Ziel meist ein kostenminimales Gesamtsystem unter Einhaltung von CO₂-Zielwerten oder eines CO₂-Budgets ist.

¹⁷ Die Datengrundlage der Einsparziele des Primär- und des Endenergieverbrauchs im EnEfG unterscheiden sich geringfügig von den historischen Daten des Primär- und des Endenergieverbrauchs von AGEb (2024a) und AGEb (2024c). Für den Endenergieverbrauch wird die Umweltwärme im EnEfG im Gegensatz zu AGEb (2024a) nicht berücksichtigt.

Klimaschutzgesetzes¹⁸ in den Jahren 2030, 2040 und 2045 überschritten würden (siehe Abbildung 5).¹⁹ Die Überschreitungen würden 85 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2030, 212 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2040 und 300 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2045 betragen. Auffällig ist, dass diese Zielverfehlung einträte, obwohl das BIP pro Kopf in relativ geringer Höhe fortgeschrieben wird (0,6 % Wachstum pro Jahr), sich also in der Projektion dauerhaft ein geringes Wachstum einstellen würde.

- 29 Das **EnEFG** hat nach § 1 den Zweck „die Energieeffizienz zu steigern und dadurch zur Reduzierung des Primär- und Endenergieverbrauchs [...]“ beizutragen. In diesem Rahmen legt es unter anderem Ziele zum Endenergieverbrauch fest. Der Endenergieverbrauch soll demnach von 2 268 TWh im Jahr 2023 bis zum Jahr 2030 auf 1 867 TWh und bis zum Jahr 2045 auf 1 397 TWh, oder im Schnitt um 2,2 % pro Jahr, sinken.²⁰ Die Endenergieproduktivität (EEP)²¹ soll sich für die Jahre 2008 bis 2050 im Mittel um 2,1 % pro Jahr erhöhen.²² Damit diese beiden Zielvorgaben zusammenpassen, müsste somit das BIP annähernd stagnieren (siehe Tabelle 2; siehe auch Kübler (2024)).²³ Das BIP pro Kopf müsste ebenfalls stagnieren, wenn man das Bevölkerungswachstum aus Harthan et al. (2024) annimmt, und läge damit unter dem Trend der letzten 10 Jahre (0,6 % Wachstum im Zeitraum 2014–2023, siehe RZ 28).²⁴
- 30 Es ist davon auszugehen, dass bei einem **stagnierenden BIP** die vielfältigen Herausforderungen für die deutsche Gesellschaft schwieriger zu bewältigen wären als mit wachsendem BIP. Deshalb wird es vermutlich Ziel politischer Bemühungen sein, auch zukünftig ein BIP-Wachstum zu erreichen. Würde man insofern beispielsweise ein **schwaches BIP-Wachstum** in Höhe des 10-Jahres-Trends 2014 bis 2023 (1 %) auf Dauer unterstellen, müsste die Energieproduktivität im Zeitraum von 2024 bis 2045 in jedem Jahr um 3,2 % steigen (statt um 2,1 %), wenn weiterhin die genannten Ziele für den Endenergieverbrauch gelten sollen (Tabelle 2). Ein solcher Wert läge deutlich höher als über längere Zeiträume in der Vergangenheit. Zwar wurde im Jahr 2023 eine einmalige Erhöhung der Endenergieproduktivität um 4 % realisiert; jedoch ging diese starke Veränderung vor allem auf Produktionsrückgänge in der energieintensiven Industrie zurück (siehe auch ERK 2024b, Tabelle 9).

¹⁸ Die Klimaschutzziele gemäß § 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes besagen, dass die THG-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 % und bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 % gemindert werden müssen. Bis zum Jahr 2045 müssen die THG-Emissionen so weit gemindert, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird.

¹⁹ Für die ex-ante Dekomposition wurde jeweils die durchschnittliche prozentuale Wachstumsrate der Faktoren Wirtschaftsentwicklung, Energieintensität, Umwandlungsverluste und Emissionsintensität zwischen den Jahren 2014 und 2023 berechnet. Mit dieser Wachstumsrate wurden die Faktoren jeweils bis zum Jahr 2045 fortgeschrieben (siehe RZ 24 für eine Definition der Faktoren). Die Bevölkerungsdaten sind aus Harthan et al. (2024) entnommen. Die projizierten THG-Emissionen ergeben sich als Produkt der fortgeschriebenen Faktoren.

²⁰ Die Datengrundlage der Einsparziele des Primär- und des Endenergieverbrauchs im EnEFG unterscheiden sich geringfügig von den historischen Daten des Primär- und des Endenergieverbrauchs von AGEB (2024a). Für den Endenergieverbrauch wird die Umweltwärme im EnEFG im Gegensatz zu AGEB (2024a) nicht berücksichtigt.

²¹ $EEP = BIP/EEV$

²² Das Ziel zur Endenergieproduktivität setzte die Bundesregierung in BMWi und BMU (2010). Demnach soll sich die Endenergieproduktivität ab dem Jahr 2008 bis zum Jahr 2050 um 2,1 % pro Jahr steigern. Dieses Ziel wurde bis zum Jahr 2023 nicht erreicht. In BMWK (2023b) wurde das Ziel noch einmal bestätigt.

²³ $BIP = EEP * EEV$

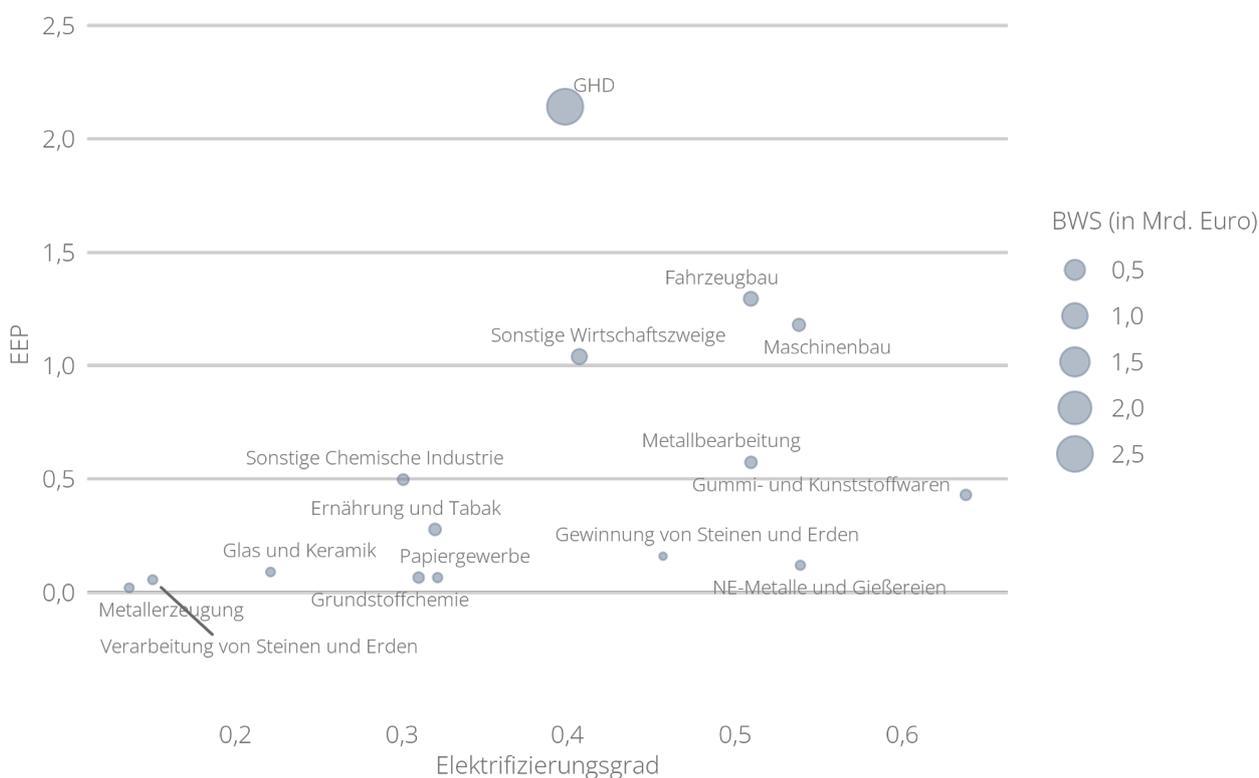
²⁴ Das mittlere Wachstum der letzten fünf Jahre (2019–2023) war dagegen mit -0,3 % leicht rückläufig.

Tabelle 2: Jährliche Wachstumsraten von BIP, Endenergieverbrauch und Endenergieproduktivität

	BIP	EEV	EEP
	Wachstumsrate [% pro Jahr]		
Zeitraum 2010–2019	1,7	-0,3	2,1
Zeitraum 2014–2023	1	-0,8	1,8
Zeitraum 2022–2023	-0,3	-4,2	4
Zeitraum 2024–2045	(i) Wachstum EEP 2,1 % pro Jahr	-0,1	2,1
	(ii) Wachstum BIP 1 % pro Jahr	1	3,2

Eigene Darstellung auf Basis von AGEb (2024a) und Destatis (2024i). Für den Zeitraum 2024–2045 wird zum einen (i) die EEP und der EEV entsprechend den politischen Zielen festgelegt. Daraus wird das BIP als $BIP = EEP \cdot EEV$ berechnet. Zum anderen wird (ii) der EEV weiterhin entsprechend den politischen Zielen festgelegt, aber ein Wachstum des BIP in Höhe von 1 % pro Jahr angenommen. Daraus wird die EEP als $EEP = BIP / EEV$ berechnet. Das BIP sank im Jahr 2024 um -0,2 % im Vergleich zum Vorjahr nach ersten Berechnungen von Destatis (2025a). Die Wachstumsraten des BIPs für den Zeitraum 2014–2024 und für den Zeitraum 2022–2024 sind 0,9 % pro Jahr und -0,3 % pro Jahr.

Abbildung 6: Endenergieproduktivität, Elektrifizierungsgrad und Bruttowertschöpfung der Industriebranchen und von GHD im Jahr 2022



Die EEP wird berechnet als $EEP = BWS \text{ (Mrd. Euro)} / EEV \text{ (1000 Tj)}$. Der Elektrifizierungsgrad entspricht dem Anteil von Strom am EEV. Die Größe der Kreise entspricht der BWS (in Mrd. Euro). Die Daten zum EEV entstammen AGEb (2024b). Die BWS für die Industriebranchen wurde aus Destatis (2024g) entnommen. Die BWS für GHD wurde aus UBA (2024i) entnommen.

- 31 Die **gleichzeitige Verfolgung von Zielen** zur Senkung des Endenergieverbrauchs auf der einen Seite und der Steigerung des BIP auf der anderen Seite wird also durch strukturellen Wandel weg von energieintensiven zu Wirtschaftszweigen mit höherer Energieproduktivität unterstützt. Eine Übersicht findet sich in Abbildung 6, welche auch andeutet, dass eine reine Elektrifizierungsstrategie innerhalb der bestehenden Industriestrukturen vermutlich nicht ausreichen dürfte, um dauerhafte Veränderungen der Energieproduktivität in der genannten Größenordnung zu realisieren. Aus diesen Betrachtungen ergeben sich nach Ansicht des Expertenrats sehr grundsätzliche Fragen an die langfristige Strategie der Bundesregierung zur wirtschaftsstrukturellen Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland unter den Bedingungen eines Pfads zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 (siehe vertiefend hierzu Kapitel 5).

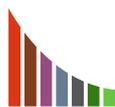
2.2 Energiewirtschaft

- 32 Im Sektor Energiewirtschaft sind die **THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gesunken. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor 246,4 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 202,6 Mt CO₂-Äq. (siehe Abbildung 7). Dies entspricht einem Rückgang im Zweijahreszeitraum von 43,8 Mt CO₂-Äq. oder 17,8 %, wobei der Großteil der Minderung im Jahr 2023 erfolgt ist. Der Sektor Energiewirtschaft hat seine zulässige Jahresemissionsmenge (siehe ERK 2024b, Kapitel 5.2) in den Jahren 2022 und 2023 eingehalten.²⁵
- 33 Abbildung 7 (Feld A) zeigt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 **mit dem 2030-Ziel für den Sektor Energiewirtschaft** gemäß Anlage 2a KSG²⁶. Es zeigt sich eine Beschleunigung der Reduktion der THG-Emissionen. In den Jahren 2010 bis 2019 lag der Trend bei -11 Mt CO₂-Äq. pro Jahr, in den Jahren 2014 bis 2023 bei -18,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr.²⁷ Die Trendfortschreibung der Jahre 2014 bis 2023 würde im Jahr 2030 zu niedrigeren THG-Emissionen führen als die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG (Beitrag des Sektors Energiewirtschaft zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030), eine Fortschreibung des Trends der Jahre 2010 bis 2019 würde zu einer Überschreitung führen. Um dieses 2030-Ziel zu erreichen, wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine 0,7-fach so hohe Minderungsrate von 13,8 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig.
- 34 Abbildung 7 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** des Sektors Energiewirtschaft im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG dar. Das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 für den Sektor Energiewirtschaft beträgt 1 911 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-18,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 1 648 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030

²⁵ Da für den Sektor Energiewirtschaft in Anlage 2a KSG nur für die Jahre 2020, 2022 und 2030 Jahresemissionsmengen definiert sind, wurde eine lineare Interpolation zwischen den Zielwerten vorgenommen, um implizite Emissionsgrenzen für die fehlenden Jahre zu berechnen. Diese Werte entsprechen den Werten, die mittels einer Differenzrechnung von den Jahresemissionsgesamtmengen aus Anlage 2 KSG zu den über alle restlichen Sektoren aggregierten Werten aus Anlage 2a KSG berechnet werden können.

²⁶ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

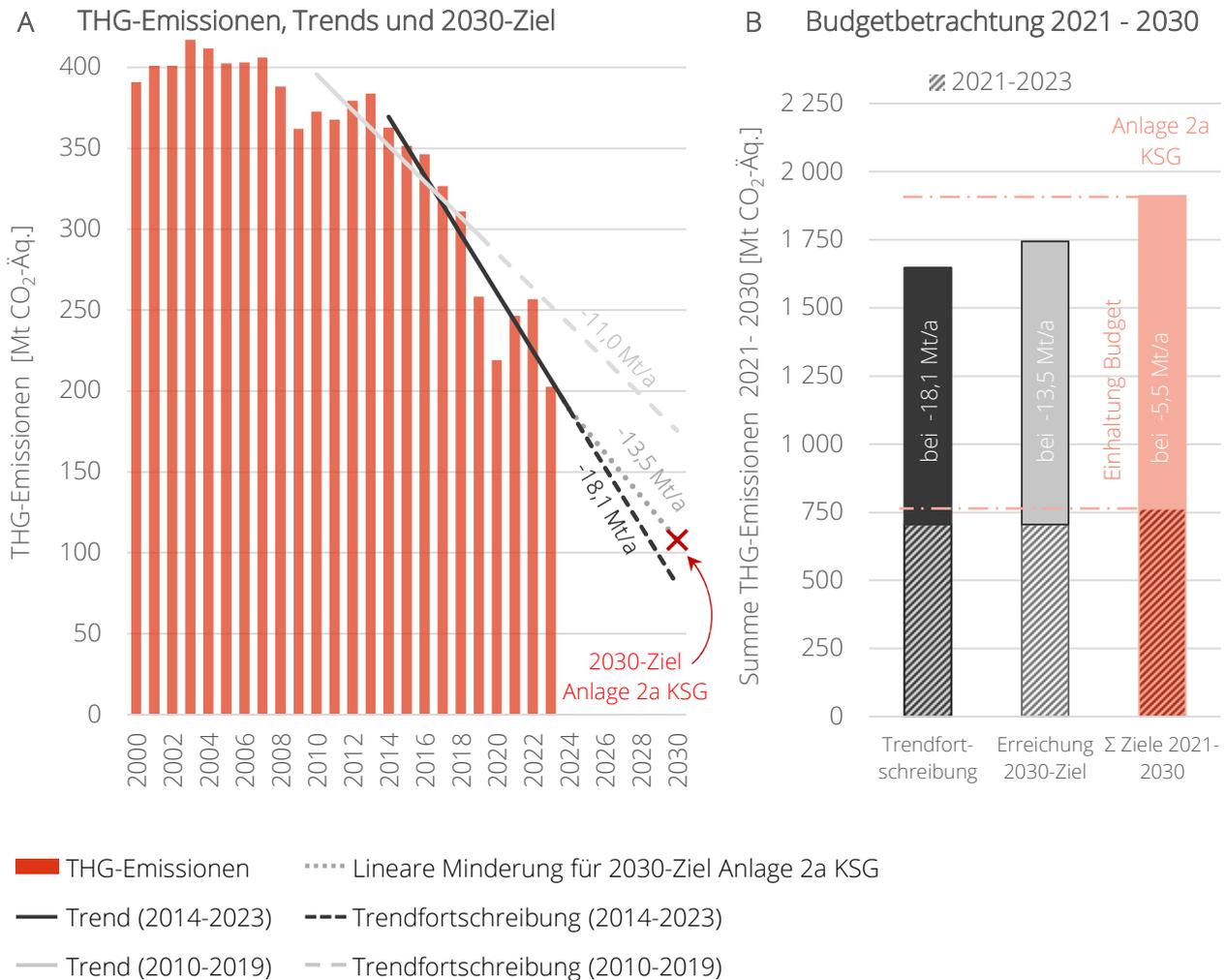
²⁷ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft mit 2 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass die THG-Emissionen im Jahr 2024 ebenfalls auf dem 10-Jahres-Trend lagen. Laut einer ersten Schätzung lagen die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft im Jahr 2024 bei 183 Mt CO₂-Äq. (Agora Energiewende 2025) und somit mit 3 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend (189 Mt CO₂-Äq.).



resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 unterschritten. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre ab dem Jahr 2024 eine jährliche Minderungsrate von 5,5 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig (1 911 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Diese Minderung würde jedoch nicht ausreichen, um auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 zu erreichen oder zu unterschreiten. Mit der für das 2030-Ziel kompatiblen Minderungsrate von 13,5 Mt CO₂-Äq. pro Jahr hingegen könnte auch das THG-Budget im Zeitraum von 2021 bis 2030 eingehalten werden (1 744 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).

- 35 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen für den Sektor Energiewirtschaft in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich ausreichen würden, um einerseits das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG einzuhalten und andererseits die Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG zu unterschreiten, als Beitrag des Sektors Energiewirtschaft zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030. Allerdings kommt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten zu dem Schluss, dass die THG-Emissionen gemäß der Projektionsdaten 2024 für den Sektor Energiewirtschaft wahrscheinlich unterschätzt werden.
- 36 Im Jahr 2022 sind die THG-Emissionen gegenüber dem Vorjahr leicht gestiegen, wohingegen es im Jahr 2023 einen starken Rückgang der THG-Emissionen gegenüber dem Vorjahr gegeben hat. Der Rückgang der THG-Emissionen basiert sowohl auf einer **Veränderung des Kapitalstocks** (dynamische Veränderung) als auch auf einem Rückgang der **Aktivitäten** (statische Veränderung) (siehe RZ 16). Die Veränderung des Kapitalstocks zeigt sich sowohl im fossilen als auch im nicht-fossilen Kapitalstock: Zum einen ist ein leichter Abbau von fossilen Kraftwerken erkennbar, zum anderen ein Zubau von Kapazitäten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern. Die Aktivitäten sind durch die Stromerzeugung definiert.
- 37 Der temporäre Anstieg der THG-Emissionen in den Jahren 2021 und 2022 ist vor allem auf zwei Entwicklungen zurückzuführen. Zum einen sind in Folge der Energiekrise die **Gaspreise** stark angestiegen. Aufgrund der hohen Gaspreise kamen vermehrt günstigere, aber auch emissionsintensivere Kohlekraftwerke zum Einsatz. Zum anderen ist der Stromexport von Deutschland in das europäische Ausland insbesondere in Folge eines Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernkraftwerken in Frankreich und einer sinkenden Stromerzeugung aus Wasserkraft in Europa stark gestiegen (siehe ERK 2023b).
- 38 Die Ursachen des starken Rückganges der THG-Emissionen im Jahr 2023 liegen vor allem in der deutlich gesunkenen Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle (siehe Abbildung 8). Dieser Rückgang wurde durch die sinkenden Gaspreise unterstützt, die dazu führten, dass wieder verstärkt Gaskraftwerke anstelle von Kohlekraftwerken eingesetzt wurden. Die **Stromerzeugung**, und somit die Aktivität, ergibt sich aus der Stromnachfrage gemessen am **Stromverbrauch** sowie den Stromimporten und -exporten. Der Stromverbrauch sank im Jahr 2023 deutlich und blieb im Jahr 2024 auf etwa gleichem Niveau. Insbesondere in der energieintensiven Industrie führte im Jahr 2023 eine Kombination aus hohen Strompreisen sowie konjunkturell und strukturell bedingten Produktionsrückgängen (SVR Wirtschaft 2024b) zu einem geringeren Stromverbrauch (siehe RZ 53). Auch bei Haushalten, sowie bei Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) ging der Stromverbrauch zurück, was ebenfalls auf die hohen Strompreise zurückgeführt werden kann (siehe ERK 2024b). Insgesamt zeigt sich, dass die THG-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom in den letzten Jahren deutlich abgenommen haben (siehe Abbildung A 39).

Abbildung 7: THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Die KSG-Ziele für den Sektor Energiewirtschaft entstammen der Anlage 2a KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2a (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2a KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsrate angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021-2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektoralen THG-Budget laut Anlage 2a KSG.

39 Neben den inländischen Entwicklungen sind auch die Entwicklungen auf dem europäischen Strommarkt, insbesondere der **EU-ETS 1-Preis** zu berücksichtigen. Im Sektor Energiewirtschaft wird ein Großteil der THG-Emissionen im EU-ETS 1 erfasst: Im Jahr 2023 betrug der Anteil der ETS-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen in der Energiewirtschaft 83 % (UBA 2025). Die EU-ETS 1-Preise lagen

in den Jahren 2022 und 2023 im Durchschnitt auf ähnlicher Höhe mit 80,8 Euro pro Tonne CO₂ und 83,5 Euro pro Tonne CO₂. Im Jahr 2024 ist der Preis von Januar bis Oktober auf 64,9 Euro pro Tonne CO₂ im Durchschnitt gesunken (International Carbon Action Partnership (ICAP) 2023). Der EU-ETS 1-Preis hat einen größeren Einfluss auf die Grenzkosten von Kohle- im Vergleich zu Gaskraftwerken, begründet in der höheren Emissionsintensität von Kohlekraftwerken. Die Einsatzreihenfolge (Merit-Order) fossiler Kraftwerke scheint im betrachteten Zeitraum jedoch von anderen Effekten getrieben worden zu sein: Trotz eines zunächst gleichbleibenden und anschließend stark gesunkenen EU-ETS 1 Preises ist der Anteil der Stromerzeugung in den Jahren 2022–2024 aus Kohlekraftwerken gesunken und der aus Gaskraftwerken gestiegen. Mögliche Gründe hierfür sind beispielsweise Brennstoffpreiseffekte (RZ 37) und der Rückgang der am Markt aktiven Kohlekraftwerke (RZ 42).

- 40 Infokasten 2 stellt eine ex-post Analyse von **Sensitivitäten des EU-ETS 1-Preises** für das Jahr 2023 dar. Hierdurch wird verdeutlicht, wie stark der EU-ETS 1-Preis die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft beeinflusst.

Infokasten 2: Ex-post Analyse von EU-ETS 1-Preissensitivitäten

Die Brennstoffpreise und der EU-ETS 1-Preis beeinflussen die Einsatzreihenfolge der stromproduzierenden Kraftwerke, die sogenannte Merit-Order. Der EU-ETS 1 hat das Ziel, die THG-Emissionen durch einen CO₂-Preis zu senken. Der CO₂-Preis verteuert den Betrieb fossiler Kraftwerke und wirkt stärker auf Kohle als auf Erdgas, da der höhere Wirkungsgrad von Erdgas weniger THG-Emissionen pro Kilowattstunde (kWh) verursacht.

Im Jahr 2022 waren Kohlekraftwerke aufgrund niedrigerer Grenzkosten gegenüber Gaskraftwerken häufiger im Einsatz. Im Jahr 2023 rückten die Grenzkosten von Kohle- und Gasverstromung wieder deutlich näher aneinander. Die gestiegene Stromerzeugung der französischen Kernkraftwerke sorgte zu dem für eine teils kostengünstige Import-Alternative. Damit wandelte sich Deutschland im Jahr 2023 vom Netto-Exporteur zum Netto-Importeur und die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft sanken deutlich.

Um die Auswirkungen der EU-ETS 1-Preise auf den Kraftwerkseinsatz (Dispatch) und damit die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft aufzuzeigen, werden für das Jahr 2023 drei Preissensitivitäten gerechnet.

Für das Jahr 2023 wurde ein durchschnittlicher EU-ETS 1-Preis von 84,6 Euro pro Tonne CO₂ angenommen.

- Preissensitivität 1: Es wurden 20 % des durchschnittlichen EU-ETS 1-Preises in dem Jahr 2023 auf die täglichen EU-ETS 1-Preise addiert. Der durchschnittliche EU-ETS 1 Preis beträgt dann 101,5 Euro pro Tonne CO₂.
- Preissensitivität 2: Es wurde die Hälfte des durchschnittlichen EU-ETS 1-Preises in dem Jahr 2023 auf die täglichen EU-ETS 1-Preise addiert. Der durchschnittliche EU-ETS 1 Preis liegt dann bei 126,9 Euro pro Tonne CO₂.
- Preissensitivität 3: Es wurden die täglichen EU-ETS 1-Preise aus dem Jahr 2023 verdoppelt. Für diese Preissensitivität beträgt der EU-ETS 1-Preis 169,20 Euro pro Tonne CO₂.

Die Modellierung geschieht mit dem EWI-Modell DIMENSION, einem europäischen Energiesystemmodell (Richter 2011). Für die Analyse bleiben abseits der EU-ETS 1- Preissensitivitäten alle anderen Parameter unberührt. Das Ausmaß des Fuel-Switchs ist im Dispatch auch von der

Nachfrage, Import und Export, Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern etc. abhängig. Für die Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass Wechselwirkungen zwischen dem EU-ETS 1-Preis und der Nachfrage-Elastizität, Stromimporten und -exporten sowie steigenden Stromkosten durch höhere EU-ETS 1-Preise nicht betrachtet werden. Diese beeinflussen ebenfalls die Höhe der THG-Emissionen. Die Preissensitivitäten simulieren einen Fuel-Switch: Das heißt, durch höhere CO₂-Kosten würde Gas als Brennstoff relativ günstiger, wodurch Kohle teilweise verdrängt und die THG-Emissionen gesenkt würden. Ein Anstieg der CO₂-Kosten könnte nicht nur den Fuel-Switch von Kohle zu Gas fördern, sondern auch höhere Importmengen begünstigen, wie es im Jahr 2023 zu beobachten war.

Die Modellergebnisse der drei Preissensitivitäten sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Preissensitivitäten zeigen, dass der angenommene Anstieg der EU-ETS 1-Preise die nationalen THG-Emissionen in Deutschland im Sektor Energiewirtschaft je nach Preissensitivität zwischen 9 % und 25 % senken würde. Unter der hier getroffenen Annahme einer unelastischen Stromnachfrage in Deutschland führt ein solcher Anstieg der EU-ETS 1-Preise auch zu einem erhöhten Netto-Import. Je nach Preissensitivität steigt der Netto-Import um 70 % bis 205 % gegenüber dem Jahr 2023. Somit entstehen die erwarteten Emissionseinsparungen im Inland nicht nur durch eine Verschiebung im Erzeugungsmix, sondern auch eine Verschiebung ins europäische Ausland. Bei einer elastischen Stromnachfrage würden die steigenden Grenzkosten der Stromproduktion durch die höheren EU-ETS 1-Preise zu einem Nachfragerückgang führen. Dies würde ebenfalls Emissionseinsparungen implizieren.

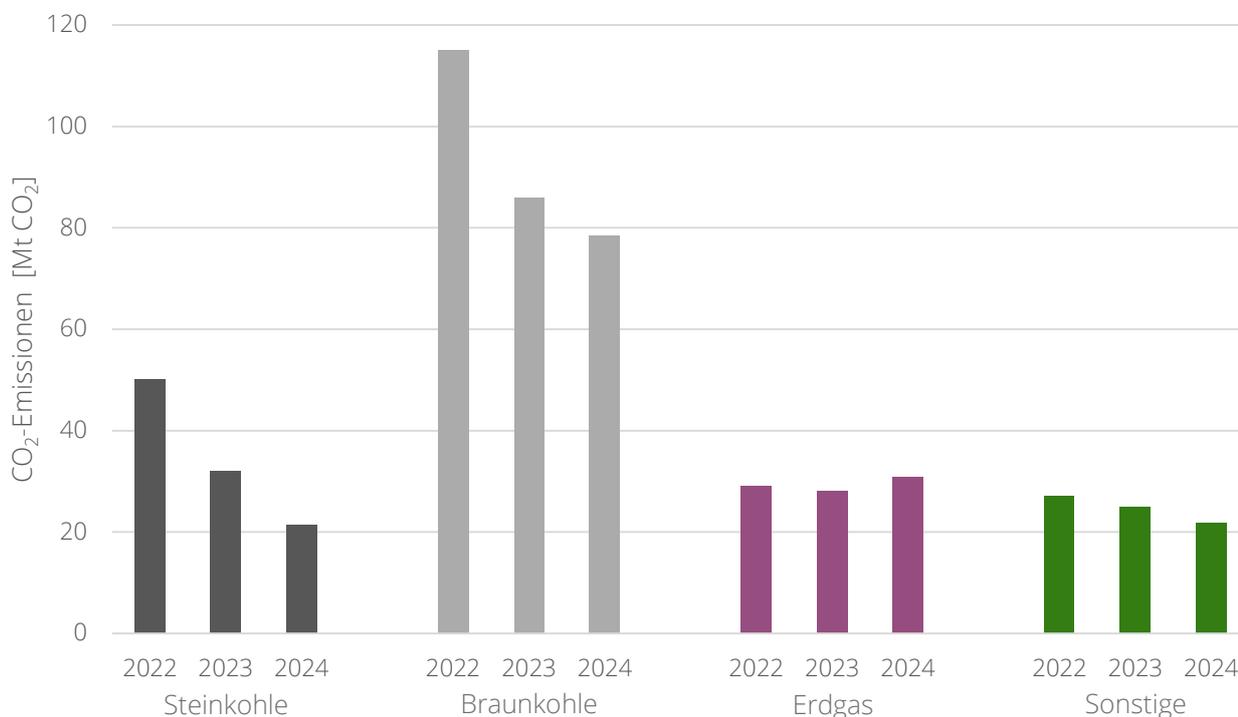
Tabelle 3: Modellergebnisse der ex-post Analyse von EU-ETS 1-Preissensitivitäten

Preissensitivität: Durchschnittlicher EU-ETS 1-Preis	Absolute Reduktion der THG-Emissionen in dem Sektor Energiewirtschaft für das Jahr 2023	Prozentuale Reduktion der THG-Emissionen in dem Sektor Energiewirtschaft für das Jahr 2023
Preissensitivität 1: 101,50 EUR/tCO ₂	16 Mt CO ₂ -Äq.	9 %
Preissensitivität 2: 126,90 EUR/tCO ₂	32 Mt CO ₂ Äq.	17 %
Preissensitivität 3: 169,20 EUR/tCO ₂	46 Mt CO ₂ Äq.	25 %

Eigene Darstellung.

- 41 Mit welchem Erzeugungsmix die Stromnachfrage bedient wird, hängt neben dem Kapitalstock (siehe RZ 16) auch von der Stromhandelsbilanz und der Witterung ab. Die **Stromimporte** nahmen im Jahr 2023 gegenüber dem Jahr 2022 zu, während die Exporte zurückgingen, sodass Deutschland im Jahr 2023 netto Strom importierte (siehe Abbildung A 25). Die Auswirkungen der zunehmenden Stromimporte auf die THG-Emissionen sind in ERK (2024b) beschrieben. Die Entwicklung hin zu einem Netto-Stromimporteure setzte sich im Jahr 2024 noch deutlicher fort. Die **Witterungsverhältnisse** hatten im Jahr 2023 unterschiedliche Auswirkungen auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern, wobei sich die Effekte insgesamt nahezu ausgeglichen haben (siehe ERK 2024b). Im Gegensatz dazu hatten diese im Jahr 2024 eine dämpfende Wirkung auf die Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie. Dies zeigte sich insbesondere durch unterdurchschnittliche Sonnenstunden im Vergleich zu den Vorjahren sowie relativ windschwache Herbstmonate (siehe BDEW 2024a).

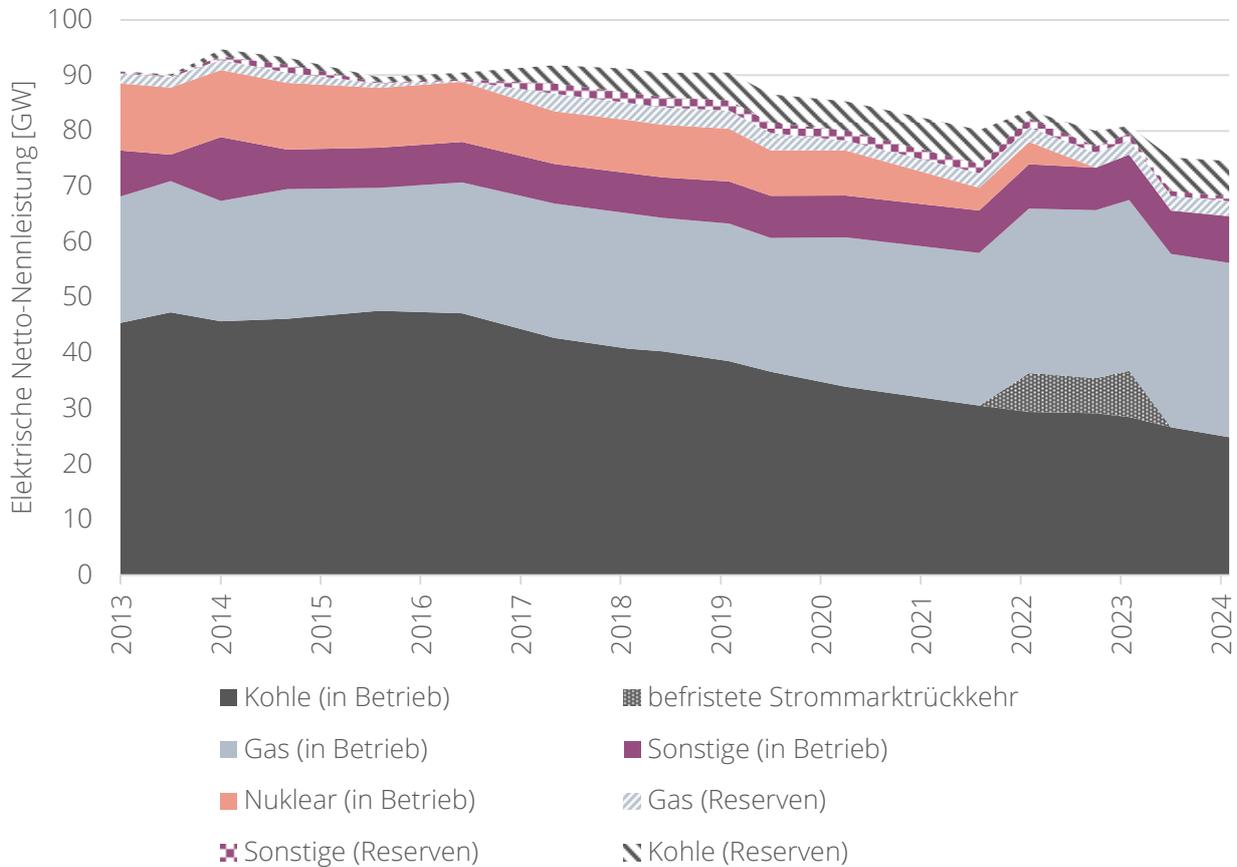
Abbildung 8: Veränderung der CO₂-Emissionen der Stromerzeugung nach Energieträgern in den Jahren 2022 bis 2024



Eigene Darstellung auf Basis von Agora Energiewende (2023).

42 Langfristig erfolgt die Reduktion der THG-Emissionen in der deutschen Energiewirtschaft durch den **verminderten Einsatz von fossilen Kraftwerken**. Im Zuge der Energiekrise im Jahr 2022 sind durch das Ersatzkraftwerkebereithaltungsgesetz (EKBG) zwischen Mai 2022 und November 2023 rund 7,9 GW Kohle- und Ölkraftwerkskapazitäten befristet an den Markt zurückgekehrt. Anschließend wurden diese Kapazitäten aus dem Markt genommen (siehe Abbildung 9). Die installierte Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken ist zwischen den Jahren 2022 und 2024 um rund 7,7 GW gesunken (siehe Abbildung A 30). Um das im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) vorgegebene Ziel für die installierte Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerke im Jahr 2030 zu erreichen, ist ein jährlicher Rückgang von 2,4 GW erforderlich. In den letzten drei Jahren lag der durchschnittliche jährliche Rückgang der installierten Leistung bei 2,6 GW und damit über dem notwendigen Wert für die Zielerreichung laut Gesetz (siehe Tabelle 4). Hingegen würde unter der Annahme einer zukünftigen exponentiellen Abnahme basierend auf den Veränderungen der Jahre 2022 bis 2024 das Ziel im Jahr 2030 von 17 GW verfehlt werden. Die letzten Kernkraftwerke in Deutschland wurden am 15.04.2023 vom Netz genommen. Für weitere Details hinsichtlich des Atomausstiegs siehe ERK (2024b).

Abbildung 9: Elektrische Netto-Nennleistung fossiler und nuklearer Kraftwerke und Reserven in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2024



Eigene Darstellung auf Basis von BNetzA (2024d). Die Daten für das Jahr 2024 sind zum Stand 21.11.2024. Die Reserven beinhalten Kapazitätsreserven, Netzreserven und Versorgungsreserven. Die befristeten Strommarktrückkehrer sind Anlagen, die durch das EKBG befristet an den Markt zurückgekehrt sind. Dies galt, solange die Alarmstufe oder Notfallstufe des Notfallplans Gas ausgerufen war und längstens bis zum 31.03.2024.

- 43 Der **Aufbau des nicht-fossilen Kapitalstocks** im Sektor Energiewirtschaft erfolgt durch den Ausbau von Kapazitäten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern. Insgesamt schreitet der Ausbau der Kapazitäten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern weiter voran: Die installierte Leistung in den Technologien Photovoltaik (PV), Wind auf See und Wind an Land hat seit Beginn des Jahres 2022 von rund 124 GW auf etwa 170 GW zum Ende des Jahres 2024 zugenommen. Dabei zeigen die unterschiedlichen Technologien verschiedene Dynamiken (siehe Tabelle 4).
- 44 Insbesondere bei **Photovoltaik** lässt sich ein deutlicher Zuwachs feststellen, der jährliche Zubau hat sich in den Jahren 2022 bis 2024 im Vergleich zum Zeitraum von 2017 bis 2021 mehr als verdreifacht (siehe Tabelle 4). Die installierte Leistung hat im Laufe des Jahres 2024 das politische Ziel von 88 GW überstiegen (siehe Abbildung A 33). Allerdings liegt die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2024 mit 12,4 GW unter der für die Ziel-Erfüllung des Erneuerbare-

Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 22,4 GW.²⁸ Hingegen würde unter der Annahme eines zukünftigen exponentiellen Wachstums basierend auf den Veränderungen der Jahre 2022 bis 2024 das Ziel im Jahr 2030 von 215 GW erreicht werden.

- 45 Bei **Wind auf See** und **Wind an Land** blieben die durchschnittlichen (absoluten) Veränderungen pro Jahr zwischen den Jahren 2022 und 2024 weit unter den für die EEG-Ziel-Erfüllung benötigten Werten (siehe Tabelle 4, Abbildung A 34 und Abbildung A 36). Die Genehmigungen von Windenergieleistung an Land sind jedoch im Vergleich zu 2022 stark angestiegen. Hier könnten die politischen Bemühungen zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren bereits Wirkung gezeigt haben. Es wurden im Jahr 2024 Genehmigungen für Windenergieanlagen an Land mit einer Gesamtleistung von 11,4 GW erteilt. Dies übertrifft die Ausschreibungsmenge von 10 GW (Abbildung A 35). Sollten die jährlichen Genehmigungsvolumina zwischen den Jahren 2025 und 2030 auf dem Niveau des vergangenen Jahres 2024 beibehalten werden, könnte das Ausbauziel von 115 GW installierter Leistung bis zum Jahr 2030 erreicht werden. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass die Anlagen auch entsprechend schnell errichtet werden.
- 46 Der Brutto-Stromverbrauch, der bilanziell durch erneuerbare Energieträger gedeckt wird, ist seit dem Jahr 2021 kontinuierlich von 237 TWh auf 285 TWh im Jahr 2024 gestiegen.²⁹ Das bilanzielle Verhältnis der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern zum Brutto-Stromverbrauch betrug 54 % im Jahr 2024. Die politische Zielsetzung für das Jahr 2030 sieht vor, dieses Verhältnis auf 80 % zu steigern. Bei der **Fernwärmeerzeugung** nimmt der Anteil an erneuerbaren Energieträgern langsam zu (siehe Abbildung A 26). Im Jahr 2024 lag der Anteil bei 21 %.
- 47 Die installierte Leistung von **Erdgas-Kraftwerken** ist im Zeitraum von 2022 bis 2024 jährlich um durchschnittlich 1,5 GW gestiegen. Bei linearer Fortschreibung dieser Veränderung würde das in der Kraftwerksstrategie für das Jahr 2030 festgelegte Zubauziel weitgehend erreicht werden (siehe Abbildung A 31). Hierbei wird der zusätzliche Ausbau, der durch einen Kapazitätsmechanismus ab dem Jahr 2028 realisiert werden soll, nicht berücksichtigt. Laut BNetzA (2023) ist zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit ein deutlich höherer Ausbau erforderlich als der in der Kraftwerksstrategie aktuell bezifferte Zubau von 10,5 GW. Ein ambitionierteres politisches Ziel, etwa durch den Kapazitätsmechanismus, wäre dafür notwendig, würde jedoch bei der derzeitigen Ausbaugeschwindigkeit voraussichtlich nicht erreicht werden.

²⁸ Die installierte Leistung von steckerfertigen Photovoltaik-Anlagen hat sich im Jahr 2024 verdoppelt (Stand August 2024), macht jedoch nur knapp 0,6 GW aus.

²⁹ Der Anteil von Strom aus erneuerbaren Energieträgern am Brutto-Stromverbrauch hat seit dem Jahr 2021 auch stetig zugenommen und lag im Jahr 2023 erstmal bei über 50 % (siehe Abbildung A 32). Inwieweit heimische Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern tatsächlich heimischen oder ausländischen Stromverbrauch bedient, ist im europäischen Binnenmarkt nicht ohne Weiteres zu bestimmen.

Tabelle 4: Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Energiewirtschaft

Indikator	Durchschnittl. (absolute) Veränderung pro Jahr (12/2016–12/2021)	Durchschnittl. (absolute) Veränderung pro Jahr (12/2021–12/2023 bzw. 12/2024)	Ist-Wert (12/2023 bzw. 12/2024)	Politische Zielsetzung für das Jahr 2030	Benötigte durchschnittl. absolute Veränderung pro Jahr bis zur politischen Zielsetzung für das Jahr 2030	Bei linearer Fortschreibung der durchschnittl. (absoluten) Veränderung pro Jahr (12/2021–12/2023 bzw. 12/2024) würde das politische Ziel für das Jahr 2030 rechnerisch [...]
Installierte Leistung von Photovoltaikanlagen	3,9 GW	12,4 GW (12/2021–12/2024)	97,3 GW (12/2024)	215 GW	22,4 GW (19,6 GW) ^{a)}	↓ verfehlt werden
Installierte Leistung von Windanlagen an Land	2,1 GW	2,4 GW (12/2021–12/2024)	63,2 GW (12/2024)	115 GW	10,4 GW (8,6 GW) ^{a)}	↓ verfehlt werden
Installierte Leistung von Windanlagen auf See	0,7 GW	0,4 GW (12/2021–12/2024)	9,2 GW (12/2024)	30 GW	3,5 GW (3,5 GW) ^{a)}	↓ verfehlt werden
Installierte Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken	-2 GW	-2,6 GW (12/2021–12/2024)	31,2 GW (12/2024)	17 GW	-2,4 GW	↑ weitgehend erreicht werden
Installierte Leistung von Erdgaskraftwerken	0,5 GW	1,5 GW (12/2021–12/2024)	36,7 GW (12/2024)	46,8 GW ^{b)}	1,7 GW	↑ weitgehend erreicht werden
Verhältnis der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern zum Brutto-Stromverbrauch	1,9 Prozentpunkte	4,2 Prozentpunkte (12/2021–12/2024)	54 % (12/2024)	80 %	-	-
Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Fernwärmeerzeugung	0,7 Prozentpunkte	1,1 Prozentpunkte (12/2021–12/2024)	21 % (12/2024)	50 %	-	-
Installierte Elektrolysekapazität	9,6 MW	49,1 MW (12/2021–12/2023)	153,7 MW (12/2023)	10 GW	1,4 GW	↓ verfehlt werden

Eigene Darstellung. Quellen: Fraunhofer ISE (2024), KVBG (2021), AGEE-Stat (2024b), acatech und DECHEMA (2024), SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021), BMWK (2023a). Zur Methodik siehe Infokasten 1. a) Die Werte beziehen sich auf den benötigten Brutto-Ausbau, es wurde also der Rückbau berücksichtigt. Für die Berechnung des Rückbaus wurde eine erwartete Laufzeit von 20 Jahren für Photovoltaik, Wind an Land und Wind auf See zugrunde gelegt, basierend auf Zotz et al. (2019) und Hengstler et al. (2021). Die Werte in Klammern beziehen sich auf den Netto-Ausbau. b) Das politische Ziel entspricht dem in der Kraftwerksstrategie geplanten Neubau von 10,5 GW Kraftwerkskapazität bis zum Jahr 2030. Davon sind 5 GW wasserstofffähige Gaskraftwerke, 500 MW Wasserstoffkraftwerke und 5 GW Gaskraftwerke. Ab dem Jahr 2028 sollen weitere Kraftwerkskapazitäten über einen noch zu definierenden Kapazitätsmechanismus realisiert werden.

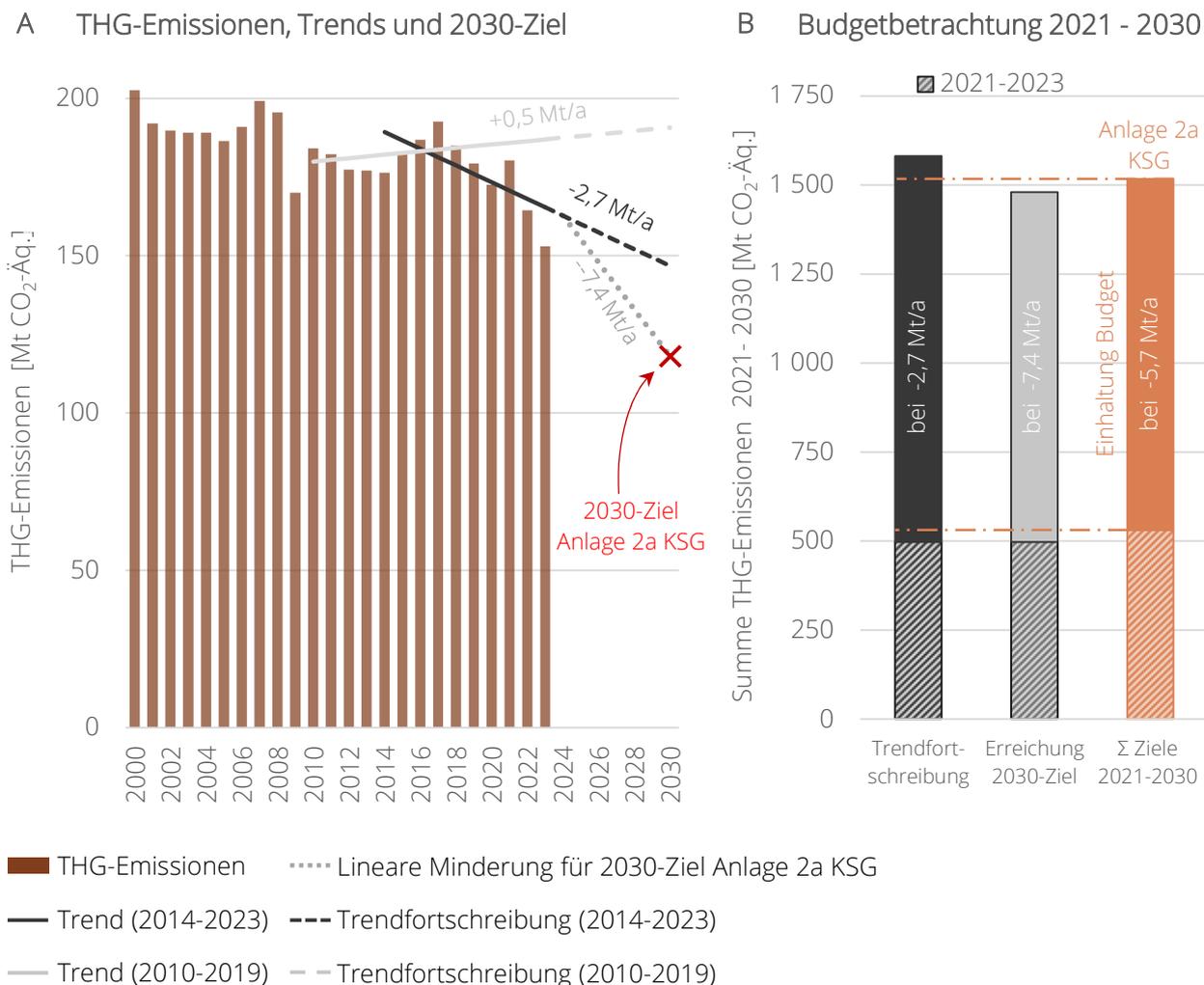
2.3 Industrie

- 48 Im Sektor Industrie sind die **THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gesunken. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor 180,3 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 152,9 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht einem Rückgang im Zweijahreszeitraum von 27,4 Mt CO₂-Äq. oder 15,2 %. Der Sektor Industrie hat seine zulässige Jahresemissionsmenge (siehe Diskussion in Kapitel 5.2 ERK (2024b)) in den Jahren 2022 und 2023 eingehalten.
- 49 Abbildung 10 (Feld A) zeigt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 **mit dem 2030-Ziel für den Sektor Industrie** gemäß Anlage 2a KSG³⁰. Es zeigt sich eine Trendumkehr von einem Ansteigen der THG-Emissionen in den Jahren 2010 bis 2019 (Trend von +0,5 Mt CO₂-Äq. pro Jahr) zu einer Reduktion der Emissionen in den Jahren 2014 bis 2023 (Trend von -2,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr).³¹ Beide Trendfortschreibungen würden im Jahr 2030 zu höheren THG-Emissionen führen als die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG (Beitrag des Sektors Industrie zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030). Um dieses 2030-Ziel zu erreichen, wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine 2,8-fach so hohe Minderungsrate von 7,4 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig.
- 50 Abbildung 10 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** des Sektors Industrie im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG dar. Das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 für den Sektor Industrie beträgt 1 517 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-2,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 1 580 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030 resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 nicht eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 überschritten. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre ab dem Jahr 2024 eine jährliche Minderungsrate von 5,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig (1 517 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Diese Minderung würde jedoch nicht ausreichen, um auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 zu erreichen oder zu unterschreiten. Mit der ab dem Jahr 2024 für das 2030-Ziel kompatiblen Minderungsrate von 7,4 Mt CO₂-Äq. pro Jahr hingegen könnte auch das THG-Budget im Zeitraum von 2021 bis 2030 eingehalten werden (1 480 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).

³⁰ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

³¹ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Industrie mit 8 % Abweichung unterhalb des 10-Jahres-Trends. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass eine Rückkehr der THG-Emissionen im Jahr 2024 auf den 10-Jahres-Trend stattfand. Laut einer ersten Schätzung lagen die THG-Emissionen im Sektor Industrie im Jahr 2024 bei 158 Mt CO₂-Äq. (Agora Energiewende 2025) und somit mit 3 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend (163 Mt CO₂-Äq.).

Abbildung 10: THG-Emissionen im Sektor Industrie – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



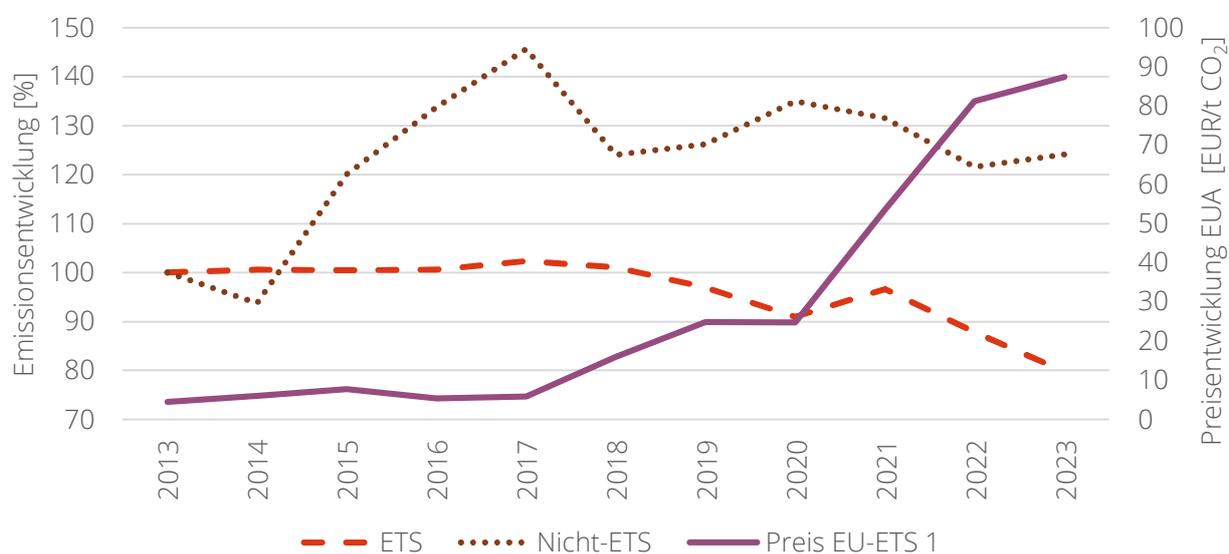
Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Die KSG-Ziele für den Sektor Industrie entstammen der Anlage 2a KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2a (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2a KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsraten angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021–2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektoralen THG-Budget laut Anlage 2a KSG.

51 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen für den Sektor Industrie in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich ausreichen würden, um das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG einzuhalten (UBA 2024d). Allerdings reichen sie voraussichtlich nicht aus, um auch die Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG zu unterschreiten, als Beitrag des

Sektors Industrie zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030. Zudem kommt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten zu dem Schluss, dass die THG-Emissionen gemäß der Projektionsdaten 2024 für den Industriesektor wahrscheinlich eher unterschätzt werden.

- 52 Die im **EU-ETS 1** erfassten THG-Emissionen sind nach einem leichten Anstieg im Jahr 2021 zum Jahr 2023 weiter auf 120,3 Mt CO₂-Äq. abgesunken, was einem Anteil von 78,7 % an den gesamten THG-Emissionen des Industriesektors entspricht. Seit dem Jahr 2017 sind die EU-ETS 1-Preise gestiegen, wobei nach dem Jahr 2020 eine deutliche Verschärfung einsetzte, die den Preis von etwa 24 Euro auf 87 Euro ansteigen ließ (siehe Abbildung 11). Auch die Nicht-ETS-Emissionen waren zwischen den Jahren 2020 und 2022 rückläufig, sind aber zum Jahr 2023 wieder leicht angestiegen.

Abbildung 11: Entwicklung der ETS- und Nicht-ETS-Emissionen (Basisjahr 2013) im Industriesektor sowie zugehörige EU-ETS 1 Zertifikatspreise zwischen den Jahren 2013 und 2023



Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2025) und EEA und Ember (2022). EUA: Europäisches Emissionszertifikat.

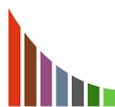
- 53 **Aktivitäten** im Industriesektor sind die Produktion. Für eine mögliche **Umstellung des Kapitalstocks** im Industriesektor ist die Umstellung des Anlagenbestands der entscheidende Faktor. Das betrifft den Abbau fossiler, sowie den Aufbau nicht-fossiler bzw. emissionsarmer Anlagen. Da jedoch keine direkten Werte über den Anlagenbestand vorliegen, wird für die Analyse jeweils auf den Endenergieverbrauch zurückgegriffen. In diesem spiegelt sich die Umstellung des Kapitalstocks als steigender Anteil des Stroms wider.
- 54 Wie bereits ausführlich in ERK (2024b) analysiert, liegt die Ursache für den Emissionsrückgang im Industriesektor in einem überproportionalen Rückgang der **Aktivitäten** bzw. der Produktion in den energieintensiven Industriezweigen gegenüber der gesamtindustriellen Produktion begründet.

Insbesondere die nach wie vor höheren Energiepreise gegenüber dem Vorkrisen-Jahr 2019³², sowie konjunkturell und strukturell bedingte Nachfragerückgänge haben dazu beigetragen.³³ Seit dem Jahr 2024 zeigt sich eine Stabilisierung der Aktivitäten, genauer des Produktionsindex des produzierenden Gewerbes, auf niedrigem Niveau sowie eine leichte Erholung der energieintensiven Industrie am Jahresanfang (siehe Abbildung A 27). Diese Erholung fällt jedoch gering aus, sodass die Produktion weiterhin deutlich unter dem Vorkrisen-Niveau des Jahres 2019 liegen wird. Insgesamt kann diese Entwicklung auf eine mögliche Stagnation der THG-Emissionen im Jahr 2024 gegenüber dem Jahr 2023 hinweisen.

- 55 Insbesondere energieintensive Industriezweige wie Grundstoffchemie und Metallerzeugung verzeichneten nach einem kurzfristigen Wiederanstieg im Jahr 2021 deutlich **gesunkene Produktionen** in den Jahren 2022 und 2023. Lediglich der Fahrzeugbau kann für diese zwei Jahre in Folge einen Anstieg des Produktionsindex vermelden. Durch seinen hohen Anteil an der Bruttowertschöpfung (BWS) trägt dieser Industriezweig auch maßgeblich dazu bei, dass der gesamtindustrielle Produktionsindex insgesamt weniger stark gesunken ist als jener der energieintensiven Industrie. Mit -0,6 % ist die Industrieproduktion im Jahr 2023 rückläufig, während der Endenergieverbrauch sogar um 6,1 % zurückgegangen ist (siehe Tabelle A 8).
- 56 Der Abbau des **fossilen bzw. energieintensiven Kapitalstocks** geht nur langsam voran. Da keine absoluten Werte über den Anlagenbestand vorliegen, kann eine Aussage über den Kapitalstock nur indirekt auf Basis des zugehörigen Endenergiebedarfs und dessen fossilen Anteils getroffen werden. Genau wie der Endenergieverbrauch der Industrie insgesamt ist auch der **Endenergieverbrauch aus fossilen Energieträgern**, mit Ausnahme des Jahres 2021, seit dem Jahr 2019 rückläufig. Dieser belief sich im Jahr 2023 auf 334,4 TWh und ist gegenüber dem Vorjahr um 27,7 TWh zurückgegangen (siehe Abbildung A 40 und Tabelle A 9). Damit könnte bei Fortschreibung des Trends der von den Klimaneutralitätsszenarien aufgespannte Zielraum für den Endenergieverbrauch aus fossilen Energieträgern sowohl im Jahr 2025 als auch im Jahr 2030 sehr wahrscheinlich erreicht werden (siehe Tabelle 5 sowie Abbildung A 40). Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der Anteil fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch zwischen den Jahren 2021 und 2023 nur leicht von 56,2 % auf 54 % gesunken ist und der beobachtete gesunkene fossile Endenergieverbrauch damit nicht bzw. nur geringfügig auf eine strukturelle Veränderung des zu Grunde liegenden Kapitalstocks zurückgeht. Für den Anteil fossiler Energieträger wird in den Klimaneutralitätsszenarien für das Jahr 2030 eine Bandbreite zwischen 46 % und 31 % berechnet. Zwischen 2022 und 2023 ist der Anteil um einen Prozentpunkt zurückgegangen (siehe Tabelle 5 und Abbildung A 41). Maßgeblicher Grund hierfür ist, dass ein Großteil der THG-Emissionen im Industriesektor auf die Bereitstellung von Prozesswärme entfällt, bei welcher noch

³² Das Emissionsgeschehen war seit dem Jahr 2020 durch verschiedene spezifische Einflüsse geprägt. Im Jahr 2020 war dies die Covid-19-Pandemie, in deren Rahmen z.B. der Personenverkehr und die Industrieproduktion abnahmen (ERK 2021b). Der russische Angriffskrieg in der Ukraine führte zu einem starken Anstieg der Gaspreise, was beispielsweise einen deutlichen Rückgang des Gasverbrauchs in Haushalten, Gewerbe und Industrie zur Folge hatte (siehe ERK (2023b) und ERK (2024b)).

³³ Der Sachverständigenrat für Wirtschaft schreibt hierzu in seinem Jahresgutachten 2024/25: „Die positivere Entwicklung der globalen Industrieproduktion und der Weltwirtschaft unterstreicht, dass die industrielle Schwäche in Deutschland spezifische Ursachen hat. Dies und die Dauer der Wachstumsschwäche legen nahe, dass die deutsche Industrie sowohl von konjunkturellen als auch von strukturellen Problemen ausgebremst wird.“ (SVR Wirtschaft 2024b).



überwiegend fossile Energieträger zum Einsatz kommen und bei der eine Umstellung nur langsam stattfindet (Fleiter et al. 2023).³⁴

- 57 Der Aufbau des **nicht-fossilen bzw. emissionsarmen Kapitalstocks** zeigt wenig Bewegung. Analog zur Entwicklung des Endenergieverbrauchs aus fossilen Energieträgern, ist der Endenergieverbrauch aus Strom, mit Ausnahme von 2021, rückläufig. Zwischen den Jahren 2022 und 2023 ist er von 201,4 TWh um 13,3 TWh auf 188,1 TWh gesunken, was mit einem gesunkenen Gesamtendenergieverbrauch einhergeht. Um die in den Klimaneutralitätsszenarien mindestens angegebene Menge von 233 TWh zu erreichen, wäre eine durchschnittliche absolute Änderung von 6,4 TWh pro Jahr notwendig, während die tatsächliche Änderung -13,3 TWh betrug und somit bei linearer Fortschreibung eine Zielerreichung rechnerisch verfehlt würde (siehe Abbildung A 42). Während die **Elektrifizierung** je nach Industriezweig schon unterschiedlich weit fortgeschritten ist, bleibt der Anteil von Strom am Endenergieverbrauch im Industriesektor insgesamt konstant. In den Jahren von 2021 bis 2023 bewegte sich dieser Indikator für den direkten Elektrifizierungsgrad zwischen 30,6 % und 30,4 % (siehe Abbildung A 42). Der im Zielraum der berücksichtigten Klimaneutralitätsszenarien für das Jahr 2025 vorgesehene Mindestanteil von 32 % wurde zuletzt vor 10 Jahren erreicht, für 2030 ist ein Mindestanteil von 34 % verzeichnet. Das Wachstum lag im Jahr 2023 bei 0,1 Prozentpunkten (siehe Tabelle 5 und Abbildung A 42). Bei der Interpretation absoluter und anteiliger Werte sind jedoch die in den Studien hinterlegte Annahmen zum Wirtschaftswachstum (geringes Wachstum) und Wirtschaftsstruktur (kein starker Strukturwandel) zu berücksichtigen. So wird bspw. studienübergreifend von konstanten bzw. leicht steigenden Produktionsmengen in der Stahlbranche ausgegangen (siehe Kopernikus-Projekt Ariadne et al. 2022). Im Gegensatz zur Elektrifizierung übertreffen die **Projektankündigungen für wasserstoffbasierte Direktreduktion** in der Stahlproduktion die im Jahr 2030 angenommenen Ziele der Klimaneutralitätsstudien (siehe Abbildung A 44). Zu beachten sind hierbei allerdings die hohen Unsicherheiten bzgl. deren Umsetzung. Nicht für alle Ankündigungen wurde bereits eine finale Investitionsentscheidung getroffen und die zu erwartenden Produktionsmengen sind stark von wenigen Großprojekten abhängig.
- 58 Darüber hinaus ist in den meisten Fällen eine sukzessive Umstellung des Betriebs von Gas auf Wasserstoff (H₂) vorgesehen, sodass die tatsächliche Produktion wasserstoffbasierten Stahls zunächst nicht der vollen Anlagenkapazität entspricht. Auch die Verfügbarkeit von Wasserstoff spielt für die Verfahrensumstellung eine entscheidende Rolle. Die jüngsten Zahlen zur **Entwicklung der Elektrolysekapazität** in Deutschland zeigen jedoch, dass der Ausbau in den letzten Jahren nur geringfügig vorangeschritten ist und sowohl den in den Klimaneutralitätsstudien genannten Zielraum als auch das politische Ziel voraussichtlich verfehlt (siehe Tabelle 4 und Abbildung A 38). Damit ist die ausreichende Bereitstellung von Wasserstoff aus inländischer Produktion fraglich. Ähnliches gilt für den Umfang geplanter Importe von grünem Wasserstoff.

³⁴ So ist der Anteil von Kohlen am Endenergieverbrauch in der Metallherzeugung zwischen den Jahren 2020 und 2023 von 51,2 % auf 53,4 % angestiegen. Treiber hierfür sind zum einen die im Jahr 2021 stark gestiegene Produktion, als auch die Energiekrise im Jahr 2022 und damit ein Rückgang des Anteils von Gas, der von 34,1 % im Jahr 2020 auf 32,9 % im Jahr 2024 abgesunken ist. Bei Keramik und Glas hingegen stagniert der Anteil von Gas am Endenergieverbrauch seit 4 Jahren bei ca. 75 %. Auch gesamtindustriell ist er nur leicht, von 36,4 % auf 32,9 %, gesunken (siehe Tabelle A 9).

Tabelle 5: Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Industrie

Indikator	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (12/2017–12/2021)	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (12/2022–12/2023)	Ist-Wert (12/2023)	Minimalziel der Klimaneutralitätsstudien für das Jahr 2030	Benötigte durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr bis zum Minimalziel für das Jahr 2030	Bei linearer Fortschreibung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr (12/2022–12/2023) würde das Minimalziel für das Jahr 2030 rechnerisch [...]
EEV aus fossilen Energieträgern	-1,2 TWh	-27,7 TWh	334,4 TWh	316,9 TWh	-2,5 TWh	↑ übertröffen werden
Anteil fossiler Energieträger am EEV	+/- 0 Prozentpunkte	-1 Prozentpunkt	54 %	46 %	-	-
EEV aus Strom	-3,4 TWh	-13,3 TWh	188,1 TWh	233 TWh	6,4 TWh	↓ verfehlt werden
Anteil Strom am EEV	-0,3 Prozentpunkte	0,1 Prozentpunkte	30,4 %	33 %	-	-

Eigene Darstellung. Quellen: AGEb (2024a) und die in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Zur Methodik siehe Infokasten 1.

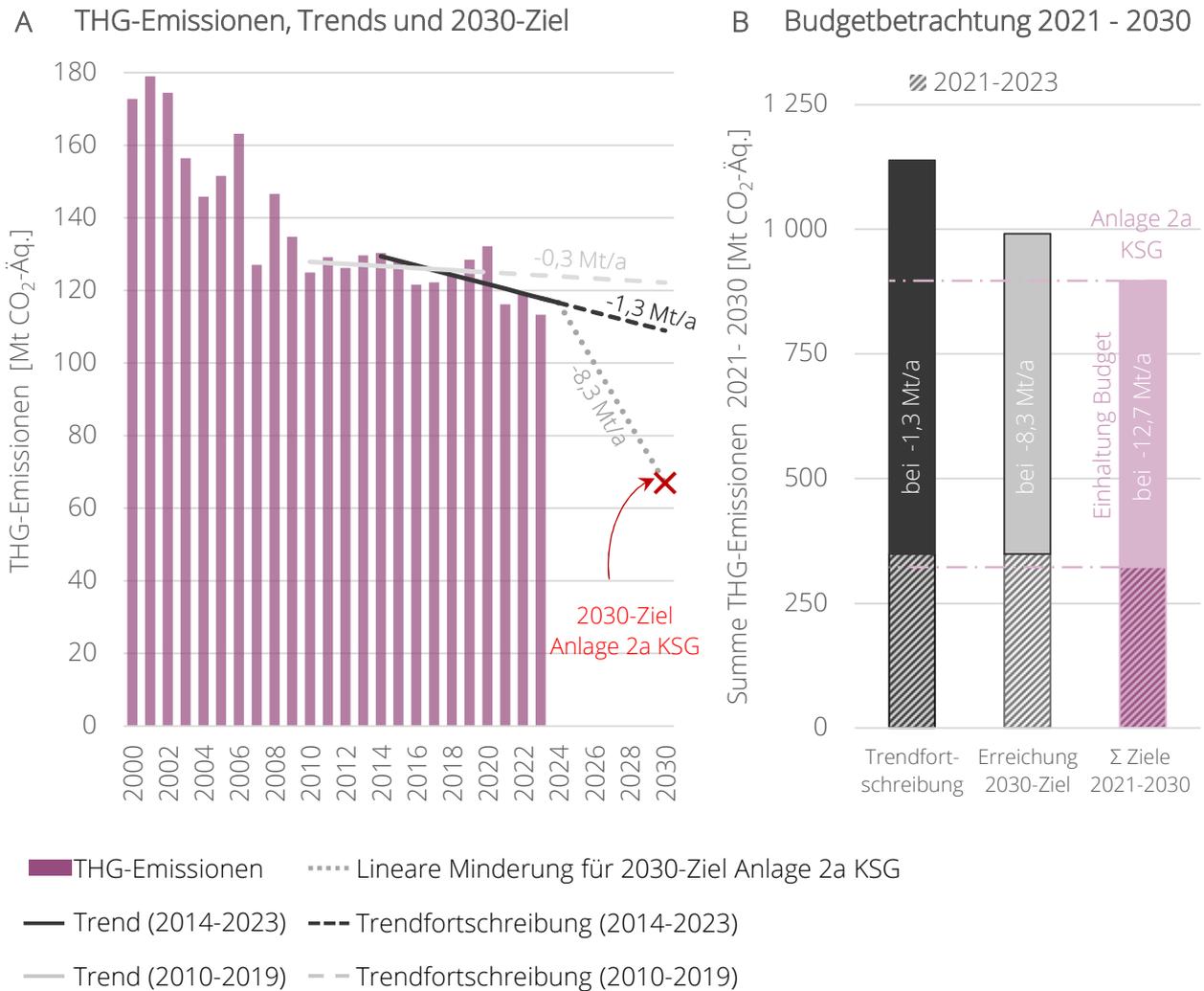
2.4 Gebäude

59 Im Sektor Gebäude sind die **temperaturbereinigten THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gesunken. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor 116,2 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 noch 113,3 Mt CO₂-Äq.³⁵ Dies entspricht einem Rückgang im Zweijahreszeitraum von 3 Mt CO₂-Äq. oder 2,6 %. Der Gebäudesektor hat seine zulässige Jahresemissionsmenge in den Jahren 2022 und 2023 verfehlt (siehe Diskussion in Kapitel 5.2 ERK (2024b)). Dies hat dazu geführt, dass für den Gebäudesektor mehrfach Sofortprogramme durch die Bundesregierung vorzulegen waren, die der Expertenrat geprüft hat.³⁶

³⁵ Die THG-Emissionen für den Gebäudesektor werden nicht temperaturbereinigt berichtet. Nicht temperaturbereinigt sind sie von 119,4 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2021 auf 102,2 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2023 gesunken (UBA 2024c). Eine detaillierte Beschreibung der Methodik für die Temperaturbereinigung findet sich in ERK (2024c).

³⁶ Siehe Sofortprogramme: BMWi und BMI (2021) und BMWK und BMWsB (2022), sowie die Prüfungsberichte des Expertenrats: ERK (2021a), ERK (2022a) und ERK (2023a).

Abbildung 12: THG-Emissionen im Sektor Gebäude – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung

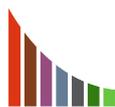


Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Die KSG-Ziele für den Sektor Gebäude entstammen der Anlage 2a KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2a (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2a KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsraten angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2a KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021–2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektoralen THG-Budget laut Anlage 2a KSG.

- 60 Abbildung 12 (Feld A) zeigt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 **mit dem 2030-Ziel für den Sektor Gebäude** gemäß Anlage 2a KSG³⁷. Es zeigt sich eine Beschleunigung der Reduktion der THG-Emissionen. In den Jahren 2010 bis 2019 lag der Trend bei -0,3 Mt CO₂-Äq. pro Jahr, in den Jahren 2014 bis 2023 bei -1,3 Mt CO₂-Äq. pro Jahr.³⁸ Beide Trendfortschreibungen würden zu höheren THG-Emissionen führen als die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG (Beitrag des Sektors Gebäude zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030). Um dieses 2030-Ziel zu erreichen, wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine 6,5-fach so hohe Minderungsrate von 8,3 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig.
- 61 Abbildung 12 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** des Sektors Gebäude im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG dar. Das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 für den Sektor Gebäude beträgt 897 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-1,3 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 1 138 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030 resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 nicht eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 überschritten. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre ab dem Jahr 2024 eine jährliche Minderungsrate von 12,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig (897 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Diese Minderungsrate würde auch ausreichen, um die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 zu unterschreiten. Mit der ab dem Jahr 2024 für das 2030-Ziel kompatiblen Minderungsrate von 8,3 Mt CO₂-Äq. pro Jahr hingegen würde das THG-Budget im Zeitraum von 2021 bis 2030 nicht eingehalten (991 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).
- 62 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen für den Sektor Gebäude in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich nicht ausreichen würden, um einerseits das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG einzuhalten und andererseits die Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG zu unterschreiten, als Beitrag des Sektors Gebäude zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030 (UBA 2024d). Zudem kommt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten zu dem Schluss, dass die THG-Emissionen gemäß der Projektionsdaten 2024 für den Gebäudesektor wahrscheinlich unterschätzt werden (ERK 2024a).
- 63 Für die **Umstellung des Kapitalstocks im Gebäudesektor** sind die folgenden Faktoren entscheidend: die Bestandsentwicklung von Gas- und Ölheizungssystemen (Abbau fossiler Kapitalstock, aber auch Effizienzerhöhungen durch den Tausch von fossilen Heizungssystemen), die Entwicklung des Ausbaus von Wärmepumpen sowie von Wärmenetzen und deren Anteil an der Wärmebereitstellung aus nicht-fossilen Quellen (Aufbau nicht-fossiler Kapitalstock) und schließlich die energetische Sanierung des

³⁷ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

³⁸ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Gebäude mit 4 % Abweichung leicht unterhalb des 10-Jahres-Trends. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass eine Rückkehr der THG-Emissionen im Jahr 2024 auf den 10-Jahres-Trend stattfand. Laut einer ersten Schätzung lagen die THG-Emissionen im Sektor Gebäude im Jahr 2024 allerdings bei 105 Mt CO₂-Äq. (Agora Energiewende 2025) und somit mit 10 % Abweichung unterhalb des 10-Jahres-Trends (117 Mt CO₂-Äq.).



Gebäudebestandes sowie der Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf. **Aktivitäten** ergeben sich vor allem durch den Heiz- und Warmwasserverbrauch von Haushalten und GHD.³⁹

- 64 Durch den Krieg in der Ukraine und die davon ausgelöste Energiekrise sind die **Verbraucherpreise für Gas und Öl** ab März 2022 stark angestiegen (siehe Abbildung 13). Beim Gasverbrauch konnte ein deutlicher Rückgang in Haushalten⁴⁰ und Gewerbe verzeichnet werden. Der **Gasverbrauch** im Jahr 2022 lag 11 % unter dem Durchschnittswert der Jahre 2018 bis 2021 (BNetzA 2024c). Ruhnau et al. (2023) berechnen die höchste Gaseinsparung im Jahr 2022 für September mit 28 % gegenüber dem erwarteten Verbrauch und folgern, dass höhere Preise ein wirksames Instrument sind, um Einsparungen zu erreichen, allerdings mit volkswirtschaftlichen und sozialpolitischen Auswirkungen. Im Jahr 2023 und 2024 ist der Gasverbrauch von Haushalten und Gewerbe gegenüber dem Jahr 2022 noch einmal leicht gesunken, wobei ein Großteil der Einsparung neben den weiterhin hohen Gaspreisen auch auf mildere Witterung zurückzuführen ist (BNetzA 2024c).⁴¹ Witterungsbereinigt ist von 2023 nach 2024 wieder ein Anstieg des Gasverbrauches von 2,2 % zu verzeichnen (BNetzA 2025). Trotz ähnlicher Verbraucherpreisentwicklungen beim Öl konnte dieser Absatzrückgang in den Jahren 2022 und 2023 bei leichtem Heizöl nicht verzeichnet werden. Im Gegensatz zu Gas ist der **Absatz von Heizöl** an Haushalte und GHD vom Jahr 2021 auf das Jahr 2022 witterungsbereinigt sogar um 12,9 % gestiegen (AGEB 2023c). Für das Jahr 2023 ist der Absatz von leichtem Heizöl im Gebäudesektor witterungsbereinigt gegenüber dem Jahr 2022 um 4,5 % gesunken. Da bei Heizöl jedoch Absätze berichtet werden und nicht Verbräuche, kann der Mehrverbrauch im Jahr 2022 und Minderverbrauch im Jahr 2023 auch an Bestandsaufstockungen im Jahr 2022 und dem Abbau der Bestände im Jahr 2023 liegen (ERK 2024b).
- 65 Die **Absatzzahlen von Heizungssystemen** sind in den Jahren 2022 und 2023 gegenüber den Vorjahren stark angestiegen. Im Jahr 2022 betrug die Steigerung 5 % gegenüber 2021, den größten Zuwachs konnten die Wärmepumpen mit einem Plus von 53 % verzeichnen. Dennoch betrug der Anteil der Wärmepumpen an den Absatzzahlen nur 24 % des Absatzes insgesamt (BDH 2023). Auch im Jahr 2023 führte die Erhöhung des Absatzes insgesamt nur in Teilen zu einer Umstellung des Kapitalstocks auf erneuerbare Energieträger.⁴² Neben dem hohen Absatz von Wärmepumpen stieg im Jahr 2023 auch der Absatz von Öl- und Gasheizungen gegenüber dem Vorjahr an.⁴³ Ein hoher Absatz von Wärmepumpen im Jahr 2023 wird vor allem den kurzfristig sehr hohen Erdgaspreisen und der Sorge der Bevölkerung vor einer möglichen Gasmangellage zugeschrieben (BDH 2024c). Der Absatzanstieg bei Öl- und Gasheizungen wird unter anderem auf die Diskussionen um das Inkrafttreten des neuen Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zum 01.01.2024 zurückgeführt. (BDH 2024c; 2024b). Wegen des hohen Alters vieler Ölkessel ist die Austauschrate hoch und der Anteil der Ölkessel an allen Heizungssystemen im Bestand sinkt nichtsdestotrotz kontinuierlich weiter ab (siehe Tabelle 6). Auch der durchschnittliche

³⁹ Die temperaturbereinigte Emissionsintensität pro qm stellt die Veränderungen im Gebäudesektor zusammenfassend dar (Abbildung A 48).

⁴⁰ Im Jahr 2023 wurden 49,5 % aller Wohnungen mit Gasheizungssystemen beheizt (BDEW 2023b).

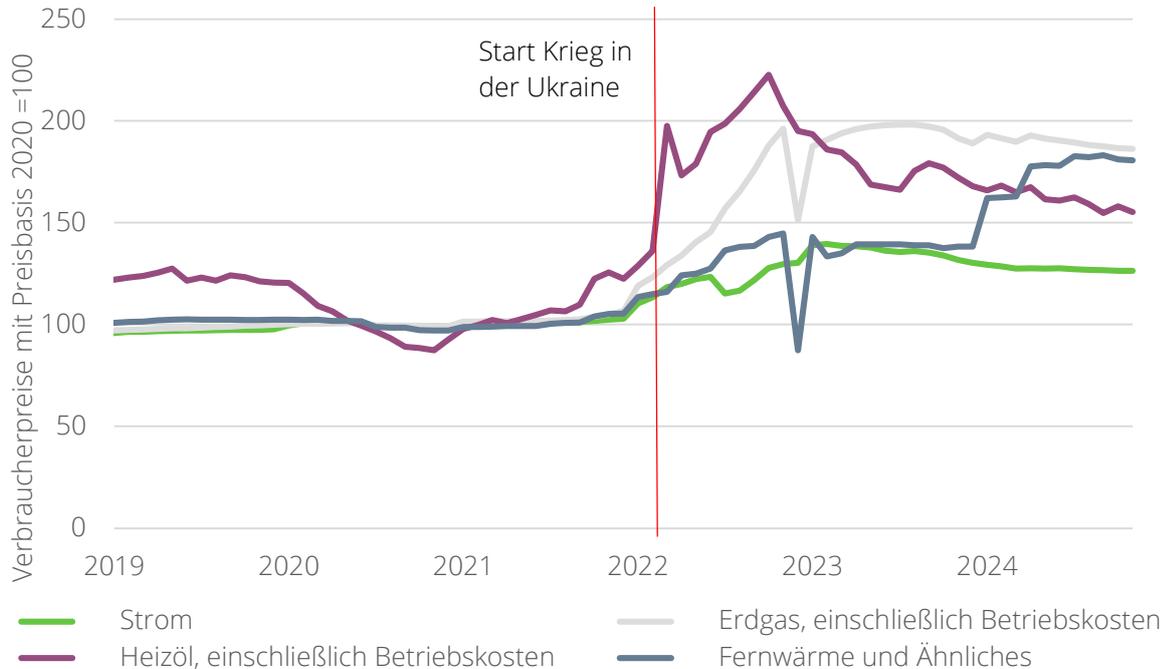
⁴¹ Die Gradtagzahlen im Jahr 2023 lagen 2,5 % unter denen im Jahr 2022, im Jahr 2024 lagen sie 3,4 % unter denen von 2022.

⁴² Wärmepumpen werden sowohl vom Umweltbundesamt als auch vom BMWK (z. B. im GEG) als erneuerbare Heizungssysteme gezählt. Aufgrund des aktuellen Strommix in Deutschland, der nicht zu 100 % aus erneuerbaren Energien besteht, nutzen Wärmepumpen heute nicht zu 100 % erneuerbare Energieträger. Legt man das Ziel zugrunde, dass bis 2035 die Stromproduktion vollständig aus erneuerbaren Energieträgern gespeist werden soll, zeigt sich zudem, dass der Umstieg auf Wärmepumpen langfristig zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors beiträgt.

⁴³ Bei Gasheizungen lag die Steigerung bei 32 %, bei Ölheizungen war der Absatz doppelt so hoch wie im Jahr 2022.

Wirkungsgrad der fossilen Heizungssysteme steigt kontinuierlich an und Niedertemperaturkessel werden durch effizientere Brennwertkessel ausgetauscht (BDEW 2023a).

Abbildung 13: Verbraucherpreise im Zeitraum von 2019 bis 2024 für Strom, Heizöl, Erdgas und Fernwärme mit Preisbasis 2020 = 100



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2024h).

- 66 Im Jahr 2024 sind die **Absatzzahlen aller Heizungssysteme** gegenüber dem Vorjahr stark eingebrochen, im Mittel über alle Heizungssysteme um 43 % gegenüber dem Jahr 2023. Starke Rückgänge sind insbesondere bei Biomassekesseln und Wärmepumpen zu verzeichnen. Der Absatz von Gaskesseln lag im Jahr 2024 mit 417 000 Stück mehr als doppelt so hoch wie der von Wärmepumpen (200 000 Stück). Bei Ölkesseln fiel der Rückgang des Absatzes von 2023 nach 2024 mit 10 % merklich geringer aus als bei den anderen Heizsystemen (Gaskessel -47 % gegenüber 2023 und Wärmepumpen -43 % gegenüber 2023 (BDH 2024a)). Der Rückgang von Öl- und Gaskesseln im Bestand lag von 2021–2023 lediglich bei 0,7 Prozentpunkten pro Jahr, eine zügige Transformation zu Heizungssystemen, welche erneuerbare Energieträger nutzen, ist somit aktuell nicht zu verzeichnen.
- 67 In Infokasten 3 werden die Ergebnisse aus einer kürzlich veröffentlichten Studie präsentiert, die sich mit der **Entwicklung des Kapitalstocks in Wohngebäuden** beschäftigt hat. Dabei wird deutlich, dass die Geschwindigkeit der Umstellung des Kapitalstocks begrenzt ist, und bei Fortschreibung bekannter Trends auch im Jahr 2030 fossile Heiztechnologien den Großteil des Bestands ausmachen würden. Dies ist begründet durch die Austauschrate der Heizungen, die wie die Sanierungsrate (siehe RZ 72) weiterhin auf einem niedrigen Niveau liegt.
- 68 Die **Sanierungsrate** kann als ein wichtiger Indikator für die Effizienzverbesserung des bestehenden Kapitalstocks verstanden werden. Diese ist in den letzten zwei Jahren von 0,88 % im Jahr 2022 über 0,72 % im vierten Quartal 2023 auf 0,69 % im dritten Quartal 2024 gesunken. Von der Bundesregierung

wird eine jährliche Sanierungsrate von 2 % ab 2020 angestrebt, bislang jedoch noch nicht erreicht (Knoche et al. 2024). In den Klimaneutralitätsstudien werden unterschiedliche Werte für die Sanierungsrate zugrunde gelegt: Agora Think Tanks (2024) nehmen 1,6 % bis 2030 an, BDI (2021) 1,9 %, EWI und ef.Ruhr (2021) durchschnittlich 1,7 % bis 2030. Um eine durchschnittliche Sanierungsrate in dieser Größenordnung zu erreichen, müsste die Sanierungsrate bis Ende der 2020er Jahre deutlich steigen.

- 69 Auch die durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf ist ein wichtiger Indikator für die Entwicklung des Kapitalstockes, da sich von dieser direkt auf die beheizte Wohnfläche schließen lässt. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf ist seit Jahren ansteigend und lag im Jahr 2023 bei 48,4 qm pro Person. Von 2021 bis 2023 lag eine Steigerung um rund 1,5 % vor (Destatis 2024b).

Infokasten 3: Umsetzung der Klimaziele und Allokation von Emissionsmengen im Gebäudesektor

Eine kürzlich veröffentlichte Studie (EWI 2024a) untersucht die Entwicklung des Wohngebäude- und Heizungsbestandes in Deutschland. Dabei werden die möglichen Auswirkungen der aktuellen Gesetzgebung, insbesondere des Wärmeplanungsgesetzes (WPG) und des GEG, auf den Gebäude- und Heizungsbestand im Wohngebäudesektor analysiert.

Für die Berechnungen wurde ein Bestands-Fluss-Modell verwendet, das den Gebäudebestand sowie dessen jährliche Veränderungen abbildet. Gebäude werden nach Gebäudegröße, -alter, -zustand, Heizungstyp und Warmwasserversorgung kategorisiert. Die Entwicklung des Gebäudebestands wird dabei anhand von exogen vorgegebenen Abriss-, Neubau- und Sanierungsraten berechnet. Die Entwicklung des Heizungsbestands setzt sich aus Heizungsausbau und Heizungseinbau zusammen. Der Heizungsausbau beruht dabei auf der Altersstruktur bestehender Heizungen und exogen definierten Austauschwahrscheinlichkeiten, während der Heizungseinbau durch exogene, jährlich festgelegte Anteile von Heizungstechnologien definiert ist. Das Modell illustriert somit den Einfluss dieser Eingangsgrößen, ohne eine Optimierung vorzunehmen, und bildet dynamisch Prozesse wie Abriss, Neubau, Sanierung und Heizungstausch ab. Ausgangspunkt ist der Gebäudebestand des Jahres 2022.

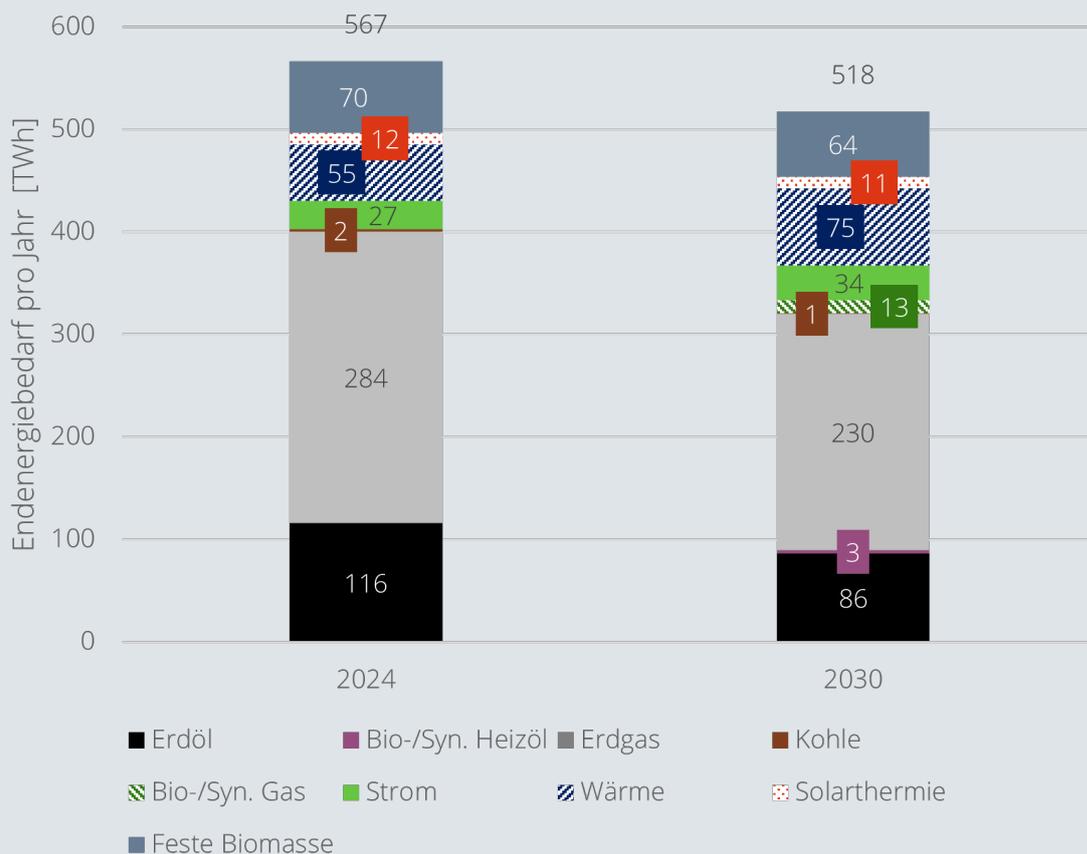
Im Gebäudeszenario „Historisch-Basis“ werden die Annahmen zu den Entwicklungen von Neubau-, Abriss- und Sanierungsraten auf historische Daten gestützt. Zwischen 2025 und 2026 steigt die Neubaurate leicht, während die Abrissrate mit ihr korreliert. Ab 2027 erhöhen sich beide Raten bis 2031 auf den historischen Durchschnitt (2013–2022). Die Sanierungsrate folgt der Neubaurate, steigt von 0,75 % im Jahr 2026 quadratisch auf 1 % im Jahr 2031. Parallel dazu basieren die Annahmen zu der Heizungsentwicklung auf den Zielen der Bundesregierung: Bis 2045 sollen Wärmenetzanschlüsse verdreifacht und ab 2024 jährlich 500 000 Wärmepumpen installiert werden. Es wird jedoch über quadratische Interpolation ein Hochlauf angenommen, so dass die jährlichen Ziele der Wärmepumpen erst ab dem Jahr 2031 erreicht werden. Biomasseheizungen werden entsprechend historischer Trends fortgeschrieben, während der Anteil von 100 %-H₂-ready Gasheizungen durch einen langsamen Hochlauf ab 2025 gesteigert wird. Die Annahmen sind im Detail in der Studie dargestellt.

Im Ergebnis steigt die Anzahl der Gebäude leicht von 19,7 Mio. (2024) auf 20,3 Mio. (2030), was grundsätzlich den absoluten Nutzenergiebedarf erhöht. Gleichzeitig reduziert eine Sanierungsrate von 1 % ineffiziente Gebäude und somit den Nutzenergiebedarf, sodass bis 2030 die Energieeffizienzklassen H und G aus dem Bestand verschwinden.

Die Annahmen zu der Entwicklung der Heizungstechnologien verändern entsprechend den Heizungsbestand bis 2030. Der Anteil von Gas- und Ölheizungen würde von 75 % auf 68 % sinken, der Anteil von Wärmepumpen würde von 6 % auf 15 % im Jahr 2030 ansteigen. Für das Jahr 2030 berechnet die Studie 3 Mio. installierte Wärmepumpen und bleibt damit deutlich hinter dem Ziel der Bundesregierung von 6 Mio. zurück. Dies ist jedoch direkt auf die Annahme zurückzuführen, dass Wärmepumpen entsprechend dem oben beschriebenen Hochlauf zugebaut werden würden. Es würden ab 2024 noch ca. 1 Mio. neue Gasheizungen installiert werden, die jedoch laut Annahme wasserstofffähig sind.

In Summe sinkt der Endenergiebedarf in dem beschriebenen Szenario bis 2030 um ca. 10 %, getrieben auf der einen Seite durch die Effekte im Nutzenergiebedarf durch Sanierung und durch den Wechsel der Heizungstechnologien. In diesem Szenario wäre zwar ein deutlicher Rückgang der fossilen Energieträger zu beobachten, fossile Energieträger würden jedoch im Jahr 2030 noch 55 % des gesamten Endenergiebedarfs ausmachen (siehe Abbildung 14). Damit würde das Ziel der Bundesregierung von 55 % EE-Anteil im Jahr 2030 (siehe Tabelle 6) deutlich verfehlt werden.

Abbildung 14: Eingesetzte Energieträger zur Deckung des Endenergiebedarfs in Wohngebäuden



Eigene Darstellung auf Basis von EWI (2024a).

70 Tabelle 6 zeigt die Entwicklung von drei wichtigen **Indikatoren** für das Erreichen der politischen Ziele im Gebäudesektor. Für den **Bestand an Wärmepumpen** ist das politische Ziel 6 000 000 verbaute Einheiten

für das Jahr 2030. Dies würde für den verbliebenen Zeitraum bis 2030 einen durchschnittlichen Absatz pro Jahr von etwa 720 00 Stück erfordern, was weit über dem durchschnittlichen jährlich erreichten Absatz von etwa 257 000 Stück für die Jahre 2022 bis 2024 liegt (siehe Abbildung A 46). Der **Anteil erneuerbarer Energieträger (inkl. Strom) am Endenergieverbrauch** für Wärme steigt kontinuierlich an, aber auch hier liegt die Steigerung mit durchschnittlich 1,6 Prozentpunkten pro Jahr für den Zeitraum von 2022 bis 2023 deutlich unter den benötigten 5,2 Prozentpunkten (siehe Abbildung A 47). Für den **Anteil fossiler Heizungssysteme am Heizungsbestand** gibt es kein politisches Ziel, aber im Sinne der Klimaneutralität muss dieser Anteil langfristig auf null absinken. Aktuell liegt er bei 72,9 % mit einer sinkenden Tendenz von durchschnittlich 0,7 Prozentpunkten pro Jahr (2022–2023), womit im Jahr 2045 ein Anteil von 57,7 % erreicht würde (siehe Abbildung A 45) Die Klimaneutralitätsstudien weisen für das Jahr 2030 eine Bandbreite zwischen 65 % (EWI und ef.Ruhr 2021) und 35 % (REMod, Ariadne Transformation Tracker) aus.

Tabelle 6: Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Gebäude

Indikator	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (12/2016–12/2021)	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (12/2021–12/2023 bzw. 12/2024)	Ist-Wert (12/2023 bzw. 12/2024)	Politische Zielsetzung für das Jahr 2030	Benötigte durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr bis zur politischen Zielsetzung für das Jahr 2030	Bei linearer Fortschreibung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr (12/2021–12/2023 bzw. 12/2024) würde das politische Ziel für das Jahr 2030 rechnerisch [...]
Bestand Wärmepumpen	104 400	250 387 (12/2021–12/2024)	1 971 396 (12/2024)	6 000 000	671 434	↓ verfehlt werden
Anteil EE (inkl. Strom) am Endenergieverbrauch Wärme	0,4 Prozentpunkte	1,6 Prozentpunkte (12/2021–12/2023)	18,8 % (12/2023)	50 %	5,2 Prozentpunkte	↓ verfehlt werden
Anteil fossile Heizungssysteme am Bestand	-0,3 Prozentpunkte	-0,7 Prozentpunkte (12/2021–12/2023)	72,9 % (12/2023)	Kein politisches Ziel	-	-

Eigene Darstellung. Bei der Berechnung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr für den Zeitraum 2022 bis 2024 (Bestand Wärmepumpen) wurden die Zahlen für das Jahr 2024 auf Basis der aktuellen Daten extrapoliert. Quellen: AGEE-Stat (2023), BDEW (2021), BDEW (2022), BDEW (2023c), BWP (2024). Zur Methodik siehe Infokasten 1.

2.5 Verkehr

71 Im Sektor Verkehr sind die **THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gestiegen. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor 144,6 Mt CO₂-Äq. emittierte wurden, waren es im Jahr 2023 145,1 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht einem Anstieg im Zweijahreszeitraum von 0,5 Mt CO₂-Äq. oder 0,4 %. Der Sektor Verkehr hat seine zulässige Jahresemissionsmenge (siehe Diskussion in Kapitel 5.2 ERK (2024b)) in den Jahren 2022 und 2023 verfehlt.

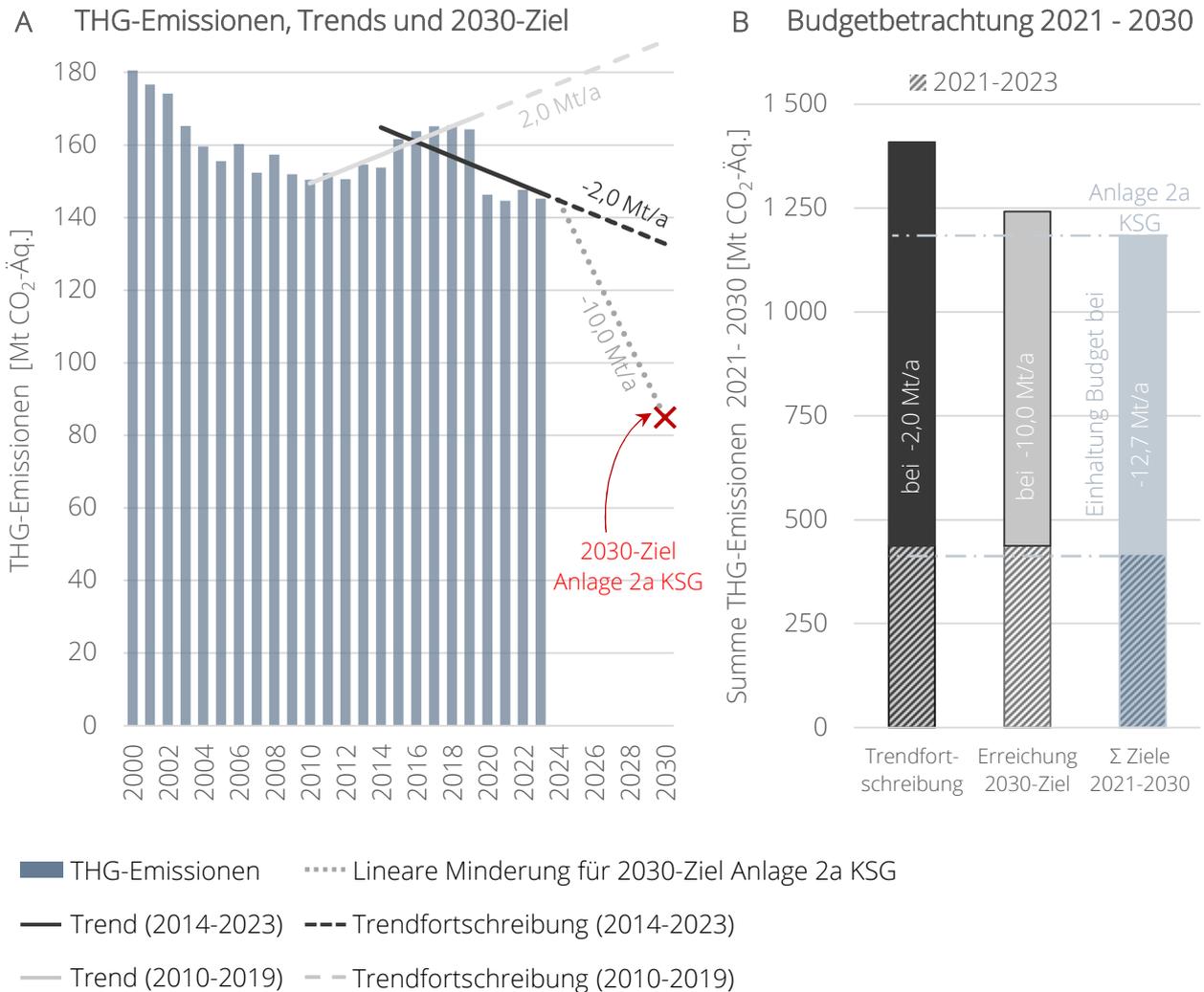
- 72 Abbildung 15 (Feld A) zeigt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 **mit dem 2030-Ziel für den Sektor Verkehr** gemäß Anlage 2a KSG⁴⁴. Es zeigt sich eine Trendumkehr von einem Ansteigen der THG-Emissionen in den Jahren 2010 bis 2019 (Trend von +2,0 Mt CO₂-Äq. pro Jahr) zu einer Reduktion der Emissionen in den Jahren 2014 bis 2023 (Trend von -2,0 Mt CO₂-Äq. pro Jahr).⁴⁵ Beide Trendfortschreibungen würden zu höheren THG-Emissionen führen als die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG (Beitrag des Sektors Verkehr zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030). Um dieses 2030-Ziel zu erreichen, wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine 5-fach so hohe Minderungsrate von 10 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig. Dabei ist allerdings wichtig zu beachten, dass der Trend der letzten 10 Jahre wesentlich durch die Einflüsse der Covid-19-Pandemie und damit einhergehenden Verhaltensänderungen geprägt wurde. Würde man die Trendbetrachtung auf die Jahre 2020 bis 2023 beschränken (nach der Covid-19-Pandemie), würde der Trend nahezu konstant auf einem niedrigeren Niveau verlaufen.⁴⁶
- 73 Abbildung 15 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** des Sektors Verkehr im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG dar. Das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 für den Sektor Verkehr beträgt 1 184 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-2,0 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 1 409 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030 resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 nicht eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 überschritten. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre ab dem Jahr 2024 eine jährliche Minderungsrate von 12,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig (1 184 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Diese Minderungsrate würde auch ausreichen, um die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 zu unterschreiten. Mit der ab dem Jahr 2024 für das 2030-Ziel kompatiblen Minderungsrate von 10,0 Mt CO₂-Äq. pro Jahr hingegen würde das THG-Budget im Zeitraum von 2021 bis 2030 nicht eingehalten (1 242 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).
- 74 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen für den Sektor Verkehr in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich nicht ausreichen würden, um einerseits das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG einzuhalten und andererseits die Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG zu unterschreiten, als Beitrag des Sektors Verkehr zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030. Zudem kommt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten zu dem Schluss, dass die THG-Emissionen gemäß der Projektionsdaten 2024 für den Verkehrssektor wahrscheinlich unterschätzt werden.

⁴⁴ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

⁴⁵ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Verkehr mit 1 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass die THG-Emissionen im Jahr 2024 ebenfalls auf dem 10-Jahres-Trend lagen. Laut einer ersten Schätzung lagen die THG-Emissionen im Sektor Verkehr im Jahr 2024 bei 144 Mt CO₂-Äq. (Agora Energiewende 2025) und somit mit 1 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend (145 Mt CO₂-Äq.).

⁴⁶ Die THG-Emissionen sind um 18 Mt CO₂-Äq. gegenüber dem Jahr 2019 gesunken. Dieser Bruch ist im Wesentlichen durch die Einflüsse der Covid-19-Pandemie und damit einhergehenden Verhaltensänderungen geprägt (Shammugam et al. 2022).

Abbildung 15: THG-Emissionen im Sektor Verkehr – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Die KSG-Ziele für den Sektor Verkehr entstammen der Anlage 2a KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2a (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2a KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsraten angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021-2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektoralen THG-Budget laut Anlage 2a KSG.

- 75 Der fossile und nicht-fossile **Kapitalstock** ergibt sich im Verkehrssektor aus dem Bestand der Verkehrsträger, die **Aktivität** aus der Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr⁴⁷ sowie der Wahl des Verkehrsträgers (Modal Split). Dabei macht der Straßenverkehr ca. 98 % der THG-Emissionen des Sektors aus und in etwa zwei Drittel der THG-Emissionen können dem Personen- sowie ein Drittel dem Güterverkehr zugeordnet werden.⁴⁸ Im Folgenden werden die Entwicklungen getrennt nach Personen- und Güterverkehr betrachtet. Während der Personenverkehr von der Verfügbarkeit an Verkehrsmitteln und individuellen Bedürfnissen nach Mobilität geprägt ist, unterliegt der Güterverkehr meist marktgetriebenen Entscheidungen und der wirtschaftlichen Entwicklung.
- 76 Eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur auf allen Verkehrsträgern ist essenziell, um Personen- und Güterverkehr effizient zu gestalten. Besonders im Hinblick auf die Reduktion von Emissionen spielt das **Schiennetz** eine zentrale Rolle, da Schienenverkehr im Vergleich zum Straßenverkehr eine emissionsärmere Alternative darstellt. Dennoch nimmt die Überlastung der deutschen Schieneninfrastruktur stetig zu. Die Länge überlasteter Schienenwege stieg von 187 km im Jahr 2008 auf 1 169 km im Jahr 2024 und damit auf einen Anteil von knapp 3,5 % (Allianz pro Schiene e. V. 2024). Gründe hierfür sind zum einen der deutlich zunehmende Schienenverkehr bei gleichzeitig leicht sinkender Länge des gesamten Schienennetzes. Zum anderen ist auch der Zustand des Schienennetzes relevant, der sich laut DB InfraGO AG (2024) kontinuierlich verschlechtert. Dieser Zustand führt zu Verspätungen und reduziert die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene gegenüber dem Straßenverkehr.

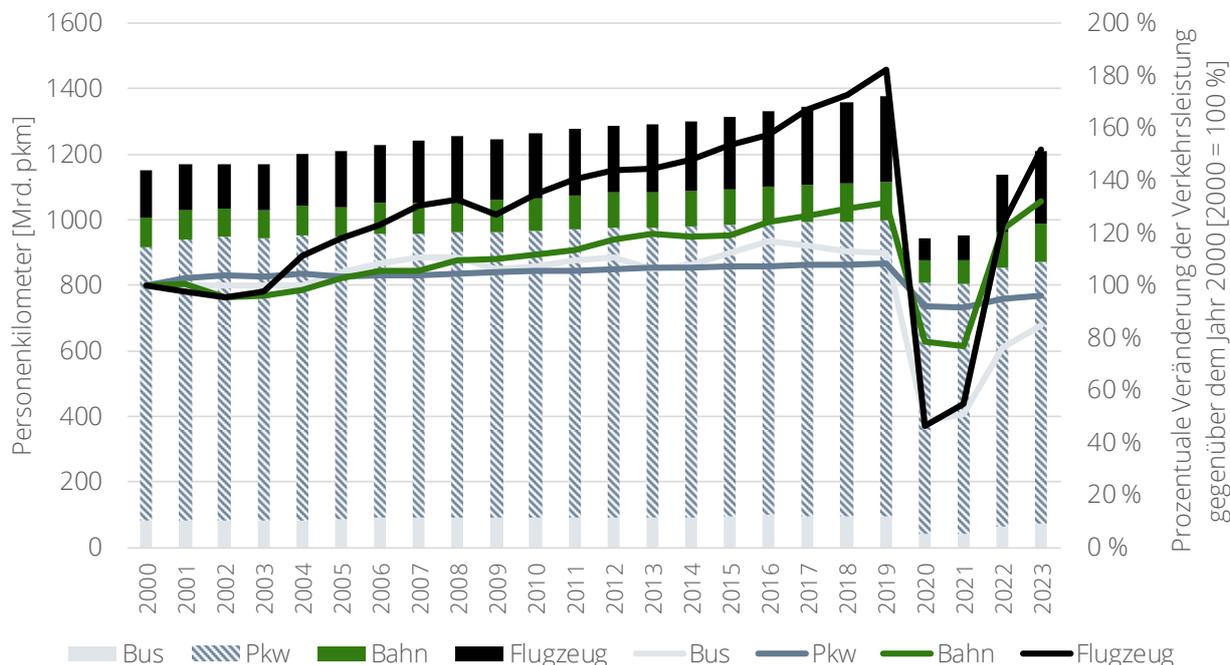
Personenverkehr

- 77 Die **Personenverkehrsleistung** steigt seit 2021 für alle Verkehrsträger wieder an, bleibt aber insgesamt weiterhin auf einem niedrigeren Niveau als vor der Covid-19-Pandemie (siehe Abbildung 16). Während der Zeitraum von 2020 bis 2022 von Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie geprägt war, ist eine verminderte Mobilität nach der Pandemie aufgrund hoher Kraftstoffpreise und dem weiterhin gestiegenen Homeoffice-Anteil nicht auszuschließen (Agora Verkehrswende 2024). Der Pkw-Verkehr hat das Vorpandemie-Niveau trotz eines Anstiegs noch nicht wieder erreicht. Der Bahnverkehr ist im Jahr 2023 wieder auf das Niveau von 2019 gestiegen, während der Busverkehr nur langsam wieder zunimmt. Der innerdeutsche Flugverkehr hat sich gegenüber dem Jahr 2019 mehr als halbiert (Destatis 2024d). Die Anteile der Verkehrsträger haben sich jedoch im Personenverkehr nicht wesentlich gegenüber dem Vorpandemie-Niveau verändert. Ein grundsätzlicher Wechsel zu emissionsärmeren Verkehrsträgern (**Modal Shift**) ist im Personenverkehr dementsprechend weiterhin nicht erkennbar (siehe Abbildung 16).

⁴⁷ Die Verkehrsleistung im Personenverkehr wird in Personenkilometer (Pkm) angegeben und beschreibt die Beförderung einer Person mit entsprechendem Verkehrsträger für einen Kilometer. Die Güterverkehrsleistung wird in Tonnenkilometer (tkm) angegeben und beschreibt die Beförderung einer Tonne eines Gutes für einen Kilometer mit entsprechendem Verkehrsträger.

⁴⁸ Die THG-Emissionen werden im Inventar nicht trennscharf dem Personen- und Güterverkehr zugeordnet. Das Inventar untergliedert den Verkehrssektor in die CRF-Kategorien Straßenverkehr, nationaler Luftverkehr, Schienenverkehr und Küsten- & Binnenschifffahrt. Für den Straßenverkehr wird weiter in Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Busse sowie motorisierte Zweiräder untergliedert. Die Emissionen des Straßenverkehrs lassen sich mit ihren jeweiligen Anteilen auf verschiedene CRF-Kategorien aufteilen: 1.A.3.b.i Pkw (ca. 63 %) ; 1.A.3.b.ii LNF (9 %) 1.A.3.b.iii SNF inkl. Busse (27 %) und 1.A.3.b.iv Motorisierte Zweiräder (1 %). Im Folgenden werden beim Personenverkehr die 1.A.3.b.i Pkw betrachtet und für den Güterverkehr die 1.A.3.b.iii SNF inkl. Busse betrachtet.

Abbildung 16: Entwicklung des motorisierten Personenverkehrs nach Verkehrsträger



Eigene Darstellung auf Basis von TREMOD (2024). Eine genaue Beschreibung der Daten und der Vorläufigkeit der Daten für das Jahr 2023 findet in Allekotte (2024). Der Flugverkehr umfasst dabei alle abgehenden Flüge und nicht ausschließlich Inlandsflüge, die für die Emissionsberichtserstattung berücksichtigt werden.

78 Im Hinblick auf die Aktivitätsentwicklung im Personenverkehr fällt der gestiegene Anteil der Beschäftigten im **Homeoffice** gegenüber dem Vorpandemie-Niveau auf. Der Anteil aller Erwerbstätigen, die mindestens gelegentlich im Homeoffice arbeiten, war im Jahr 2023 mit 23,5 % nur geringfügig niedriger als in den Pandemie-Jahren (Destatis 2024c). Ob dieser Anteil weiterhin bestehen bleibt, ist jedoch nicht eindeutig absehbar, da einige Unternehmen die Rückkehr zu Vollzeit-Büroarbeit im Verlauf des Jahres 2024 angekündigt haben (Donath 2024). Ein weiterer Grund für die niedrigere Aktivität gegenüber Vorpandemie-Niveau könnte **gestiegenen Kraftstoffpreisen** gegenüber dem Jahr 2020 liegen (Agora Verkehrswende 2024). Dieser Anstieg ist jedoch kein ausschließlich politisch intendiertes Ziel. Zwar wurde mit der CO₂-Abgabe im Jahr 2021 ein neuer Bestandteil des Kraftstoffpreises eingeführt, es ist jedoch zu beachten, dass das ursprünglich intendierte Preissignal der Energiesteuer durch die steigende Inflation deutlich abgeschwächt worden ist.⁴⁹ Die Hauptursache für die gestiegenen Preise war hingegen der Anstieg des Rohölpreises, der einen Teil des Kraftstoffpreises ausmacht.

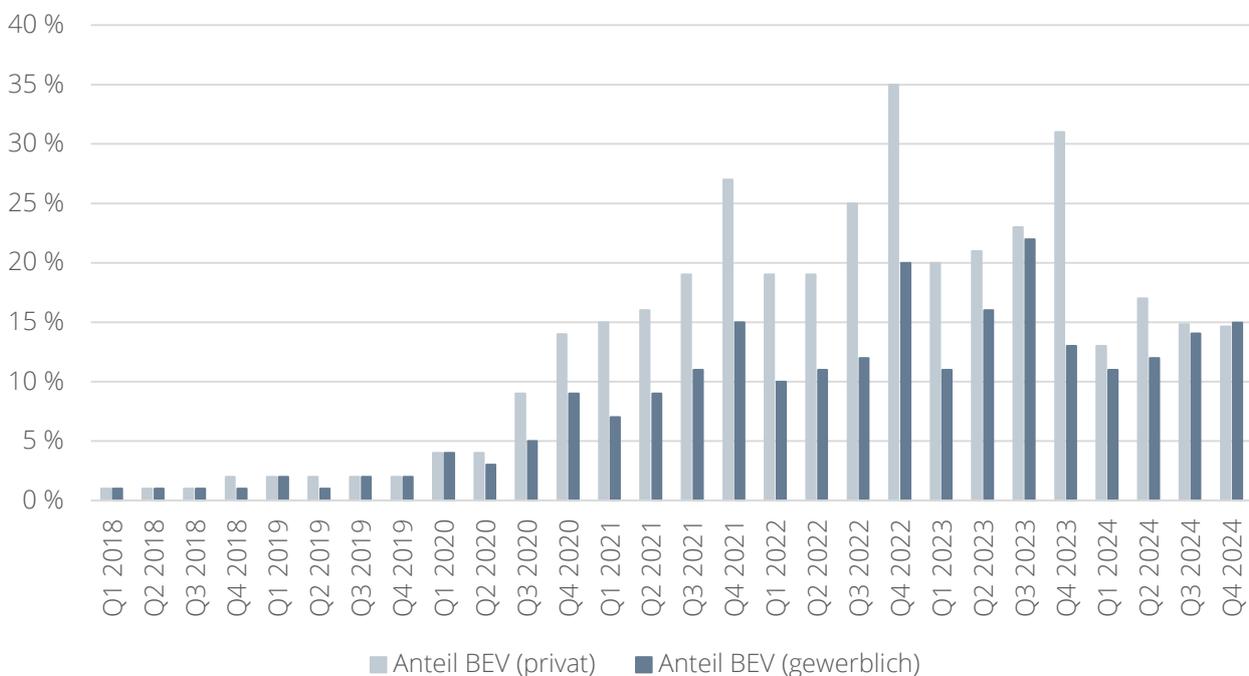
79 Im **fossilen Kapitalstock** ist in den vergangenen drei Jahren kaum Veränderung erkennbar. Die **Anzahl an fossilen Personenkraftwagen (Pkw)** ist bis 2020 gestiegen und nahm von dem höchsten Niveau (47,9 Mio.) lediglich leicht ab (47,7 Mio.) (KBA 2024a) (siehe Abbildung A 49). Wie in ERK (2024b, RZ 137) beschrieben, kam es lediglich zu Verschiebungen hinsichtlich der Antriebsart innerhalb des Bestands der Verbrenner-Pkw – von reinen Verbrennern hin zu Hybriden. Nach wie vor besteht der Großteil der

⁴⁹ So ist die nominale Höhe der Energiesteuer seit 2003 konstant für Diesel- und Ottokraftstoffe (47,04 Cent bzw. 65,45 Cent). Aktuell entsprechen die realen Preise der Energiesteuer, Mehrwertsteuer und CO₂-Abgabe für Ottokraftstoffe in etwa der Energiesteuer zur Einführung. Dieser Effekt der kalten Progression führt dazu, dass das ursprünglich intendierte Preissignal abgeschwächt wird.

Neuzulassungen aus Verbrennern (KBA 2024c). Diese verbleiben im Bestand und prägen diesen für die Zukunft. Somit ist ein **Abbau des fossilen Kapitalstocks** im Verkehrssektor bisher nicht erkennbar.

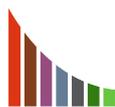
- 80 Der **Aufbau des nicht-fossilen Kapitalstocks** in Form von **batterieelektrischen Pkw (BEV)** schreitet voran, jedoch langsamer als in den Vorjahren (siehe Abbildung A 50). Abbildung 17 zeigt die anteiligen BEV-Neuzulassungen nach privater und gewerblicher Zulassung. Es zeigt sich, dass die Anteile über die vergangenen Jahre gestiegen sind, es kam jedoch ab September des Jahres 2023 bei den gewerblichen und ab Januar des Jahres 2024 bei den privaten Neuzulassungen zu einem erheblichen Einbruch (KBA 2024c). Bei den privaten Fahrzeugen hatten die BEV im Jahr 2024 einen um 5 % niedrigeren Anteil an den Neuzulassungen als noch im Jahr 2021. Bei den gewerblichen Fahrzeugen lag der Anteil der BEV an den Neuzulassungen im Jahr 2024 dagegen auf einem vergleichbaren Wert wie im Jahr 2022.

Abbildung 17: Prozentualer Anteil der BEV an den Neuzulassungen nach privater und gewerblicher Zulassung unterteilt nach Quartalen



Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024c).

- 81 Die Entwicklung der BEV-Neuzulassungen lässt sich zum großen Teil mit **Veränderungen in der Förderung und Ausgestaltung von steuerlichen Anreizen** erklären. So wurde beispielsweise zum 01.01.2023 die Höhe der Fördersumme für BEV angepasst. Diese Anpassung führte zu einem Vorzieheffekt am Ende des Jahres 2022, sodass Kaufentscheidungen hinsichtlich Neuanschaffungen in die Periode höherer Förderung verlagert wurden. Ebenso führte das Auslaufen der Förderung für gewerblich zugelassene BEV im September 2023 zu einem deutlichen Anstieg im Quartal davor. Gleiches gilt für das Auslaufen der Förderung für privat zugelassene BEV zum Ende des Jahres 2023. Zum anderen sind die geringen Neuzulassungen auf die sinkende Akzeptanz in der Bevölkerung für BEV zurückzuführen, die von 24 % (2021) auf 17 % (2024) fiel, bedingt durch Bedenken zu Kosten, Reichweite, Umweltwirkung und Ladeinfrastruktur sowie anhaltende Diskussionen über das Verbrennerverbot, die



zu Unsicherheiten bei Herstellern führen (acatech 2024; Rudschies 2024). Darüber hinaus zeigt sich, dass der prozentuale Wertverlust bei BEV höher gegenüber Verbrennern ist (DAT 2024). Der Wertverlust entstand, weil die höhere Förderung die Preise neuer und gebrauchter BEV stärker anglich. Dies führte dazu, dass die Preise für gebrauchte BEV sanken (DAT 2024).

- 82 Neben der Art der Motorisierung ist die **Effizienz des Kapitalstocks** wichtig für die Ressourceneffizienz und die Höhe der THG-Emissionen.⁵⁰ Bereits in ERK (2022c) wurde aufgezeigt, dass sowohl die durchschnittliche Motorleistung als auch die Leermasse von Fahrzeugen über die Zeit gestiegen sind, was einer möglichen Effizienzsteigerung entgegenwirkt. Gegenüber dem Jahr 2021 verdoppelte sich die durchschnittliche Motorleistung der neuzugelassenen BEV im Jahr 2023 und die durchschnittliche Leermasse stieg um 12,6 %. Abbildung 19 veranschaulicht die Entwicklung dieser Parameter für neuzugelassene Pkw mit Verbrennungsmotor, Hybridfahrzeuge und BEV im Zeitraum von 2018 bis 2023. Eine Verschiebung hin zu größeren und schwereren Fahrzeugen erklärt den deutlichen Anstieg des durchschnittlichen Gewichts und der Motorleistung bei BEVs (KBA 2024c).⁵¹
- 83 Infokasten 4 führt Aktivitäten und Kapitalstock zusammen. Im Infokasten werden anhand eines Szenarios die Auswirkungen der aktuellen Verkehrsnachfrage und Neuzulassungen auf die **Entwicklung des Kapitalstocks im Verkehrssektor** diskutiert. Auf aktuellem Niveau konstante Verkehrsleistung und Neuzulassungsanteile würden unter Annahme konstanter technischer Lebensdauer zu einem Rückgang des Fahrzeugbestands von 49 Mio. auf 43 Mio. Fahrzeugen im Jahr 2030 führen. In diesem Fahrzeugbestand wären 3,5 Mio. BEV enthalten. Das Ziel von 15 Mio. zugelassenen BEV im Jahr 2030 würde also verfehlt werden.

Infokasten 4: Szenario-basierte Entwicklung des Pkw-Kapitalstocks im Verkehrssektor

Im Folgenden wird ein Szenario berechnet, das die Auswirkungen einer Fortschreibung der aktuellen durchschnittlichen Werte der letzten Jahre (Neuzulassungsraten, Nachfrage) auf die Entwicklung des Pkw-Kapitalstocks und somit die Emissionen im Verkehrssektor aufzeigt.

Die Zusammensetzung des aktuellen Pkw-Kapitalstocks im Verkehrssektor ergibt sich aus historischen Neuzulassungen und der Lebensdauer der Fahrzeuge. In gleicher Weise prägen die aktuellen Neuzulassungen den zukünftigen Kapitalstock. Im Folgenden liegt der Fokus auf der Entwicklung des Pkw-Bestandes bis zum Jahr 2030.

Für die Berechnungen wurde ein Bestands-Fluss-Modell genutzt. Dieses berechnet, wie sich der Fahrzeugbestand von Pkw basierend auf Neuzulassungen und Außerbetriebnahmen verändert. Das Modell berechnet den Bedarf an Pkw aus Pkw-Personenkilometern (Pkm), Besetzungsgrad der Pkw und Jahresfahrleistung pro Pkw. Die jährlichen Außerbetriebnahmen ergeben sich im Modell aus der Altersstruktur der Pkw, und der Annahme zu deren Lebensdauer. Die Menge der Neuzulassungen ergibt sich aus Gesamtbedarf an Pkw abzüglich der **Außerbetriebnahmen**. Somit ergibt sich aus Außerbetriebnahme und Menge der Neuzulassungen die Austauschrate, das heißt der Anteil des

⁵⁰ Während BEV bilanziell keine Emissionen im Verkehrssektor verursachen, entstehen Emissionen in der Energiewirtschaft und im Industriesektor. BEV mit höherem Energiebedarf verursachen damit insbesondere eine höhere Stromnachfrage und Emissionen in der Energiewirtschaft. Weiter verursachen größere Pkw in der Produktion höhere Emissionen.

⁵¹ Während im Jahr 2021 noch Minis, Kleinwagen, Mittelklasse- und Kompaktfahrzeuge etwa 65 % der Neuzulassungen von BEVs ausmachten, sank ihr Anteil bis 2023 auf 40 %. Gleichzeitig stieg der Anteil neu zugelassener SUVs und Geländewagen unter den BEVs auf über 50 %.

Kapitalstocks der jährlich ersetzt wird. Die Anteile der Antriebsarten an den Neuzulassungen werden per Annahme definiert.

Es wurde ein Szenario auf Basis aktueller Daten definiert. Dafür wurde eine konstante Personenverkehrsnachfrage für Pkw auf dem aktuellen Niveau angenommen. Das bedeutet, dass die Personenkilometer, Pkw-Jahresfahrleistung und der Besetzungsgrad der Pkw auf aktuellem Niveau konstant gehalten wurden. Historisch betrachtet ist die Anzahl der Pkw zwar immer gestiegen, jedoch nahmen auch die Personenkilometer kontinuierlich zu. Der beobachtete Rückgang der Personenkilometer im Zeitraum von 2019 bis 2023 (siehe Abbildung 16) könnte daher, wie in dieser Berechnung angenommen, tatsächlich zu einem Rückgang des Pkw-Kapitalstocks führen. Die Austauschrate ergibt sich aus dem Modell, wie oben beschrieben. Die Anteile der Neuzulassungen basieren auf aktuellen Daten (KBA 2024c). Die detaillierten Annahmen sind in Tabelle A 10 dokumentiert.

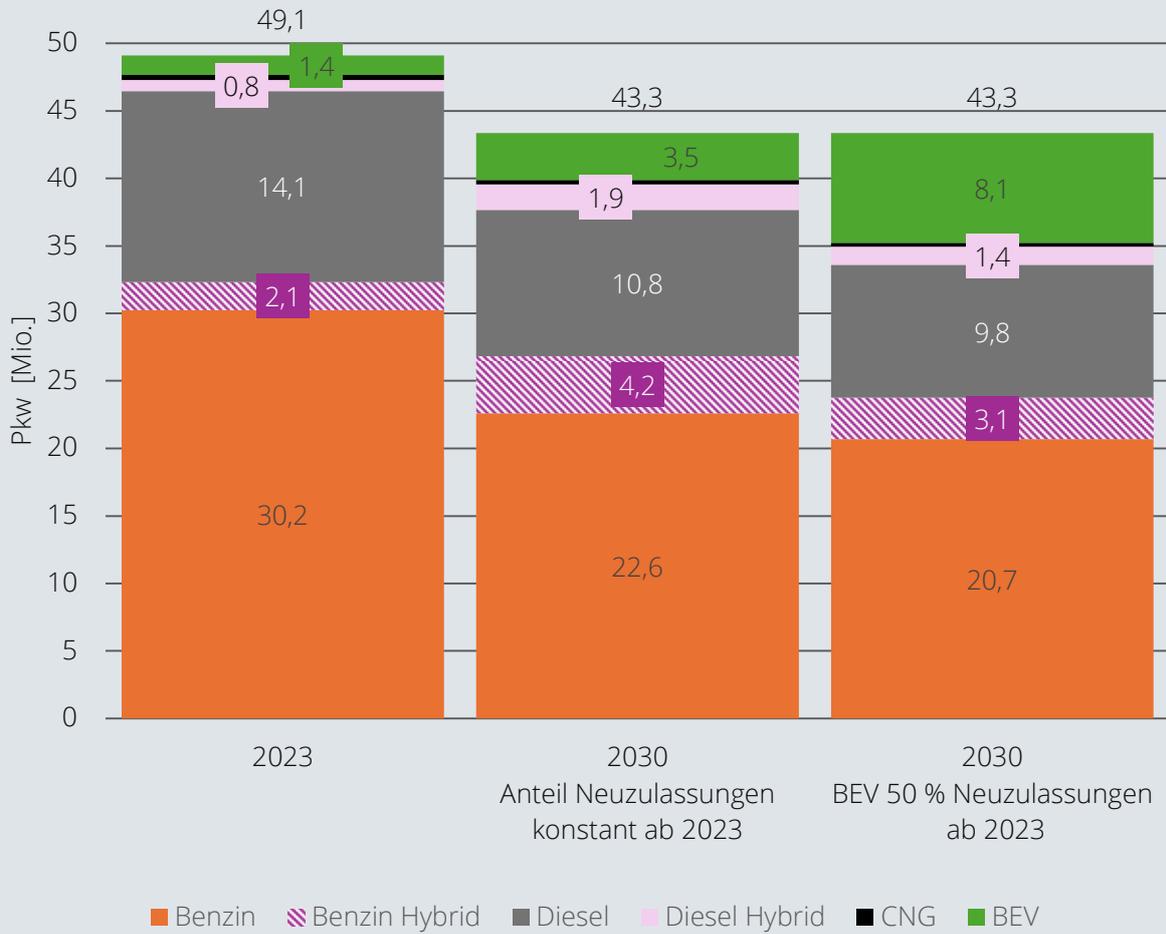
Im Ergebnis würde die durchschnittliche Austauschrate im Zeitraum von 2024 bis 2030 etwa 4,5 % betragen. Zusätzlich würden in diesem Zeitraum jährlich etwa 2,5 % des Bestandes ausgesondert, ohne dass diese ersetzt würden. Dies würde insgesamt zu einer Bestandsreduktion von 12 % führen (siehe Abbildung 18). Die Ursache dafür liegt im niedrigeren Niveau der Personenverkehrsleistung im Vergleich zum Vorpandemie-Niveau (siehe RZ 65).⁵² Der durchschnittliche BEV-Anteil an den Neuzulassungen der Jahre 2022 und 2023 (17 %) führt in dieser Berechnung lediglich zu einem Bestand von 3,5 Mio. BEV im Jahr 2030 und bliebe damit deutlich hinter dem politischen Ziel von 15 Mio. BEV im Jahr 2030 zurück.⁵³ Gleichzeitig nähme der Anteil benzin- und dieselbetriebener PKW zwar ab, würde jedoch weiterhin den Kapitalstock im Jahr 2030 dominieren. Selbst eine Erhöhung des BEV-Anteils auf 50 % der Neuzulassungen würde lediglich in einem Bestand von 8,1 Mio. BEV im Jahr 2030 resultieren, würde also das Ziel der Bundesregierung von 15 Mio. deutlich unterschreiten. Um das Ziel von 15 Mio. BEV im Jahr 2030 zu erreichen, wären 2,2 Mio. neue BEV pro Jahr notwendig (siehe Tabelle 8). Das entspricht nahezu der gesamten Anzahl an Neuzulassungen dieser Berechnung, wenn, wie oben beschrieben, eine Austauschrate von 4,5 % angenommen wird.

Die Ergebnisse unterstreichen die strukturellen Hindernisse bei der Transformation des Kapitalstocks im Verkehrssektor: Die Austauschrate begrenzt den Einfluss der Neuzulassungen auf den Gesamtbestand. Ohne eine gezielte Erhöhung der Austauschrate und einen daraus folgenden Abbau des fossilen Kapitalstocks wird die Transformation hin zu nicht-fossilen Alternativen dementsprechend nur langsam verlaufen; selbst bei einem BEV-Anteil von 50 % an den Neuzulassungen ab dem Jahr 2025 würden im Jahr 2030 weiterhin mehr als 30 Mio. fossile PKW im Bestand sein.

⁵² Dieser Rückgang der Pkw wird getrieben durch die gesunkenen Personenkilometer im Jahr 2023 im Vergleich zu Vorpandemie-Niveau. Damit ergibt sich im Modell ein geringerer Bedarf an Pkw als aktuell im Bestand, was zu einem Netto-Abbau führt. Dass dieses niedrige Niveau der Personenkilometer bestehen bleibt ist jedoch ungewiss. Auch könnte es einen geringeren Einfluss auf die Anzahl der Pkw haben als hier angenommen. Somit wird hier angenommen, dass eine verminderte Mobilitätsnachfrage nicht zu geringerer Auslastung eines Pkw führt, sondern zur Verringerung des Bestandes bei konstanter Auslastung.

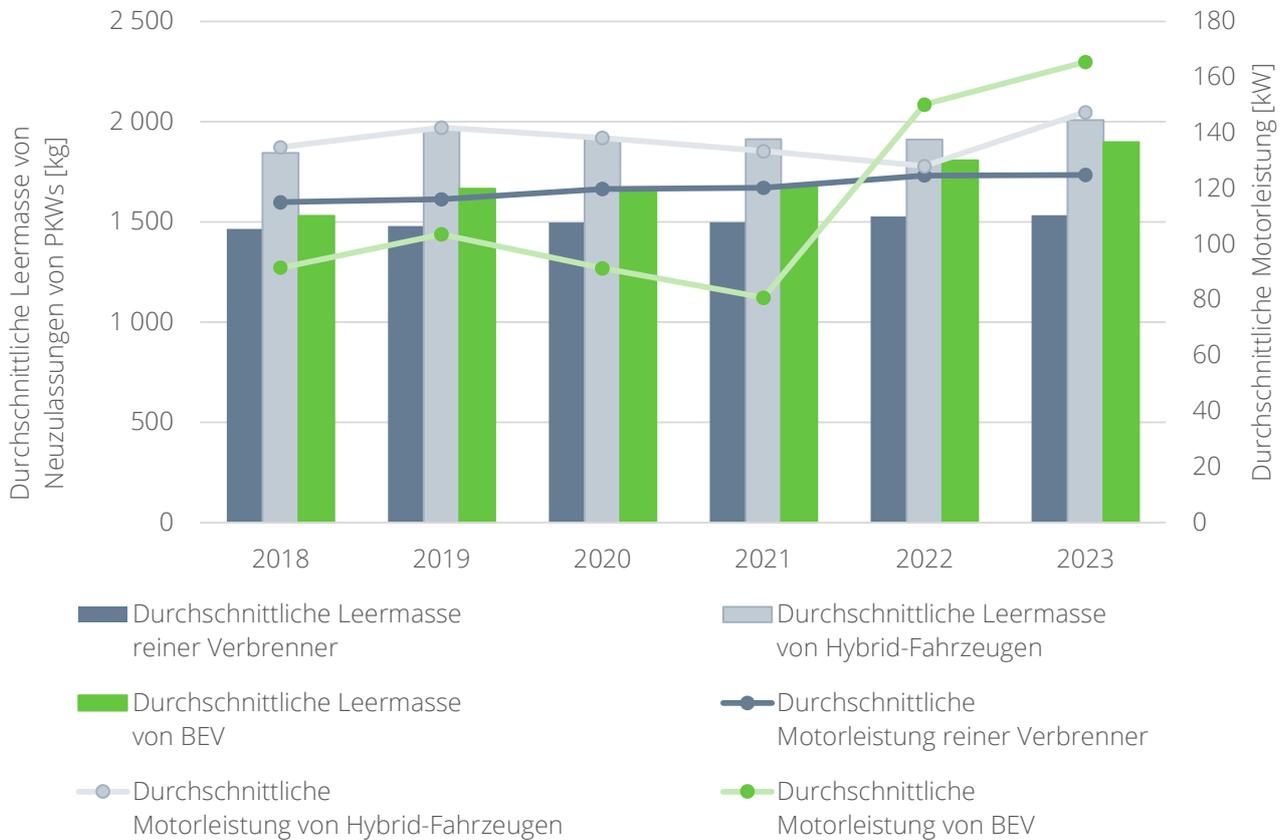
⁵³ Sollte sich der gesamte Bestand an Pkw nicht verringern, und es würden 6 Mio. mehr Pkw im Jahr 2030 zugelassen sein, wäre die Anzahl BEV um etwa 1 Mio. höher.

Abbildung 18: Projizierter Pkw-Bestand im Jahr 2030 nach Szenario



Eigene Darstellung auf Basis von eigenen Berechnungen und Annahmen (siehe Tabelle A 10). Szenario „Anteil Neuzulassungen konstant ab 2023“: 2023 auf dem Durchschnitt der Jahre 2022 und 2023. Szenario „BEV 50 % Neuzulassungen ab 2023“: Der Anteil der BEV-Neuzulassungen wird ab 2023 auf 50 % gesetzt. Die absolute Anzahl der Neuzulassungen ergibt sich aus der Berechnung. CNG: Verdichtetes Erdgas.

Abbildung 19: Vergleich der durchschnittlichen Leermasse und Motorleistung nach Antriebsart neu zugelassener Pkw



Eigene Darstellung auf Basis von EEA (2024).

84 Tabelle 7 stellt die Dynamik in der Entwicklung der wichtigsten Indikatoren im Sektor Personenverkehr dar. Die Indikatoren mit politischer Zielsetzung zeigen, dass das benötigte Wachstum höher sein müsste, um die Ziele zu erreichen. Weiter zeigen die Indikatoren in Bezug auf den Abbau des fossilen Kapitalstock geringe Veränderungen auf.

Tabelle 7: Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Personenverkehr

Indikator	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (01/2017–01/2022)	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (01/2022–01/2025)	Ist-Wert (10/2024)	Politische Zielsetzung für das Jahr 2030	Benötigte durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr bis zur politischen Zielsetzung für das Jahr 2030	Bei linearer Fortschreibung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr (01/2022–01/2025) würde das politische Ziel für das Jahr 2030 rechnerisch [...]
Bestand BEV	116 890	343 340 ^{a)}	1,6 Mio.	15 Mio.	2,2 Mio.	 verfehlt werden
Bestand Verbrenner-Pkw	430 576	-17 273	47,8 Mio.	Kein politisches Ziel	-	-
Anzahl öffentlicher Ladepunkte	11 088	32 239	151 718	1 Mio.	140 201	 verfehlt werden ⁵⁴

Eigene Darstellung. Bei der Berechnung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr für den Zeitraum 2022 bis 2024 (Bestand BEV und öffentliche Ladepunkte) wurden die Zahlen für das Jahr 2024 auf Basis der aktuellen Daten extrapoliert. Quelle: KBA (2024a) und BNetzA (2024a). Zur Methodik siehe Infokasten 1. a) Die Daten von 10/2024 bis 01/2025 wurden linear extrapoliert, da für diesen Zeitraum noch keine Daten verfügbar waren.

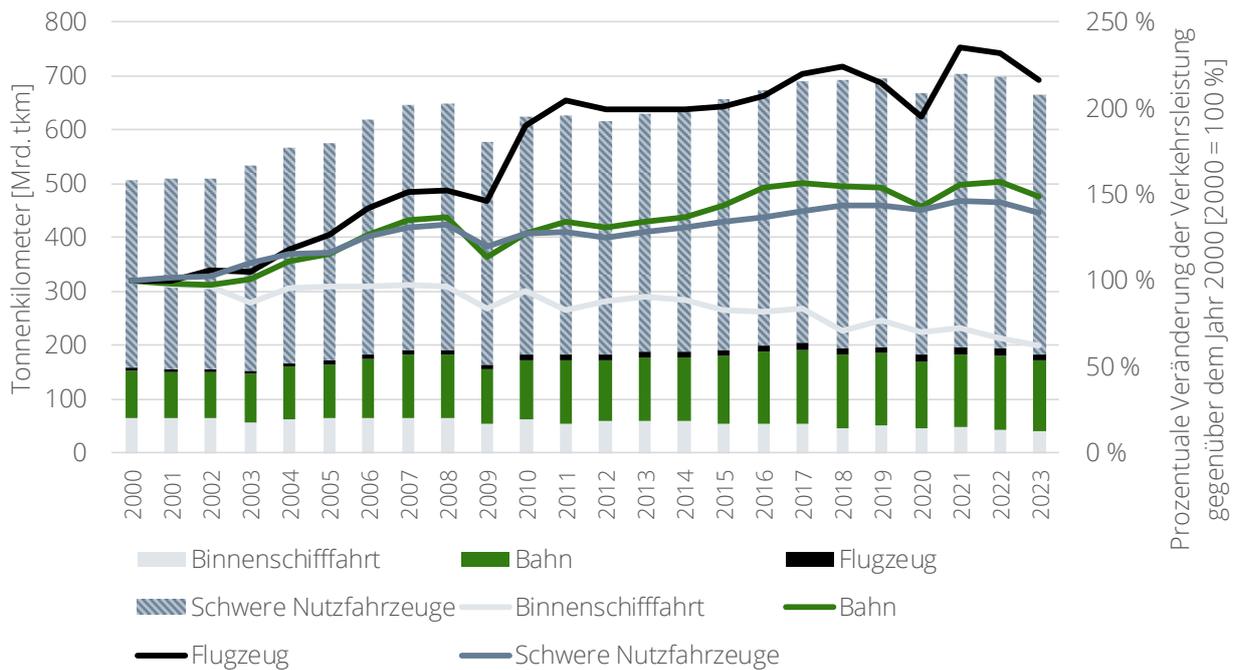
Güterverkehr

- 85 Die Güterverkehrsleistung und die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland sind eng korreliert (SVR Wirtschaft 2024b). Während die wirtschaftliche Entwicklung Einfluss auf die Summe der **Güterverkehrsleistung** hat, blieben in den vergangenen Jahren die jeweiligen Anteile der Verkehrsträger an der Verkehrsleistung nahezu konstant (siehe Abbildung 20). Dabei werden in etwa 70 % der Verkehrsleistung auf der Straße erbracht, gefolgt von etwa 20 % auf der Schiene (siehe Abbildung A 52). Entsprechend ist ein Wechsel zu emissionsärmeren Verkehrsträgern (**Modal Shift**) im Güterverkehr nicht erkennbar. In der Summe sieht man jedoch sinkende Aktivitäten in Zeiten wirtschaftlicher Schwäche und somit ähnliche Entwicklungen wie in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie.
- 86 Es gibt mehrere Gründe dafür, dass der Modal Shift im Güterverkehr nicht voranschreitet. Zum einen finden ein Großteil der Transporte auf einer Distanz von unter 200 km statt (SVR Wirtschaft 2024b). Auf dieser Distanz ist der Transport abseits des Straßengüterverkehrs entweder nicht möglich oder kaum wettbewerbsfähig (SVR Wirtschaft 2024b). Weiter hat die Art der transportierten Güter einen großen Einfluss auf die Wahl des Transportmittels. So werden Konsumgüter überwiegen auf der Straße transportiert, wohingegen Massengüter und Rohstoffe vorrangig per Schiene oder Binnenschiff transportiert werden. Zusätzlich spielen besonders beim Schienenverkehr Kapazitäten und Überlastungen eine entscheidende Rolle. Während in der Vergangenheit die Verkehrsleistung sowohl

⁵⁴ Unter der Annahme eines zukünftigen exponentiellen Wachstums würde die Zubaurate an Ladepunkten ausreichen, um das Ziel zu erreichen.

im Personen- als auch im Güterverkehr auf der Schiene zunahm, nahm die Länge des Schienennetzes ab (Allianz pro Schiene e. V. 2024). Auch die Länge der Stecken mit festgestellter Überlastung nahm kontinuierlich zu (Allianz pro Schiene e. V. 2024). Die Länge des Straßennetzes, insbesondere der Bundesautobahnen, nimmt hingegen kontinuierlich zu (UBA 2024g). Da der Straßengüterverkehr die meisten Emissionen verursacht, wird genauer betrachtet, welche Fahrzeuge (Kapitalstock) dabei genutzt werden.

Abbildung 20: Entwicklung des motorisierten Güterverkehrs nach Verkehrsträgern



Eigene Darstellung auf Basis von TREMOD (2024). Eine genaue Beschreibung der Daten und der Vorläufigkeit der Daten für das Jahr 2023 findet sich in Allekotte (2024). Der Flugverkehr umfasst dabei alle abgehenden Flüge und nicht ausschließlich Inlandsflüge, die für die Emissionsberichtserstattung berücksichtigt werden.

87 Der fossile **Kapitalstock** im Straßengüterverkehr unterteilt sich in Lastkraftwagen (**Lkw**) und **Sattelzugmaschinen**. Die schweren Nutzfahrzeuge (Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse über 3,5 Tonnen und Sattelzugmaschinen) machen aufgrund von hohen Transportlasten und -distanzen einen Großteil der Emissionen aus (SVR Wirtschaft 2024b). Der Anteil dieser Gruppe an den Emissionen des Güterverkehrs entspricht in etwa 80 %. Der Bestand der Sattelzugmaschinen ist nahezu konstant bei etwa 230 000 Fahrzeugen (siehe Abbildung A 53). Ebenso ist der Bestand der Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse über 3,5 Tonnen konstant bei etwa 530 000. Lkw mit einer mit einer zulässigen Gesamtmasse unter 3,5 Tonnen machen ca. 86 % des Lkw-Bestandes aus. Der Bestand dieser Klasse steigt kontinuierlich. Dabei machen sie mit etwa 20 % der Emissionen des Straßengüterverkehrs jedoch nur einen vergleichsweise geringen Anteil aus (SVR Wirtschaft 2024b).

Tabelle 8: Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Güterverkehr

Indikator	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (01/2019–01/2022 bzw. 2017–2021)	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (01/2022–01/2025 bzw. 2022–2024)	Ist-Wert (10/2024 bzw. 2022)	Politische Zielsetzung für das Jahr 2030	Benötigte durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr bis zur politischen Zielsetzung für das Jahr 2030	Bei linearer Fortschreibung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr (2022–2024) würde das politische Ziel für das Jahr 2030 rechnerisch [...]
Fossile Lkw und Sattelzüge	126 399 (01/2019–01/2022)	89 106 (01/2022–01/2025) ^{a)}	4 Mio. (10/2024)	Kein politisches Ziel	-	-
Nicht-Fossile Lkw und Sattelzüge	8 727 (01/2019–01/2022)	16 516 (01/2022–01/2025) ^{a)}	89 877 (10/2024)	Kein politisches Ziel	-	-
Anteil Schiene am Güterverkehr	-0,1 Prozentpunkte (2017–2021)	0,3 Prozentpunkte (2022–2024) ^{b)}	19 % (Jahr 2022)	25,0 %	0,8 Prozentpunkte	 verfehlt werden

Eigene Darstellung. Bei der Berechnung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr für den Zeitraum 2022 bis 2024 (Nicht-fossile/Fossile Lkw und Sattelzüge) wurden die Zahlen für das Jahr 2024 auf Basis der aktuellen Daten extrapoliert. Quelle: KBA (2024a) und DLR et al. (2023). Zur Methodik siehe Infokasten 1. a) Die Daten von 10/2024 bis 01/2025 wurden linear extrapoliert, da für diesen Zeitraum noch keine Daten verfügbar waren. b) Die Daten für die Jahre 2023 und 2024 wurden linear extrapoliert, da für diesen Zeitraum noch keine Daten verfügbar waren.

88 Dort, wo eine Verlagerung von der Straße auf emissionsärmere Verkehrsträger nicht möglich ist, besteht die Möglichkeit **batterieelektrische Lkw (BE-Lkw)** einzusetzen (**nicht-fossiler Kapitalstock**).⁵⁵ Der Anteil der batterieelektrischen Lkw im Bestand stieg von ca. 0,9 % im Jahr 2021 auf 2,3 % im Juni 2024 (KBA 2024a). Dabei machen sie mit einer zulässigen Nutzlast bis 2 Tonnen etwa 99 % im Bestand aus (KBA 2024b). Je höher die zugelassene Nutzlast, desto geringer der Anteil an batterieelektrischen Lkw. Bei den Sattelzugmaschinen ist der Anteil hingegen deutlich geringer (0,3 % bzw. 641 Fahrzeuge), jedoch die potenzielle Entwicklungsdynamik stärker. Dieser niedrige Anteil lässt sich durch eine geringe Verfügbarkeit an Modellen in diesem Segment und durch die verzögerte Ausschreibung des initialen Ladenetzes für Lkw erklären. Dennoch ist die potenzielle Dynamik aufgrund deutlich kürzerer Lebenszyklen bei Sattelzugmaschinen im Vergleich zu Pkw hoch. In Verbindung mit hohen Verkehrsleistungen der Sattelzüge besteht hier grundsätzlich ein großer Hebel zur Emissionsreduktion im Güterverkehr (SVR Wirtschaft 2024b) (siehe auch Abbildung A 54).

⁵⁵ Aktuell spielen wasserstoffbetriebene Lkw und Sattelzugmaschinen eine marginale Rolle beim Aufbau eines nicht-fossilen Kapitalstocks: Ihr Anteil liegt bei nur 0,007 % bzw. 0,004 %. Gründe für den im Vergleich zum batterieelektrischen Fahrzeug langsamen Zubau liegen in (1) der niedrigeren Energieeffizienz aufgrund der vorgelagerten Wasserstoffherstellung und -speicherung, (2) damit einhergehenden höheren Kosten im Vergleich zu anderen Antriebsarten und (3) großen Herausforderungen bei einer Bereitstellung einer Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur (Schill et al. 2024). In den „Big 5“-Klimaneutralitätsstudien spielen wasserstoffbetriebene Nutzfahrzeuge zudem in den meisten Szenarien eine untergeordnete Rolle.

89 Tabelle 8 stellt die Dynamik in der Entwicklung der wichtigsten Indikatoren im Sektor Güterverkehr dar. Die Indikatoren mit politischer Zielsetzung zeigen, dass das benötigte Wachstum höher sein müsste, um die Ziele zu erreichen. Weiter zeigen die Indikatoren in Bezug auf den Abbau des fossilen Kapitalstock geringe Veränderungen auf.

2.6 Landwirtschaft

90 Im Sektor Landwirtschaft sind die **THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gesunken. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor 64,9 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 63 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht einem Rückgang im Zweijahreszeitraum von 1,9 Mt CO₂-Äq. oder 3 %. Der Sektor Landwirtschaft hat seine zulässige Jahresemissionsmenge (siehe Diskussion in Kapitel 5.2 ERK (2024b)) in den Jahren 2022 und 2023 eingehalten.⁵⁶ Jedoch würde die Landwirtschaft laut Projektionsdaten 2024 ab dem Jahr 2044 wegen der geringen Minderung der Sektor mit den höchsten THG-Emissionen sein.

91 Abbildung 21 (Feld A) zeigt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 **mit dem 2030-Ziel für den Sektor Landwirtschaft** gemäß Anlage 2a KSG⁵⁷. Es zeigt sich eine Trendumkehr von einer Stagnation der THG-Emissionen in den Jahren 2010 bis 2019 (Trend von 0 Mt CO₂-Äq. pro Jahr) zu einer Reduktion der Emissionen in den Jahren 2014 bis 2023 (Trend von -1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr).⁵⁸ Mit der Trendfortschreibung der Jahre 2014 bis 2023 würde die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG erreicht (Beitrag des Sektors Landwirtschaft zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030), eine Fortschreibung des Trends der Jahre 2010 bis 2019 würde zu einer Überschreitung führen.

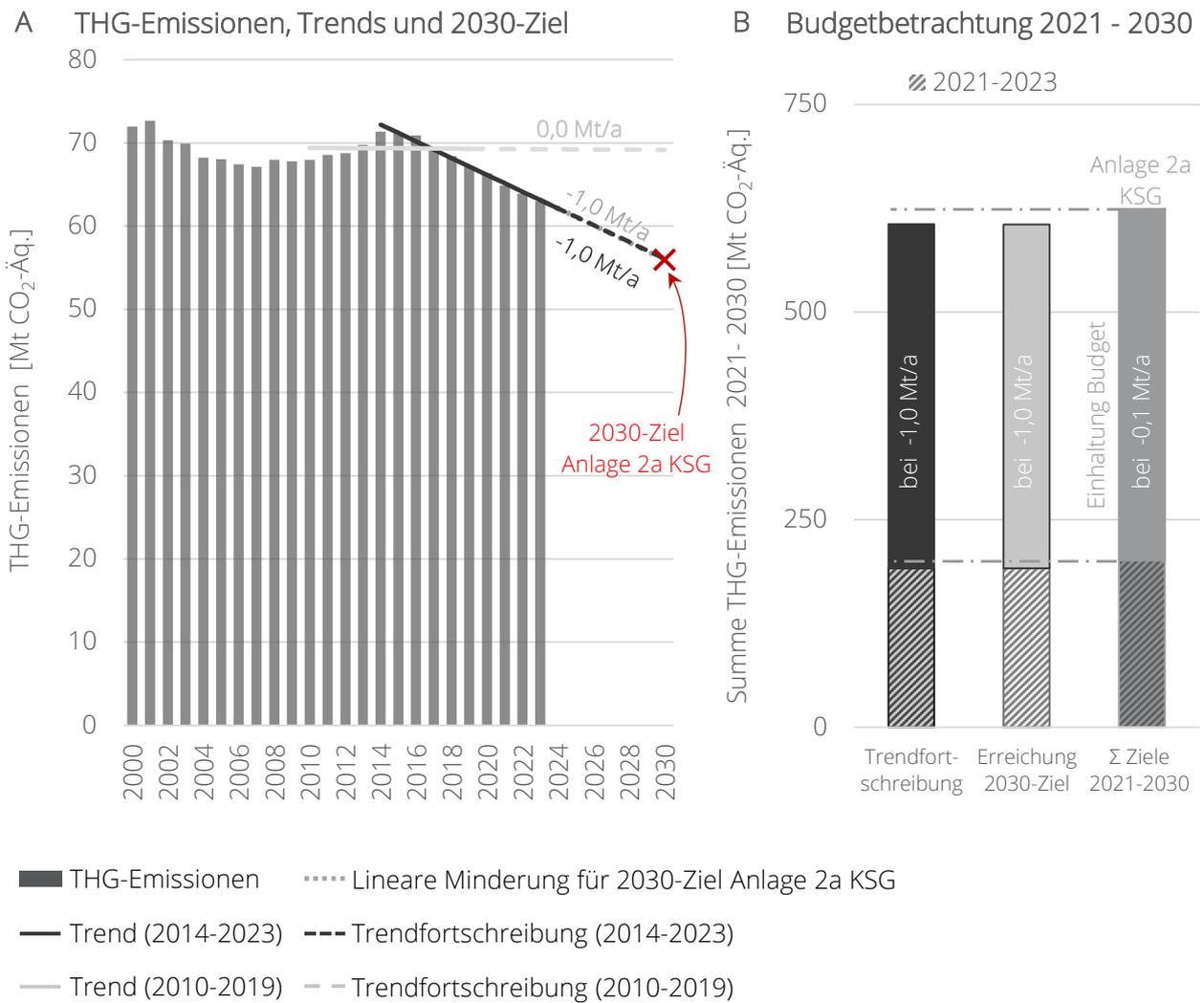
92 Abbildung 21 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** des Sektors Landwirtschaft im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG dar. Das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 für den Sektor Landwirtschaft beträgt 624 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 605 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030 resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 erreicht. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre ab dem Jahr 2024 eine jährliche Minderungsrate von 0,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig (624 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Diese Minderung würde nicht reichen, um gleichzeitig die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 zu erreichen oder zu unterschreiten. Mit der für das 2030-Ziel ebenfalls kompatiblen Minderungsrate von 1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr hingegen könnte auch das THG-Budget im Zeitraum von 2021 bis 2030 eingehalten werden (605 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).

⁵⁶ Dass die KSG-Ziele in der Landwirtschaft so deutlich erreicht werden, liegt daran, dass sie auf Basis von alten Berechnungsmethoden gesetzt wurden. Die Aktualisierung der Methoden hat zur Folge, dass die THG-Emissionen rechnerisch niedriger ausfallen als zuvor (Mathivanan et al. 2021; ERK 2022c).

⁵⁷ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

⁵⁸ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft mit weniger als 1 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass die THG-Emissionen im Jahr 2024 ebenfalls auf dem 10-Jahres-Trend lagen. Laut einer ersten Schätzung lagen die THG-Emissionen im Sektor Verkehr im Jahr 2024 bei 144 Mt CO₂-Äq. (Agora Energiewende 2025) und somit mit 1 % Abweichung in etwa auf dem 10-Jahres-Trend (145 Mt CO₂-Äq.).

Abbildung 21: THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Die KSG-Ziele für den Sektor Landwirtschaft entstammen der Anlage 2a KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2a (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2a KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsraten angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021-2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektoralen THG-Budget laut Anlage 2a KSG.

93 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen für den Sektor Landwirtschaft in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich ausreichen würden, um das THG-Budget über den Zeitraum von

2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG einzuhalten. Allerdings würden sie voraussichtlich knapp nicht ausreichen, um die Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG zu unterschreiten, als Beitrag des Sektors Landwirtschaft zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030. Zudem stützt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten diese Einschätzung, betont aber auch, dass die Ziele in Abs. 2 KSG nicht an die Methodenänderungen bei der Emissionsberechnung ab dem Berichtsjahr 2021 angepasst worden sind (siehe FN 56).

- 94 Die Emissionsreduktionen in der Landwirtschaft lassen sich überwiegend auf Veränderungen in den **Aktivitäten** zurückführen. Der **Kapitalstock** (mobile und stationäre Feuerungsanlagen wie z. B. Landmaschinen) trägt bisher nicht zum Rückgang der THG-Emissionen bei.
- 95 Der Rückgang der **Aktivitäten** zeigt sich unter anderem im Rückgang der **Rinder- und Schweinebestände** (siehe Tabelle 9, Abbildung A 56, und Abbildung A 17) (Destatis 2025b; 2025c). Diese sind schon seit dem Jahr 2014 rückläufig und dieser Trend setzt sich seit 2021 weiter fort. Nicht nur die Bestände, sondern auch der Konsum von Rind- und Schweinefleisch sowie deren Import und Export sind rückläufig (BMEL 2024a). Der Konsum von Rindfleisch ging zwischen den Jahren 2021 und 2023 um rund 12 % zurück und setzte damit den seit dem Jahr 2019 andauernden Trend fort. Der Konsum von Schweinefleisch sank im gleichen Zeitraum um rund 10 % und setzte den Trend der vergangenen zehn Jahre fort. Beim Rindfleisch gingen die Exportmengen im Zeitraum von 2021 bis 2023 um rund 4 % zurück, während die Importmengen um rund 11 % sanken. Beim Import von Schweinefleisch ist zwischen den Jahren 2021 und 2023 ebenfalls ein Rückgang um 11 % zu verzeichnen. Auffällig stark, nämlich um rund 22 %, sank der Export von Schweinefleisch im Zeitraum von 2021 bis 2023. Das liegt jedoch überwiegend am von China auferlegten Einfuhrverbot ab dem Jahr 2020 (BMEL 2024a). Trotzdem ist Deutschland weiterhin ein Netto-Exporteur von Schweinefleisch (Einfuhr: 961,6 kt Schlachtgewicht, Ausfuhr: 2221,8 kt im Jahr 2023; (BMEL 2024a)). Auch der Konsum von **Kuhmilch** ging im Zeitraum von 2014 bis 2023 um rund 11 % zurück (BLE 2024). Dahingegen steigen der Konsum und Umsatz von pflanzlichen Milch- und Fleischalternativen, wie z. B. Hafer, in Deutschland (GFI Europe 2023). Wider Erwarten bleibt die Anbaufläche von Hafer in Deutschland dennoch konstant. Das liegt daran, dass Hafer überwiegend importiert wird.
- 96 Des Weiteren zeigt sich der Rückgang der Aktivitäten im Absatz von **Stickstoffdünger**, der zwischen den Wirtschaftsjahren 2013/2014 und 2022/2023 stark rückläufig war (siehe Tabelle 9, Abbildung A 57 und Abbildung A 15) (Destatis 2025e). Er lag im Jahr 2023 bei rund 60 % des Wertes vom Jahr 2013. Zum Wirtschaftsjahr 2023/2024 stieg der Absatz wieder leicht um rund 3 % an. Der Rückgang lag v. a. an den hohen Düngemittelpreisen aufgrund des Kriegs in der Ukraine, aber auch an erhöhten Anforderungen im Düngerecht und am Anstieg des Ökolandbaus (Osterburg 2024).⁵⁹ Der Flächenanteil des **Ökolandbaus** an der Landwirtschaftsfläche steigt seit dem Jahr 2000, während die landwirtschaftlich genutzte Fläche um 3 Prozentpunkte sinkt (BMEL 2024e). Dabei ist die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr für den Flächenanteil von Ökolandbau jedoch zu gering für das Erreichen der politischen Ziele, und in den letzten Jahren sogar rückläufig (siehe Abbildung A 55 sowie Tabelle 9).
- 97 Der **fossile Kapitalstock** wird bisher nicht nennenswert reduziert oder umgebaut. Der **Kraftstoffverbrauch** für die stationäre und mobile Feuerung zusammen stieg zwischen den Jahren 2005 und 2023 an, v. a. getrieben durch den Anstieg im Bereich der mobilen Feuerung, also bei der Nutzung landwirtschaftlicher Maschinen (UNFCCC 2024).

⁵⁹ Ein weiterer Anstieg des Absatzes von Stickstoffdünger wird jedoch u. a. wegen eines Rückgangs der Düngemittelpreise projiziert (UBA 2024d; ERK 2024a).

Tabelle 9: Einordnung der Dynamik ausgewählter Indikatoren im Sektor Landwirtschaft

Indikator	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (2016–2021)	Durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr (2021–2023 bzw. 2024)	Ist-Wert (2023 bzw. 2024)	Politische Zielsetzung für das Jahr 2030	Benötigte durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr bis zur politischen Zielsetzung für das Jahr 2030	Bei linearer Fortschreibung der durchschnittlichen (absoluten) Veränderung pro Jahr (12/2021–12/2023) würde das politische Ziel für das Jahr 2030 rechnerisch [...]
Flächenanteil Ökolandbau	0,7 Prozentpunkte (12/2016–12/2021)	0,3 Prozentpunkte (12/2021–12/2023)	11,4 % (12/2023)	30,0 %	2,7 Prozentpunkte	 verfehlt werden
Absatz Stickstoffdünger	-0,11 Mt (06/2016–06/2021)	-0,03 Mt (06/2021–06/2024)	1,04 Mt (06/2024)	Kein politisches Ziel	-	-
Rinderbestand	-285 385 (11/2016–11/2021)	-192 792 (11/2021–11/2024)	10,5 Mio. (11/2024)	Kein politisches Ziel	-	-

Eigene Darstellung. Redaktion Ökolandbau.de (2024); BMEL (2024c); Destatis (2023b); BMEL (2024d); Destatis (2023c). Zur Methodik siehe Infokasten 1.

2.7 Abfallwirtschaft und Sonstiges

98 Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges sind die **THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gesunken. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor noch 5,9 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 5,5 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht einem Rückgang im Zweijahreszeitraum von 0,4 Mt CO₂-Äq. oder 7,2 %. Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges hat seine zulässige Jahresemissionsmenge (siehe Diskussion in Kapitel 5.2 ERK (2024b)) in den Jahren 2022 und 2023 eingehalten.

99 Abbildung 22 (Feld A) zeigt den **Vergleich der Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 **mit dem 2030-Ziel für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges** gemäß Anlage 2a KSG⁶⁰. Es zeigt sich eine Verlangsamung der Reduktion der THG-Emissionen. In den Jahren 2010 bis 2019 lag der Trend bei -0,6 Mt CO₂-Äq. pro Jahr, in den Jahren 2014 bis 2023 bei -0,4 Mt CO₂-Äq. pro Jahr.⁶¹ Beide Trendfortschreibungen würden zu niedrigeren THG-Emissionen führen als die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG (Beitrag des Sektors Abfallwirtschaft und

⁶⁰ Die Summe der Jahresemissionsmengen im Jahr 2030 gemäß KSG-Anlage 2a für die einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft und Sonstige ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen um -65 % ggü. dem Jahr 1990 und entsprechen der Jahresemissionsgesamtmenge gemäß Anlage 2 KSG im Jahr 2030.

⁶¹ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges mit 6 % Abweichung oberhalb des 10-Jahres-Trends. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass eine Rückkehr der THG-Emissionen im Jahr 2024 auf den 10-Jahres-Trend (5 Mt CO₂-Äq.) stattfand. Aktuell liegt noch keine Schätzung der THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges für das Jahr 2024 vor.

Sonstiges zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030).⁶² Um dieses 2030-Ziel zu erreichen, wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine 0,3-fach so hohe Minderungsrate von 0,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig.

- 100 Abbildung 22 (Feld B) stellt die **Budgetbetrachtung** des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges im Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG dar. Das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges beträgt 65 Mt CO₂-Äq. Sollten sich die THG-Emissionen ab dem Jahr 2024 bis zum Jahr 2030 linear gemäß dem Trend der Jahre 2014 bis 2023 fortsetzen (-0,4 Mt CO₂-Äq. pro Jahr), würde eine kumulierte Emissionsmenge von 42 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von 2021 bis 2030 resultieren (linker Balken in Feld B). Damit würde sowohl das THG-Budget der Jahre 2021 bis 2030 eingehalten als auch die festgelegte Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 unterschritten. Zur exakten Einhaltung des THG-Budgets im Zeitraum von 2021 bis 2030 wäre ab dem Jahr 2024 eine Zunahme von 0,7 Mt CO₂-Äq. pro Jahr möglich⁶³ (65 Mt CO₂-Äq., rechter Balken in Feld B). Mit der ab dem Jahr 2024 für das 2030-Ziel kompatiblen Zunahme von 0,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr würde das THG-Budget im Zeitraum von 2021 bis 2030 eingehalten (48 Mt CO₂-Äq., mittlerer Balken in Feld B).
- 101 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich ausreichen würden, um das THG-Budget über den Zeitraum von 2021 bis 2030 gemäß Anlage 2a KSG einzuhalten (UBA 2024d). Allerdings würden sie knapp nicht ausreichen, um die Jahresemissionsmenge für das Jahr 2030 gemäß Anlage 2a KSG zu unterschreiten, als Beitrag des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges zum sektorenübergreifenden -65 %-Ziel im Jahr 2030. Nach Überprüfung der Projektionsdaten stützt ERK (2024a) diese Einschätzung, betont aber auch, dass die Ziele in Abs. 2 KSG nicht an die Methodenänderungen bei der Emissionsberechnung ab dem Berichtsjahr 2021 angepasst worden sind.⁶⁴

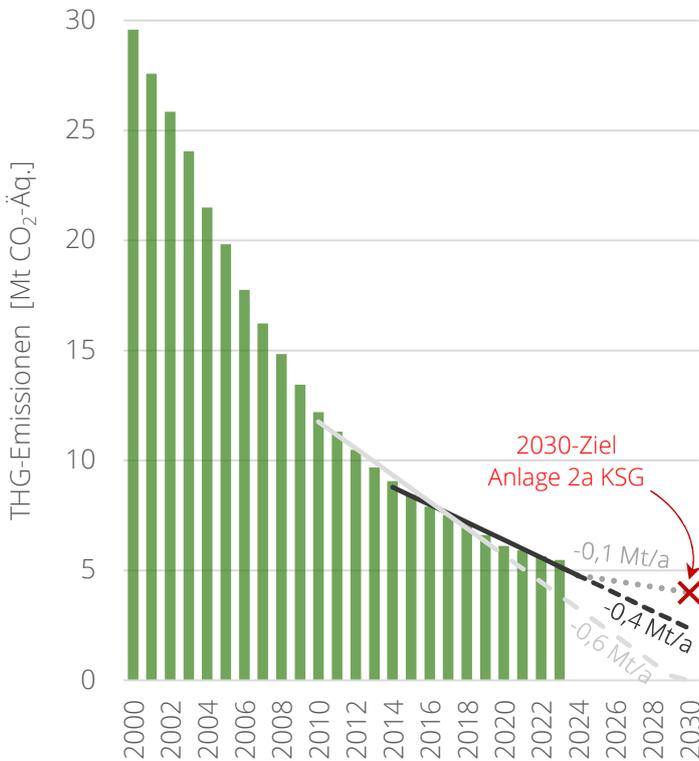
⁶² Dies liegt nicht zuletzt daran, dass neue Berechnungsmethoden für die Ermittlung der THG-Emissionen zu deutlich niedrigeren Werten führten, die nach der Festlegung der Ziele eingeführt wurden. Dies wirkt sich zwar auf die gesamte Zeitreihe aus, die berichtet wird. Jedoch wurden die Ziele des KSG nicht entsprechend korrigiert (siehe auch ERK 2023b).

⁶³ Eine positive Minderungsrate erscheint zunächst wenig intuitiv. Diese ergibt sich jedoch aus den historischen THG-Emissionen, die nicht nur die Ziele aus Anlage 2a KSG erreichten, sondern sogar übererfüllten. Daraus resultierte ein Puffer, der mitunter wieder steigende THG-Emissionen erlauben würde.

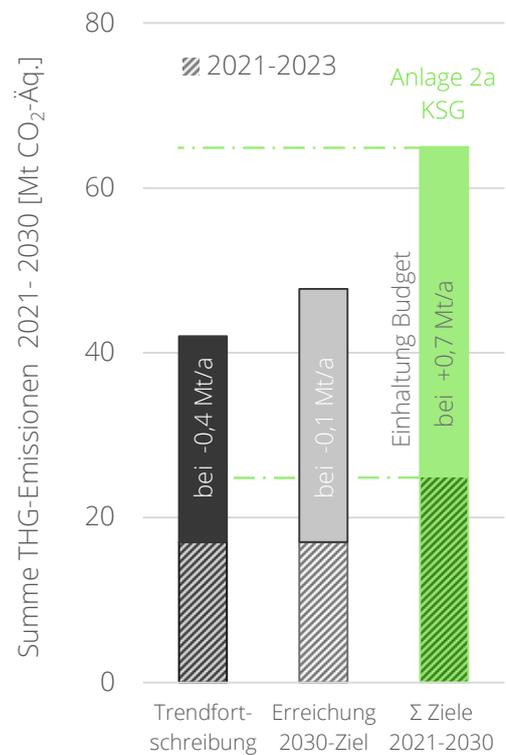
⁶⁴ Dass die KSG-Ziele im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige so deutlich erreicht werden, liegt daran, dass sie auf Basis von alten Berechnungsmethoden gesetzt wurden. Die Aktualisierung der Methoden hat zur Folge, dass die THG-Emissionen rechnerisch niedriger ausfallen als zuvor (ERK 2023b; 2024b).

Abbildung 22: THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung

A THG-Emissionen, Trends und 2030-Ziel



B Budgetbetrachtung 2021 - 2030



- THG-Emissionen Lineare Minderung für 2030-Ziel Anlage 2a KSG
- Trend (2014-2023) - - - - - Trendfortschreibung (2014-2023)
- Trend (2010-2019) - - - - - Trendfortschreibung (2010-2019)

Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Die KSG-Ziele für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges entstammen der Anlage 2a KSG. In Feld A sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt. In Feld B sind kumulierte THG-Emissionen für den Zeitraum 2021 bis 2030 dargestellt: Zum einen hypothetische Werte, die sich aus den Betrachtungen in Feld A ergeben über die Trendfortschreibung (linker Balken) und der Erreichung des 2030-Ziels gemäß Anlage 2a (mittlerer Balken), zum anderen das in Anlage 2a KSG definierte THG-Budget über den Zeitraum 2021 bis 2030 (rechter Balken, kumulierte Jahresemissionsmengen). In den Balken sind die angenommenen und für die Zielerreichung benötigten linearen Minderungsraten angegeben. Die untere gestrichelte horizontale Linie in Feld B markiert das THG-Budget von 2021 bis 2023 gemäß Anlage 2 KSG, als Vergleich zum tatsächlich verbrauchten Budget 2021-2023 (schraffierter Bereich im linken und mittleren Balken). Die obere gestrichelte horizontale Linie ermöglicht einen Vergleich mit dem sektoralen THG-Budget laut Anlage 2a KSG.

- 102 Die größten Anteile an den THG-Emissionen haben derzeit die CRF-Kategorien Abwasserbehandlung und Abfalldeponierung. Im Jahr 2000 waren die THG-Emissionen aus der Abfalldeponierung noch rund zehnmal so hoch wie die aus der Abwasserbehandlung (UBA 2024c). Bis zum Jahr 2023 sind die THG-Emissionen aus der Abfalldeponierung so stark gesunken, dass sie in etwa denen aus der Abwasserbehandlung entsprechen. Die Höhe der THG-Emissionen schwankt häufig aufgrund von **methodischen Änderungen** bei der Berechnung der Daten. Insgesamt wirkten sich die Änderungen emissionsreduzierend aus.⁶⁵
- 103 Bei den wichtigsten Quellgruppen, der **Abfalldeponierung** und der **Abwasserbehandlung**, zeigen sich keine nennenswerten Änderungen der Aktivitäten in den vergangenen zwei Jahren. Bei der Abfalldeponierung ist durch die vernachlässigbar geringe Menge organischer Abfälle seit etwa dem Jahr 2006 (u. a. wegen der Deponieverordnung) nicht das aktuell jährliche Abfallaufkommen, sondern das historische, ausschlaggebend. Die THG-Emissionen aus der Abwasserbehandlung werden durch die Bevölkerungsentwicklung, die Ernährung (Stickstoffgehalt aus Proteinen im Abwasser) sowie durch die jeweiligen Behandlungstechnologien beeinflusst. Auch hier zeigen sich keine Veränderungen in den letzten Jahren, die eine relevante Veränderung des Emissionsgeschehens bedingen würden. In ERK (2022c) ist das historische Emissionsgeschehen detailliert dargestellt.

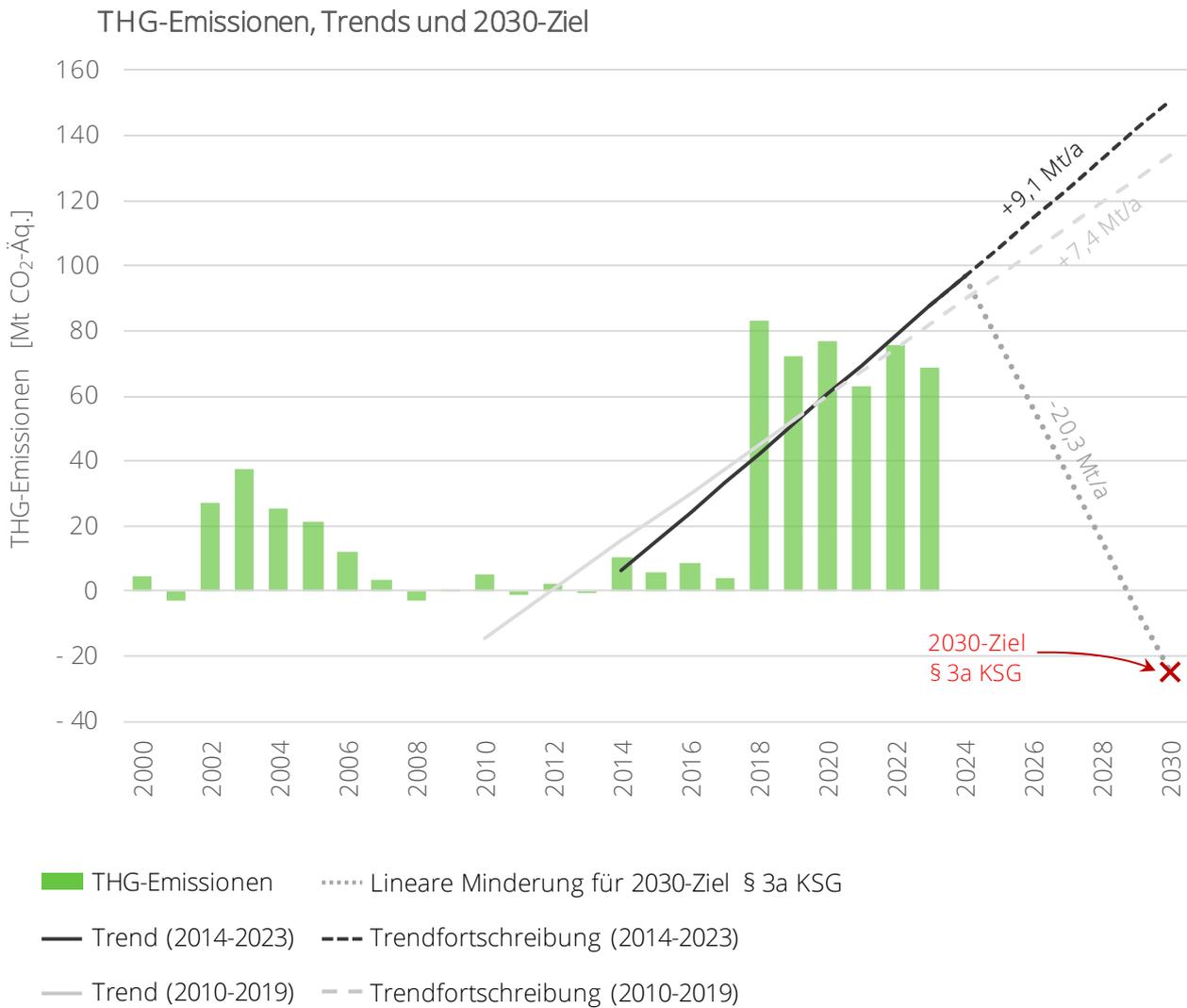
2.8 LULUCF

- 104 Im Sektor LULUCF hat eine **verbesserte Datengrundlage im Treibhausgasinventar 2025** (UBA 2025) zu einer bilanziellen Erhöhung der THG-Emissionen über die gesamte Zeitreihe hinweg geführt. Insbesondere drastisch ist der Anstieg ab dem Jahr 2018: Statt einer kumulierten Netto-Quelle von +11 Mt CO₂-Äq. (siehe UBA 2024b) für die Jahre 2018 bis 2022 werden nun +370,7 Mt CO₂-Äq. bilanziert, also etwa 34-mal mehr als zuvor. Im Jahr 2023 entsprachen die THG-Emissionen des Sektors LULUCF etwa 10 % der deutschen Gesamtemissionen (ohne LULUCF, siehe Abbildung 2). Der Grund hierfür ist vorwiegend der Verlust der Netto-Senkenleistung des Waldes, der in der Bundeswaldinventur 2022 (Riedel et al. 2024) festgestellt wurde und die Grundlage der Berechnungen ab der letzten relevanten Inventur im Jahr 2017 darstellt.⁶⁶ Eine Einordnung dieser Entwicklung, folgt ab RZ 106 in diesem Kapitel.
- 105 Im Sektor LULUCF sind die **THG-Emissionen** im Zeitraum von 2021 bis 2023 gestiegen. Während im Jahr 2021 in diesem Sektor noch 63 Mt CO₂-Äq. emittiert wurden, waren es im Jahr 2023 68,7 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht einem Anstieg von 5,6 Mt CO₂-Äq. oder 8,8 %. Der Sektor LULUCF hätte in den Jahren 2022 und 2023 seine zulässige Jahresemissionsmenge (siehe Diskussion in Kapitel 5.2 ERK (2024b)) für das Jahr 2030 von -25 Mt CO₂-Äq. somit sehr deutlich verfehlt, nationale gesetzliche Ziele für die Jahre 2022 bis 2029 gibt es jedoch nicht.

⁶⁵ Methodenänderungen gab es in der Vergangenheit z. B. durch neue Emissionsfaktoren für N₂O und CH₄ im Bereich Abwasser und die Anpassung der Berechnung von CH₄-Emissionen aus Deponien (UBA 2024m; ERK 2024a). Die Methodenänderungen bedingten insgesamt eine rechnerische Reduktion der THG-Emissionen. Die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes wurden hingegen nicht angepasst. Die Zieleinhaltung ist somit aktuell rechnerisch gewährleistet (ERK 2024a).

⁶⁶ Die Berechnung der Emissionen für Biomasse im Wald folgt grundsätzlich der sogenannten „Stock Difference“- oder Vorratsänderungsmethode. Hierbei wird die Differenz des Biomassevorrats zu zwei Zeitpunkten, in diesem Fall z. B. zwischen zwei Waldinventuren, ermittelt. Die Differenz wird auf den Zeitraum zwischen den beiden Messzeitpunkten umgelegt und stellt damit einen Fluss, also eine Netto-Emission oder eine -Aufnahme, von Kohlenstoff bzw. CO₂ dar. Siehe hierzu auch UBA (2024b). Relevante Inventuren sind die Kohlenstoff-Inventur sowie die Bundeswald-Inventur. Beide werden alle zehn Jahre mit einem Versatz von fünf Jahren erstellt.

Abbildung 23: THG-Emissionen im Sektor LULUCF – Entwicklungen, Trends und Zielerreichung



Eigene Darstellung auf Basis der Emissionsdaten von UBA (2025). Das KSG-Ziel für den Sektor LULUCF entstammt aus § 3a KSG. In der Abbildung sind die Trends (durchgezogene Linie) und Trendfortschreibungen (gestrichelte Linie) mit zugehöriger Steigung dargestellt (Berechnung via lineare Regression über jeweiligen 10-Jahres-Zeitraum). Bei der benötigten mittleren Minderungsrate ab 2024 für die Erreichung des 2030-Ziels (gepunktete Linie) wurde zunächst angenommen, dass für das Jahr 2024 eine Rückkehr zum Trend stattfindet. Nachfolgend wurde eine Minderungsrate ermittelt, die eine Zielerreichung im Jahr 2030 sicherstellt.

- 106 Abbildung 23 zeigt den Vergleich der **Trends** der THG-Emissionen der Jahre 2010 bis 2019 und der Jahre 2014 bis 2023 mit dem **Senkenziel aus § 3a KSG für das Jahr 2030**.⁶⁷ Es zeigt sich eine Beschleunigung des Anstiegs der THG-Emissionen. In den Jahren 2010 bis 2019 lag der Trend bei +7,4 Mt CO₂-Äq. pro Jahr, in den Jahren 2014 bis 2023 bei +9,1 Mt CO₂-Äq. pro Jahr.⁶⁸ Beide Trendfortschreibungen würden zu höheren THG-Emissionen führen als in § 3a KSG definiert ist. Die THG-Emissionen entwickeln sich also in die falsche Richtung. Um das Ziel im Jahr 2030 zu erreichen, muss der Sektor zunächst wieder eine Netto-Senke werden. Hierfür wäre im Vergleich zum Trend der vorangegangenen 10 Jahre ausgehend von der Trendlinie ab dem Jahr 2024 eine Minderungsrate von 20,3 Mt CO₂-Äq. pro Jahr notwendig.
- 107 Die **Projektionsdaten 2024** weisen aus, dass die bestehenden Maßnahmen in Verbindung mit den getroffenen Annahmen zu der Entwicklung der Rahmenparameter voraussichtlich nicht ausreichen würden, um die Senkenleistung zu erreichen, die in § 3a KSG für das Jahr 2030 definiert ist (UBA 2024d). Zusätzlich kommt ERK (2024a) nach Überprüfung der Projektionsdaten zu dem Schluss, dass die THG-Emissionen im Sektor LULUCF wahrscheinlich eher unterschätzt sind. Mit der Veröffentlichung des Treibhausgasinventars 2025 (UBA 2025) bestätigt sich diese Einschätzung.
- 108 Die Ergebnisse der am 08.10.2024 veröffentlichten **Bundeswaldinventur 2022** (Riedel et al. 2024) sind in die Berechnung des aktuellen Treibhausgasinventars 2025 eingeflossen. Sie haben zu einer drastischen Korrektur der THG-Emissionen für den Sektor LULUCF nach oben geführt. So belaufen sich die Netto-Emissionen des Sektors LULUCF in den Jahren 2021, 2022 und 2023 auf 63,1 Mt CO₂-Äq., 75,6 Mt CO₂-Äq. und 68,7 Mt CO₂-Äq. Dies entspricht ca. 8 % (2021), 10 % (2022) bzw. 10 % (2023) der gesamten THG-Emissionen (ohne LULUCF).⁶⁹ Festzustellen ist, dass der Wald nunmehr eine deutliche Netto-Quelle für THG-Emissionen ist.
- 109 Das veränderte Emissionsgeschehen ist darin begründet, dass die Bilanz des Sektors vornehmlich über Netto-Waldwachstum, Totholz- und den Holzproduktespeicher bestimmt wird, welche die fortwährend hohen THG-Emissionen aus organischen Böden und künstlichen Gewässern kompensierten (siehe Abbildung 24). Das **Netto-Waldwachstum** nimmt allerdings wegen alternden Beständen sowie durch (klimawandelbedingte) abiotische und biotische Umwelteinflüsse wie Sturm, Dürre und Insektenbefall ab (Riedel et al. 2024). Der Rückgang des Kohlenstoffspeichers bzw. der drastische Anstieg der Netto-Emissionen aus dem Wald, der nun seit 2018 zu beobachten ist, ist vorwiegend auf den Ausfall von Fichtenbeständen zurückzuführen, wo insbesondere wachstumsstarke Bestände mittleren Alters abstarben. Für andere Nadel- und für alle Laubbaumarten wird jedoch weiterhin eine Senkenleistung ausgewiesen, wenngleich diese ebenfalls rückläufig ist.

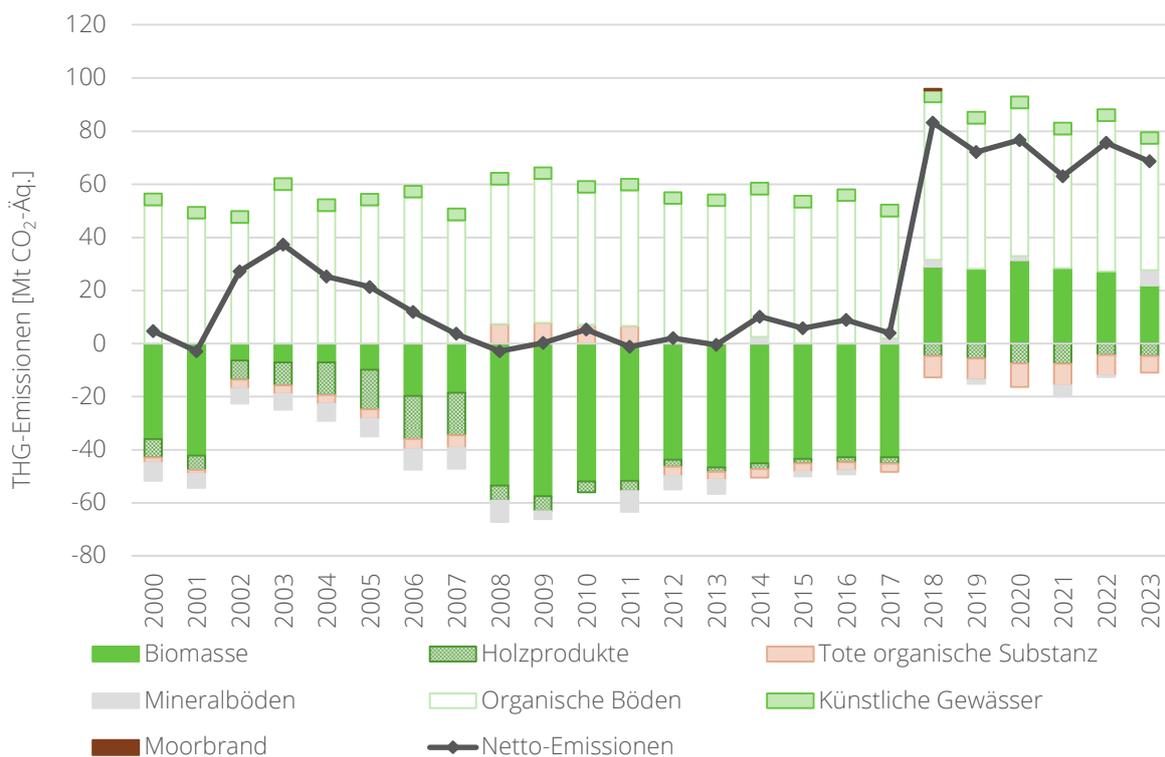
⁶⁷ Für den Sektor LULUCF sind weder Jahresemissionsmengen noch Jahresemissionsgesamtmengen in den Anlagen des KSG formuliert. Jedoch sind in § 3a KSG Senkenziele für die Jahre 2030, 2040 und 2045 in Höhe von -25 Mt CO₂-Äq., -35 Mt CO₂-Äq. und -40 Mt CO₂-Äq. angesetzt. Deren Erreichung wird anhand eines Mittelwertes überprüft, der aus den realisierten Werten des jeweiligen Zieljahres und der drei vorhergehenden Jahre gebildet wird. Über die LULUCF-Verordnung (Europäische Kommission 2023c) bestehen für den Zeitraum 2021–2025 ("no debit"-Regel) sowie 2026–2030 (Anstieg der Netto-Senkenleistung) jedoch weitere verbindliche Ziele, die hier nicht näher beleuchtet werden.

⁶⁸ Im Jahr 2023 lagen die beobachteten THG-Emissionen im Sektor LULUCF mit 22 % Abweichung unterhalb des 10-Jahres-Trends. Da für das Jahr 2024 noch keine offiziellen Daten vorliegen, wird für die nachfolgenden Analysen angenommen, dass eine Rückkehr der THG-Emissionen im Jahr 2024 auf den 10-Jahres-Trend (97 Mt CO₂-Äq.) stattfand. Da nicht-lineare Dynamiken, wie z. B. (klimawandelbedingte) Umwelteinflüsse, Pflanzenwachstum und Nachfrage nach Holzprodukten, das Geschehen mitbestimmen, sind die Ergebnisse der linearen Extrapolation jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

⁶⁹ Die bisher angenommenen THG-Emissionen für LULUCF gingen für die Jahre 2021, 2022 und 2023 von 2,6 Mt CO₂-Äq., 4,4 Mt CO₂-Äq. und 3,6 Mt CO₂-Äq. aus (UBA 2024c).

110 Die neuen Erkenntnisse zum Rückgang der Senkenleistung des deutschen Waldes haben **Implikationen für das Erreichen gesetzlicher bzw. politischer Ziele** sowie für die Ausgestaltung dafür relevanter Instrumente. Die Erreichung der Ziele gemäß § 3a KSG für den Sektor LULUCF in den Jahren 2030, 2040 und 2045 von -25, -35 und -40 Mt CO₂-Äq. wurden bereits im Projektionsbericht 2024 (Harthan et al. 2024) sowie von ERK (2024a) kritisch in Frage gestellt. Das liegt insbesondere daran, dass ein zügiger Umbau zu einem klimawandelangepassten Wald eine weitere Entnahme von Bäumen bedingen kann. Dies steht im Widerspruch mit einem weitläufigen Nutzungsverzicht, der von den KSG-Zielen für den Sektor LULUCF impliziert wird – unter der Annahme, dass Emissionen aus weiteren Kategorien nicht ausreichend gesenkt werden können. So fordern Thünen-Institut (2024) und Bauhus et al. (2024) gar eine Flexibilisierung bzw. Anpassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes hinsichtlich der festen Senkenziele, um einen sozio-ökonomisch tragbaren Waldumbau zu ermöglichen. Hier sind normative Entscheidungen hinsichtlich der (Nicht-)Nutzung des Waldes verlangt. Gleichermäßen hätten diese im Kontext des Klimaschutzes auch Folgen auf die Gewichtung anderer Maßnahmen (auch in den übrigen Sektoren), welche Emissionen reduzieren oder vermeiden und die ausfallende Senkenleistung ausgleichen könnten. Weitere potenzielle Auswirkungen, wie z. B. Leakage- oder Substitutions-Effekte, müssen hierbei ebenfalls berücksichtigt werden. Eine Betrachtung ausgewählter Herausforderungen für den Sektor LULUCF im Kontext der KSG-Ziele erfolgt in Infokasten 5.

Abbildung 24: Entwicklung der historischen THG-Emissionen nach Kohlenstoff-Pools



Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2025).

111 Die Politik bzw. der Gesetzgeber hat nun also die Aufgabe, zeitnah Lösungsansätze und Instrumente zu entwickeln, die dem aktuellen und absehbaren Zustand des Waldes und seiner assoziierten Ökosystemdienstleistungen gerecht werden. Nicht zuletzt ist ein rasches Handeln auch durch das Urteil

des Oberverwaltungsgerichts Berlin-Brandenburg vom 16.05.2024 geboten (OVG Berlin-Brandenburg 2024, - 11 A 31.22). Hierdurch wurde die Bundesregierung dazu verpflichtet, ihre Klimaschutzbemühungen im Sektor LULUCF adäquat an die Anforderung eines Klimaschutzprogramms – also zur Zielerreichung hin – gemäß § 9 KSG auszurichten. Im Sektor selbst ist ein vielversprechender Ansatz (nebst Maßnahmen zur Förderung der Senkenfunktion des Waldes) die Wiedervernässung von Moorböden, um die THG-Emissionen aus den organischen Böden zu reduzieren. Dies wird u. a. stark im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) gefördert. Derzeit wird Wiedervernässung jedoch vornehmlich in Pilotprojekten umgesetzt. Daher sind die Auswirkungen auf die THG-Emissionen des Sektors hier aber bisher gering.

- 112 Die THG-Emissionen im Sektor LULUCF ergeben sich aus den **Aktivitäten** (und den zugehörigen Emissionsfaktoren), also u. a. Flächennutzung, Flächenänderungen und Holzeinschlag sowie Überführung von Biomasse in den Holzproduktespeicher.
- 113 Im Treibhausgasinventar 2024 (UBA 2024h) wurde die neue **Kategorie Künstliche Gewässer** eingeführt und erstmalig bilanziert. Diese bedingt jährliche Mehremissionen von rund 5 Mt CO₂-Äq. Zusätzlich führten **Landnutzungsänderungen** zu Verschiebungen in der Flächenverteilung. So wurden Ackerland und Grünland umgewandelt in Siedlungs- und Verkehrsflächen; die Waldfläche hat leicht zugenommen (UBA 2024h).
- 114 Im Wald führten mehrjährige bzw. wiederkehrende Dürre und Insektenbefälle zwischen den Jahren 2018 und 2022 zu Rekorden beim **Holzeinschlag**. Seit dem Jahr 2021 ist dieser rückläufig, aber weiterhin auf hohem Niveau. Er bedingt zum Teil eine Abnahme bzw. Verlust der Senkenleistung (teilweise Überführung in Holzproduktespeicher).

Infokasten 5: Ausgewählte Herausforderungen zur Erreichung der Senkenleistung im Sektor LULUCF

Der Sektor LULUCF war in den Jahren seit 2018 Netto-THG-Quelle (siehe Abbildung 23). Für die Zukunft besteht ein hohes **Risiko ansteigender Emissionen**. Durch den Klimawandel nehmen Extremereignisse und Störungsereignisse wie Stürme, Dürre oder Schädlingsbefall zu, die den Wald stark belasten können. Zudem verlagert sich die Struktur des Waldes zunehmend in Richtung älterer Bestände, die einen geringeren Zuwachs haben und damit weniger Kohlenstoff speichern können als Bäume mittleren Alters.

Maßnahmen zur Wiederherstellung bzw. Verbesserung der Senkenleistung reichen wegen zu geringer THG-Minderungswirkung (UBA 2024d) angesichts der neuen Datenlage nach der Bundeswaldinventur 2022 mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht aus, um die Ziele zu erreichen. ERK (2024a) weist zudem auf die bislang und künftig wahrscheinlich überschätzte Wirkung der bereits quantifizierten Maßnahmen des Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz hin. Mögliche Synergien mit der EU-Verordnung zur Wiederherstellung der Natur (Europäische Kommission 2024e), wie etwa verbindliche Ziele zur Moorwiedervernässung, sind zwar zu erwarten, bislang jedoch nicht quantifiziert.

Sowohl durch die deutschen als auch durch die europäischen Rahmenbedingungen gibt es Politiken und Instrumente mit gegenläufigen Zielsetzungen. Hier läuft man Gefahr eine Landnutzung mit potenziell negativen Effekten auf die Senkenleistung in LULUCF anzureizen (siehe auch RZ 168). Solche **Zielkonflikte** ergeben sich insbesondere dort, wo wirtschaftliche Rentabilität, Sozialpolitik, sowie Umwelt- und Klimaschutz gegeneinander abgewogen werden. Beispiele hierfür sind Flächenneuverbrauch und -versiegelung durch Verkehr- und Siedlungsausbau (Wohnungsbauinitiative, Ausbau von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern), die vermehrte Nachfrage

nach Biomasse für die energetische (RED III, GEG) und stoffliche Nutzung (z. B. Holzbauintiative), die Abschwächung von Umweltauflagen bzw. mögliche Intensivierung im Ackerbau (Ausnahmen beim Mindestanteil nichtproduktiver Flächen; siehe Standard für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen (GLÖZ) 8 in der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)), und die Weiterführung bisheriger landwirtschaftlicher Nutzung organischer Böden (Moorböden) statt einer Wiedervernässung und Nutzungsänderung. Je nach angestrebter Landnutzung bzw. -änderung sind hier grundlegende Aspekte wie die normative Wertung von Artenvielfalt und Ökosystemdienstleistungen, aktuelle und künftige Lebensweisen sowie -qualität, Ernährungssicherheit und Wohlstand betroffen. Hier ist die Politik in der Pflicht, zielführende Lösungen zu erarbeiten, auch, um indirekten, negativen Effekten im Ausland vorzubeugen.

Der Sektor LULUCF steht also im **Spannungsfeld verschiedener Ziele aus Wirtschaft, Sozialpolitik, Umwelt- und Klimaschutz**, die nur bedingt oder nicht miteinander vereinbar sind. Gleichzeitig ist es wahrscheinlich, dass der Sektor seine Ziele laut Bundes-Klimaschutzgesetz noch stärker verfehlt als bislang projiziert wurde.

2.9 Zusammenfassung: Entwicklung von Aktivitäten, Aufbau und Rückbau von Kapitalstock in den KSG-Sektoren seit dem Jahr 2021

- 115 Tabelle 10 zeigt für alle KSG-Sektoren eine Zusammenfassung der Entwicklungen von Aktivitäten, dem Rückbau des fossilen Kapitalstocks sowie dem Ausbau des nicht-fossilen Kapitalstocks seit dem Jahr 2021. Die Zusammenfassung basiert auf den Analysen der Kapitel 2.2 bis Kapitel 2.8.
- 116 Die **Aktivitäten** sind geprägt von einem deutlichen Rückgang der Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken sowie Produktionsrückgängen in der Industrie infolge der höheren Energiepreise gegenüber dem Vorkrisen-Jahr 2019 sowie konjunkturell und strukturell bedingten Nachfragerückgängen (SVR Wirtschaft 2024b). Im Gebäudesektor ist der Heizwärmeverbrauch aufgrund der Energiekrise ebenfalls gesunken, temperaturbereinigt zeigt sich jedoch im ersten Halbjahr 2024 wieder ein Anstieg des Gasverbrauchs. Im Verkehr stiegen Personen- und Güterverkehr wieder an.
- 117 Der **Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks** verläuft in den KSG-Sektoren nur schleppend, mit lediglich leichten Rückgängen. Besonders auffällig sind die niedrigen Austauschquoten von Gas- und Ölheizungen und der weiterhin hohe Absatz von Ölheizungen in den vergangenen zwei Jahren. Im Verkehrssektor bilden weiterhin Verbrennermotoren einen hohen Anteil an den neu verkauften Pkw, was auch mittelfristig zu anhaltend hohen Emissionen führen wird.
- 118 Der **Aufbau des nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks** verläuft nur in ausgewählten Bereichen mit hohem Tempo. Insbesondere beim Ausbau der installierten Leistung von Photovoltaik konnte das politische Ziel bereits im Laufe des Jahres 2024 erreicht werden. Gleichzeitig zeigen sich volatile Entwicklungen, etwa beim Absatz sowohl von Wärmepumpen als auch von BEVs, die im Jahr 2024 rückläufig waren. Für andere Indikatoren wie beispielsweise der Flächenanteil des Ökolandbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche ist die Veränderung pro Jahr zu gering, um die politischen Ziele zu erreichen.

Tabelle 10: Wesentliche Entwicklungen bei Aktivitäten sowie dem Aufbau und Rückbau von Kapitalstock in den KSG-Sektoren seit dem Jahr 2021

Sektor	Aktivitäten	Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks	Aufbau des nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks
Energiewirtschaft	Starker Rückgang der Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle insbesondere durch einen verringerten Stromverbrauch (siehe RZ 38).	Weitere Stilllegungen der Kohlekraftwerke und moderater Zubau der installierten Leistung von Gaskraftwerken (siehe RZ 42 und 47).	Anstieg der Kapazitäten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern, mit unterschiedlichen Entwicklungen je nach Energieträger. Photovoltaik hat das politische Ziel im Jahr 2024 übertroffen (siehe RZ 43 und 44).
Industrie	Rückgang der Produktion teils stark, aufgrund der Energiekrise sowie aufgrund konjunktureller und struktureller Probleme (siehe RZ 54 ff.).	Anteil fossiler Energieträger am EEV nahezu konstant bzw. nur sehr schwach rückläufig (hierbei Gesamtenergiebedarf sowie Verbrauch fossiler Energieträger rückläufig) (siehe RZ 56).	Elektrifizierungsgrad stagniert bzw. Anteil Strom am EEV nahezu konstant (siehe RZ 57).
Gebäude	Rückgang des Gasverbrauchs in den Jahren 2022 und 2023, u. a. aufgrund Energiekrise. Anstieg des Gasverbrauchs im Jahr 2024. Ölverbrauch in den Jahren 2022 und 2023 weniger stark gesunken (siehe RZ 64).	Insgesamt leichter Rückgang des fossilen Heizungsbestandes, aber deutlich unter Austauschquote von Gas- und Ölheizungen. Hoher Absatz von Ölheizungen in den letzten zwei Jahren (siehe RZ 66). Kontinuierlicher Anstieg der Wohnfläche (siehe RZ 69).	Starker Anstieg an Wärmepumpenabsatz im Jahr 2023, aber kein dauerhafter Effekt. Im Jahr 2024 ist der Absatz wieder eingebrochen (siehe RZ 65 und RZ 66).
Verkehr	Leichte Zunahme der Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr nach dem Rückgang durch die Covid-19-Pandemie (siehe RZ 79 und 87).	Keine substantielle Veränderung, weiterhin substantieller Absatz von Verbrenner-Pkw. Zunahme an leichten Nutzfahrzeugen (LNF) und kein Abbau an schweren Nutzfahrzeugen (SNF) (siehe RZ 81 und RZ 89).	Starke Zunahme bei BEV, jedoch verringerte Zunahme seit beendetem Umweltbonus (siehe RZ 80). Leichte Zunahme bei leichten Nutzfahrzeugen und geringer Aufbau bei schweren Nutzfahrzeugen (Anfangsstadium) (siehe RZ 88).
Landwirtschaft	Weiterer Rückgang des Rinder- und Schweinebestands. Weiterer Rückgang im Stickstoffdüngerabsatz (siehe RZ 96). Anstieg des Flächenanteils des Ökolandbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (siehe RZ 96).	Kein Rückgang des Kraftstoffverbrauchs (siehe RZ 97).	k. A.
Abfallwirtschaft und Sonstiges	Keine nennenswerte Änderung der Aktivitäten (siehe RZ 103).	k. A.	k. A.

Sektor	Aktivitäten	Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks	Aufbau des nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks
LULUCF	Umwandlung von Ackerland und Grünland in Siedlungs- und Verkehrsflächen, Zunahme der Waldfläche, neue Kategorie Künstliche Gewässer, Rückgang des Holzeinschlags (siehe RZs 109 und RZ 114).	k. A.	k. A.

Eigene Darstellung.

3 Betrachtungen zur Wirksamkeit Klimaschutzpolitischer Maßnahmen

- 119 Bereits in seinem **ersten Zweijahresgutachten** hat der Expertenrat für Klimafragen die Klimaschutzpolitischen Maßnahmen⁷⁰ in Deutschland für den Zeitraum von 2000 bis 2022 hinsichtlich ihrer Wirksamkeit mit Blick auf die Erreichung der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes betrachtet (ERK 2022c, Kap. 4).⁷¹ Als Grundlage für diese Betrachtung wurden dort grundsätzliche **Handlungsfelder zur Minderung von THG-Emissionen** identifiziert, die von der Politik beeinflusst werden können. Diese beinhalten i) die **Effizienz bei der Umwandlung**, ii) die **Effizienz bei der Nutzung**, iii) den **Rückbau des fossilen Kapitalstocks**, iv) den **Energieträger- und Technologiewechsel zum Aufbau eines nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks**, sowie v) die **Reduktion und Veränderung von Aktivitäten**, wobei dieses Handlungsfeld im weiteren Sinne auch die Veränderung von Industriestrukturen und Verbrauchsmustern umfassen kann. Ergänzend zu diesen primär auf die Verringerung der energiebedingten THG-Emissionen abzielenden Handlungsfeldern wird in diesem Gutachten als weiteres Handlungsfeld vi) die **CO₂-Entnahme und das Kohlenstoffmanagement** betrachtet. Im ersten Zweijahresgutachten wurde außerdem bewertet, inwieweit der damals gültige Instrumentenmix diese Handlungsfelder adressiert. Im Ergebnis wurden diejenigen Handlungsfelder identifiziert, die durch die bis Mitte des Jahres 2022 beschlossenen Maßnahmen noch nicht oder noch nicht ausreichend adressiert wurden. Dazu gehörte insbesondere der Rückbau des fossilen Kapitalstocks sowie die Reduktion bzw. Veränderung der Aktivitäten. In diesem Gutachten werden diese **Betrachtungen zur Wirksamkeit der Klimaschutzpolitischen Maßnahmen** um aktuelle Entwicklungen **seit dem Jahr 2022** und neue Erkenntnisse aus der Literatur ergänzt.
- 120 Übergreifend sind bei der Entwicklung des Klimaschutzpolitischen Instrumentariums in der Periode 2022 bis 2024 externe Einflussfaktoren zu berücksichtigen. So führten der Angriffskrieg auf die Ukraine und die Abhängigkeit von Erdgaslieferungen aus Russland in Kombination mit den zu dieser Zeit niedrigen Füllständen der Gasspeicher dazu, dass von der Bundesregierung kurzfristig Maßnahmen erlassen wurden, um die Energieversorgung Deutschlands zu gewährleisten. Dies erfolgte auch unter Einbezug fossiler Energieträger.

⁷⁰ Als Klimaschutzpolitische Maßnahmen werden im Folgenden solche bezeichnet, die KSG-relevant sind.

⁷¹ Diese Betrachtung geht zurück auf § 12 Abs. 4 KSG, nach dem der Expertenrat für Klimafragen in seinem alle zwei Jahre vorzulegenden Gutachten auch die „Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf die Zielerreichung nach diesem Gesetz“ betrachten soll. Im Folgenden wird daher die Begrifflichkeit des Bundes-Klimaschutzgesetzes übernommen und als Maßnahme ein konkretes politisches (Einzel)Instrument bezeichnet, das zur Erreichung der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes beitragen soll. In der EU Governance-Verordnung (Europäische Kommission 2018) wird äquivalent zum englischen Sprachgebrauch der Begriff Politiken und Maßnahmen verwendet. Dieser Begriff ist breiter definiert und bezeichnet dort nach Art. 2 Abs. 1 „alle Instrumente, die zur Verwirklichung der Ziele der integrierten nationalen Energie- und Klimapläne [...] beitragen“. Für diese übergreifende Betrachtung politischer Maßnahmen sowie von Strategien und Programmen wird im Folgenden der Begriff Instrument (im Sinne von Instrumententyp oder Instrumentenmix) verwendet.

3.1 Entwicklung der klimapolitischen Maßnahmen seit dem Jahr 2022

121 Im Zeitraum von 2022 bis 2024 wurde eine Reihe **klimaschutzpolitischer Maßnahmen** substantiell novelliert oder neu eingeführt. Zudem wurde eine Vielzahl an Programmen und Strategien beschlossen, die unmittelbar oder mittelbar für die Erreichung der im Bundes-Klimaschutzgesetz bezeichneten Ziele bedeutsam sind. Abbildung 25 und Abbildung 26 geben einen Überblick über wichtige neu eingeführte sowie in bedeutendem Umfang novellierte Strategien, Programme und Maßnahmen seit dem Jahr 2022.

Abbildung 25: Neue sowie in bedeutendem Umfang novellierte Klimaschutzpolitische Strategien und Programme in Deutschland und auf EU-Ebene im Zeitraum von 2022 bis 2024.

Strategien/Programme		
2022 Erdwärmekampagne	2023 Zukunftsstrategie Forschung und Innovation	2024 Carbon-Management Strategie
2022 Systementwicklungsstrategie	2023 Industriestrategie	2024 Kraftwerksstrategie
2022 Gründung Klimaclub	2023 Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie	2024 Importstrategie für Wasserstoff und -derivate
2023 Nationale Wasserstrategie	2023 Nationale Biostrategie	2024 Solarpaket I (PV-Strategie)
2023 Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz	2023 Klimaschutzprogramm 2023	

Eigene Darstellung. Die Übersicht enthält ausschließlich neue oder novellierte Programme und Strategien, weshalb beispielsweise die Langfriststrategie Negativemissionen (LNe) nicht enthalten ist. Neu eingeführte Maßnahmen sind rot markiert.

Abbildung 26: Neu eingeführte sowie in bedeutendem Umfang novellierte klimaschutzpolitische Maßnahmen in Deutschland und auf EU-Ebene im Zeitraum von 2022 bis 2024

<p>Regulierung – Nationale Ebene</p> <p>2022: Novelle des Kohleausstiegsgesetzes (KohleAusG)</p> <p>2023: Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten (CO₂KostAufG)</p> <p>2023: Energieeffizienzgesetz (EnEfG)</p> <p>2023: Novelle des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes (KVBG)</p> <p>2024: Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)</p> <p>2024: Wärmeplanungsgesetz (WPG)</p> <p>2024: Novelle des Windenergie-auf-See-Gesetzes (WindSeeG)</p> <p>2024: Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) mit Änderung des Baugesetzbuch (BauGB), Bundesnaturschutzgesetzes (BNaSchG) und des Raumordnungsgesetzes (ROG)</p> <p>2024: Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG)</p> <p>2024: Novelle des Bundes Immissions-Schutzgesetzes (BImSchG)</p> <p>Fiskalische Instrumente</p> <p>2022: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)</p> <p>2023: Novellierung des Umweltbonus (Maßnahme ausgelaufen)</p> <p>2023: Deutschlandticket</p> <p>2023: EU-Verordnung zum Klima-Sozialfonds*</p> <p>2023: Fördermaßnahmen aus dem Aktionsprogramm natürlicher Umweltschutz (ANK)</p> <p>2023: Holzbauinitiative</p> <p>2024: Novellierung Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)</p> <p>2024: Novelle des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) mit Änderung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) und Solarpaket</p> <p>2024: Novelle der Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz (EEW)</p> <p>2024: Klimaschutzverträge (KSV)</p> <p>2024: Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)</p>	<p>Regulierung – EU-Ebene</p> <p>2023: Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)</p> <p>2023: Novelle der LULUCF-Verordnung</p> <p>2023: Novelle der Lastenteilungsverordnung (ESR)</p> <p>2023: Verordnung für Entwaldungsfreie Lieferketten</p> <p>2023: FuelEU Maritime*</p> <p>2023: Novelle der Energieeffizienzrichtlinie (EED)</p> <p>2023: Novelle der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III)</p> <p>2024: ReFuelEU Aviation</p> <p>2024: Novelle der Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR)</p> <p>2024: Novelle der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD)</p> <p>2024: Novelle der Flottengrenzwerte für neue schwere Nutzfahrzeuge</p> <p>2024: Netto-Null-Industrie-Gesetz</p> <p>2024: Richtlinie über gemeinsame Vorschriften für die Binnenmärkte für erneuerbares Gas, Erdgas und Wasserstoff</p> <p>2024: Ökodesign-Verordnung</p> <p>2024: Methan-Verordnung</p> <p>2024: Verordnung über die Wiederherstellung der Natur</p> <p>Ökonomische Instrumente</p> <p>2023: CO₂-Grenzausgleichssystem der EU (CBAM)</p> <p>2023: Novelle des Europäischen Emissionshandels mit Einführung des EU-ETS 2(*)</p> <p>2023: Novelle des Brennstoffemissions-handelsgesetzes (BEHG)</p> <p>Forschung und Entwicklung</p> <p>2023: 8. Energieforschungsprogramm</p> <p>Information</p> <p>2022: Kampagne „80 Millionen gemeinsam für Energiewechsel“</p>
---	---

Eigene Darstellung. Die Instrumententypen sind analog zu ERK (2022c) entsprechend der Klassifizierung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) definiert (siehe auch Tabelle A 12).⁷² Die Übersicht enthält ausschließlich bereits beschlossene oder implementierte Maßnahmen. Neu eingeführte Maßnahmen sind rot markiert. Die Ökodesign-Verordnung wird nicht als Novelle, sondern als neu eingeführte Maßnahme betrachtet, da sie als umfängliche Neufassung die vorherige Richtlinie abgelöst hat. Ein * zeigt an, dass eine Maßnahme beschlossen ist, aber noch nicht in Kraft getreten, bzw. im Fall von EU-Regulierung noch nicht implementiert ist.

- 122 Abbildung 25 zeigt, dass zahlreiche **EU-Verordnungen** und **-Richtlinien** im Zeitraum von 2022 bis 2024 im Rahmen des „Fit for 55“-Pakets zur Umsetzung des Green Deals⁷³ novelliert wurden. Auch die Einführung bzw. Novellierung einiger nationaler gesetzlicher Regelungen wie das neue EnEFG oder das revidierte Gebäudeenergiegesetz (GEG) dienen unter anderem der nationalen Implementierung von Änderungen in der EU-Regulierung. Auch zukünftig sind hier noch weitere Änderungen zu erwarten, wie die Regelung des Übergangs vom Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) zum EU-ETS 2 oder weitere Novellierungen des EnEFG und des GEG.
- 123 Auf **nationaler Ebene** fällt in diesen Zeitraum neben der zweiten Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 15.07.2024 auch der Beschluss des Klimaschutzprogramms 2023 durch die Bundesregierung (2023c). Im Zuge dessen wurden Maßnahmen in den Sektoren Energiewirtschaft (z. B. KVBG und EEG), Gebäude (z. B. GEG, BEG und WPG), Industrie (z. B. die Klimaschutzverträge) und Verkehr (z. B. Deutschlandticket) umgesetzt (siehe auch Abbildung 26). Der Expertenrat hat sich in seiner Stellungnahme vom 22.08.2023 bereits zum Entwurf des Klimaschutzprogramms 2023 geäußert (ERK 2023c). Im Sektor Landwirtschaft ist im betrachteten Zeitraum außer der Biostrategie keine explizite Maßnahme hinsichtlich der Reduktion von THG-Emissionen in Kraft getreten. Dies ist teilweise auch darauf zurückzuführen, dass die durch mehrere EU-Verordnungen geregelte Gemeinsame Agrarpolitik der EU die politischen Grundlagen für den Landwirtschaftssektor vorgibt. Mit dem ebenfalls im Jahr 2023 beschlossenen Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz wurden Maßnahmen zum Schutz natürlicher Senken und der Biodiversität vorgelegt (BMUV 2023).
- 124 Bei Betrachtung des Instrumentenmix fällt auf, dass der Schwerpunkt der neuen bzw. novellierten Maßnahmen in der Periode von 2022 bis 2024 vor allem auf **fiskalischen und regulatorischen Maßnahmen** lag, was weitgehend den Mustern der Vorjahre entspricht (siehe ERK 2022c). Zudem wurden viele Maßnahmen lediglich novelliert, was dazu beitrug, dass sich der Instrumentenmix nur geringfügig verändert hat. Eine Ausnahme bildet die beschlossene Einführung des EU-ETS 2, einem marktbasierendem Mengensteuerungsinstrument, das perspektivisch das BEHG ersetzen soll und als relevante sektorenübergreifende Neuerung hervorzuheben ist.
- 125 Ein wichtiges Element von fiskalischen Instrumenten ist der öffentlich bereitgestellte Finanzierungsrahmen. Dieser hat sich durch das **Urteil des Bundesverfassungsgerichts (BVerfG) zum Zweiten Nachtragshaushaltsgesetz 2021** (BVerfG 2023) gegenüber den vorherigen Plänen der Bundesregierung verringert. Infolgedessen wurden Mittel für klimaschutzpolitische Maßnahmen, die aus dem Klima- und Transformationsfonds (KTF) finanziert wurden, gekürzt oder deren Verwendung vorzeitig eingestellt. Dies traf bspw. auf den Umweltbonus zur **Förderung** der Elektromobilität zu. Der Expertenrat hat sich in früheren Gutachten bereits zu den möglichen Folgen dieser Einschränkungen geäußert (siehe ERK 2024b; 2024a). Diese wirken sich bspw. auf die Ausbauziele der Bundesregierung für neue Technologien und somit möglicherweise auch auf das Erreichen der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes aus. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass staatliche Förderinstrumente in der Regel lediglich die Verbreitung neuer Technologien anregen sollen, um den Übergang von der Entwicklung und Markteinführung hin zu Wachstum und Reife zu erleichtern. Dies kann gemäß Martin und Scott (2000) insbesondere in den frühen Phasen einer Technologie wichtig sein, wenn die Kosten noch vergleichsweise hoch sind. Mit zunehmender Verbreitung der Technologie sinken die Kosten durch Skalen- und Lerneffekte, weshalb die ökonomische Begründbarkeit staatlicher Unterstützung in jedem Fall zeitlich begrenzt ist (Boes und Langes 2023; Arthur 1989; Puffert 2022).

⁷³ Zum Umsetzungsstand siehe auch Europäische Kommission (2024b).

Tabelle 11: Adressierung der Handlungsfelder durch beschlossene oder implementierte Maßnahmen nach Instrumententyp

Kategorie	Effizienz bei der Nutzung	Effizienz bei der Umwandlung	Rückbau fossiler Kapitalstock	Energieträger-/Technologie-wechsel zum Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks	Reduktion/Veränderung Aktivitäten	CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoff-management
fiskalisch	4(1)	2	4(1)	8(1)	1(1)	3
ökonomisch	1	0	2	2	2	1
Forschung & Entwicklung	1	1	1	1	1	0
Information	1	1	0	1	1	0
Regulierung national	3	5	4	9	3	0
Regulierung EU	3	4(1)	3	7(1)	4	5
Summe	14	14	15	30	13	9
Indirekt für Deutschland relevant*	3(1)	3	2(1)	4(1)	1(1)	1

Eigene Darstellung. Aufgelistet ist die Häufigkeit, mit der die jeweiligen Handlungsfelder durch die beschlossenen oder implementierten Maßnahmen unmittelbar und mittelbar adressiert werden.⁷⁴ Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Häufigkeit, mit der die jeweiligen Handlungsfelder durch bis Ende Q3 2024 implementierten Maßnahmen adressiert werden. Diese absoluten Zahlen sind nicht als Quantifizierung der Höhe oder Qualität der Wirkung von Instrumententypen oder einzelner Maßnahmen auf die Handlungsfelder zu interpretieren. *Unter *Indirekt für Deutschland relevant* werden EU-Verordnungen gefasst, die unabhängig von nationalem Recht gelten sowie Richtlinien, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch keine nationale Entsprechung haben.

126 **Ökonomische Instrumente** wirken theoretisch auf alle der genannten Handlungsfelder. Durch die implementierten bzw. beschlossenen europäischen Emissionshandelssysteme EU-ETS 1 und EU-ETS 2 wird der größte Teil der nationalen THG-Emissionen (perspektivisch) einer Mengensteuerung unterworfen. Eine solche Steuerung durch Mengenbegrenzung wurde vom Expertenrat bereits in ERK (2022c) als effektiv im Hinblick auf die Zielerreichung und als theoretisch (d. h. bei Vernachlässigung realwirtschaftlicher Friktionen) effizient hinsichtlich der THG-Minderungskosten erachtet. Die beschlossene Implementierung des EU-ETS 2, und damit die Ausweitung des Emissionshandels auf die Sektoren Gebäude und Verkehr sowie in Teilen der Industrie, wird daher als bedeutsame Veränderung im Klimaschutzpolitischen Instrumentarium gewertet. Jedoch hat der Expertenrat bereits in der Vergangenheit auch auf die verteilungspolitischen Herausforderungen hingewiesen, die preis- oder steuerbasierte Instrumente wie EU-ETS 1, EU-ETS 2 und BEHG haben (ERK 2022b; 2022c).

127 Die neuen oder novellierten Maßnahmen adressieren unterschiedliche und teilweise mehrere der in Abbildung 1 dargestellten Handlungsfelder zur THG-Minderung. Im Anhang ist eine vollständige Tabelle

⁷⁴ Der Instrumentenmix enthält auch EU-Richtlinien, die im Gegensatz zu EU-Verordnungen in nationales Recht umgesetzt werden müssen. Diese Richtlinien spielen eine wichtige Rolle, da sie den regulatorischen Rahmen vorgeben, innerhalb dessen die nationale Umsetzung implementiert werden muss; inwieweit die Handlungsfelder adressiert werden, hängt jedoch von den nationalen Maßnahmen sowie von den direkt wirkenden EU-Verordnungen ab.

mit den Maßnahmen aus Abbildung 25 und deren Wirkung auf die Handlungsfelder zu finden. Tabelle 11 gibt einen Überblick, wie häufig ein Handlungsfeld durch die novellierten oder neu eingeführten Maßnahmen unmittelbar oder mittelbar adressiert wird.

- 128 Im Vergleich zu seinem vorherigen Zweijahresgutachten im Jahr 2022 stellt der Expertenrat fest, dass im Zeitraum von 2022 bis 2024 **klimaschutzpolitische Anstrengungen verstärkt** wurden. Das Augenmerk des Instrumentariums lag insgesamt weiterhin auf Effizienzsteigerungen und dem Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks. Dabei stand weiterhin eine techno-ökonomische Strategie im Vordergrund, bestehenden fossilen Kapitalstock durch neuen, nicht-fossilen Kapitalstock zu ersetzen unter der Annahme, dass bestehende soziale und wirtschaftliche Praktiken beibehalten werden. Die Handlungsfelder Rückbau des fossilen Kapitalstocks sowie Reduzierung/Veränderung der Aktivitäten (nicht vermittelt über ökonomische Mengen- oder Preissteuerungen oder Effizienz in der Nutzung) werden weiterhin verhältnismäßig wenig adressiert. Wie in Kapitel 2 dargestellt, ist der Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks trotz der zahlreichen klimaschutzpolitischen Maßnahmen in den vergangenen Jahren jedoch in keinem Sektor in dem politisch gewünschten Ausmaß erfolgt. Weder im Verkehrs- noch im Gebäudesektor konnte ein bedeutsamer Zuwachs an nicht-fossilem Kapitalstock beobachtet werden. Im Industriesektor spielt dessen Aufbau bisher eine untergeordnete Rolle, wie unter anderem in Kapitel 2 anhand des gleichbleibenden Anteils von Strom am Endenergieverbrauch gezeigt wird. Lediglich im Sektor Energiewirtschaft war bei manchen Indikatoren eine deutliche Steigerung der Ausbaudynamik erkennbar. So hat sich zum Beispiel der Ausbau der Photovoltaik in den letzten Jahren deutlich beschleunigt. Auch die kumulierte monatlich genehmigte Anlagenleistung für Windenergie ist substantiell gestiegen und befindet sich im Jahr 2024 auf einem historischen Hoch. In den Handlungsfeldern Effizienz in der Umwandlung und Nutzung konnten durch das klimaschutzpolitische Instrumentarium in der Vergangenheit zwar beträchtliche technische Effizienzsteigerungen erzielt werden. Deren mindernde Wirkung auf den Energieverbrauch und die THG-Emissionen wird jedoch durch Rebound-Effekte und wohlstandbedingte Veränderungen des Nutzungsverhaltens teilweise wieder konterkariert (siehe auch ERK 2022c).

Infokasten 6: Staatliche Begünstigungen mit klimaschädlicher Wirkung

Der Expertenrat hat bereits in vergangenen Gutachten auf nicht förderliche Anreizstrukturen im politischen Instrumentarium hingewiesen, die in der Vergangenheit in einigen Sektoren emissionssteigernd wirkten (ERK 2022c; 2023c). Diese werden auch als klimaschädliche Subventionen bezeichnet. Dazu gehören insbesondere solche fiskalischen Instrumente, die nicht – wie die in Abbildung 26 dargestellten Maßnahmen – zu geringeren THG-Emissionen führen, sondern zusätzliche Emissionen verursachen und damit den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes entgegenwirken. Überwiegend werden mit diesen Maßnahmen andere Ziele wettbewerbs-, verteilungs- oder auch regionalpolitischer Art verfolgt. Ihre emissionssteigernde Wirkung lässt sich damit auch als negative Externalität interpretieren (Plötz et al. 2024,).

Zum **Umfang und den konkreten Tatbeständen der bestehenden staatlichen Begünstigungen mit emissionssteigernder Wirkung** gehen die Einschätzungen weit auseinander. Das Umweltbundesamt beziffert in seiner jüngsten Studie zu diesem Sachverhalt aus dem Jahr 2021 den Umfang umweltschädlicher Subventionen auf rund 65 Mrd. Euro jährlich, wovon das Gros auch eine relevante klimaschädliche Wirkung aufweist (Burger und Bretschneider 2021). Laut Plötz et al. (2024) betragen die staatlichen Begünstigungen mit klimaschädlicher Wirkung im Jahr 2020 35,8 Mrd. Euro. Der größte Teil entfiel laut der Studie mit 24,8 Mrd. Euro auf den Verkehrssektor. Die Bertelsmann-Stiftung hat im

Jahr 2023 ausgewählte klimaschädliche Subventionen in den Sektoren Verkehr und Industrie untersucht und Reformvorschläge abgeleitet (Meemken et al. 2023); sie beziffert den jährlichen Umfang der untersuchten Tatbestände auf 12,5 Mrd. Euro für den Verkehr und knapp 4 Mrd. Euro für die Industrie. Mit einem Abbau oder einer Umgestaltung solcher Maßnahmen wird in den genannten Studien sowohl ein Abbau von Hemmnissen für die THG-Minderung als auch eine finanzielle Entlastung des Staatshaushalts verbunden. Auf diese Aspekte hatte auch der Expertenrat für Klimafragen in vergangenen Gutachten hingewiesen (ERK 2022c; 2023c). Allerdings sind die mit diesen Maßnahmen eigentlich verfolgten politischen Ziele bei solchen Reformvorschlägen mit in die Betrachtung einzubeziehen, um mögliche nachteilige gesamtwirtschaftliche Effekte oder Verteilungswirkungen zu vermeiden.

Seit dem Jahr 2015 sehen die subventionspolitischen Leitlinien der Bundesregierung eine Nachhaltigkeitsprüfung für Ausgaben des Bundes vor. Darin sollen die jeweiligen Ressorts die langfristigen ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen der jeweiligen Subvention betrachten, unter anderem auch im Hinblick auf Klimaschutz. Die Bundesregierung selbst sieht im Zuge der jüngsten Untersuchung der insgesamt 246 Subventionen bei keiner Finanzhilfe und lediglich bei 12 Steuervergünstigungen in Höhe von insgesamt 6 Mrd. Euro eine „teilweise negative Wirkung“ in Bezug auf das Klima (BMF 2023). Der Bundesrechnungshof (2024) kommt in seiner abschließenden Mitteilung an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über die Prüfung der Einhaltung der subventionspolitischen Leitlinien zu dem Ergebnis, dass „die Bundesregierung [...] den Beschluss des Rechnungsprüfungsausschusses zur Darstellung der Klimawirkung von Subventionen unzureichend umgesetzt [hat]. Bislang fehlt ein klarer Maßstab, um die Klimawirkung von Subventionen zu bewerten.“ In seiner abschließenden Feststellung formuliert der Bundesrechnungshof die Erwartung, dass „eine einheitliche Methodik zur Bewertung der Klimawirkung von Subventionen [erarbeitet wird]. Die Methodik sollte für alle Ressorts gelten und bis zum nächsten Subventionsbericht vorliegen. [Es] sollten klimafreundliche, klimaneutrale und klimaschädliche Finanzhilfen im Subventionsbericht klar [ausgewiesen werden]. Ein Verweis auf den Klimaschutzbericht genügt nicht.“

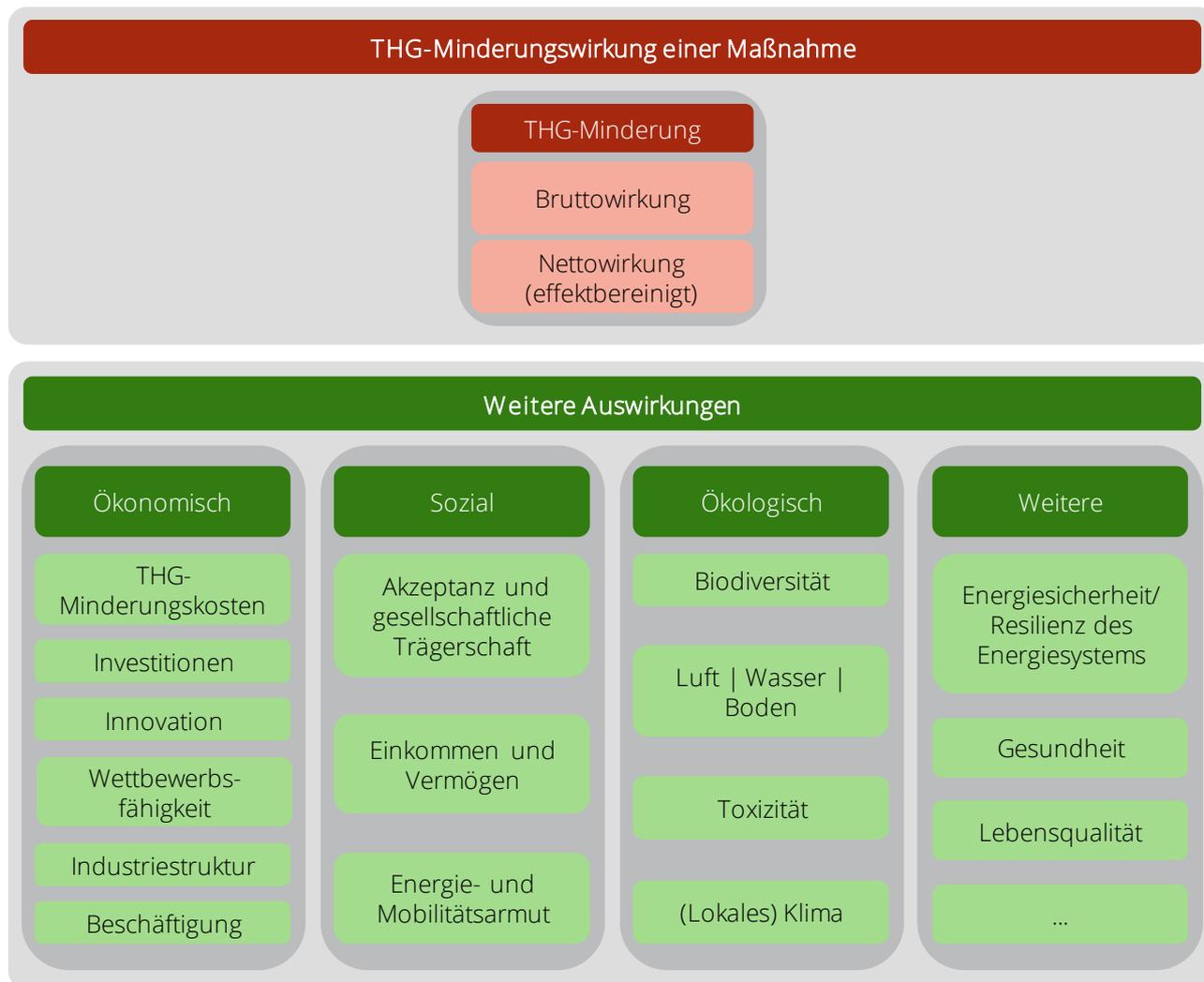
3.2 Wirkung des derzeitigen Instrumentenmix der Klimapolitik

129 Im Folgenden werden einzelne der in Kapitel 3.1 beschriebenen Maßnahmen vertieft untersucht. Hierzu werden gemäß § 12 Abs. 5 KSG neben der THG-Minderungswirkung der Maßnahmen auch weitere Auswirkungen in den Blick genommen. Diese werden in Kapitel 3.2.1 eingeführt. Die Bewertung der ausgewählten Maßnahmen anhand der definierten Bewertungskriterien erfolgt anschließend in Kapitel 3.2.2.

3.2.1 Treibhausgasminderung und Auswirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen

130 Abbildung 27 gibt einen Überblick über die hier betrachteten **Wirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen**. Hierzu zählen die THG-Minderung sowie ökonomische, soziale, ökologische und weitere Auswirkungen. Diese werden im Folgenden näher beschrieben. Die Auswirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen können sowohl in einem konfliktären (z. B. zusätzliche finanzielle Belastung einkommensarmer Haushalte) als auch in einem synergetischen (z. B. verbesserte Luftqualität) Verhältnis zu der klimaschutzpolitischen Maßnahme stehen.

Abbildung 27: Überblick über Wirkungen Klimaschutzpolitischer Maßnahmen



Eigene Darstellung. Auswahl Auswirkungen basierend auf Heyen (2021); Weidner (1992); Kellner et al. (2023); Steuwer et al. (2024); Bull und Eadson (2023); DellaValle und Czako (2022); Hagemeyer et al. (2024); Repenning et al. (2018); Lehr et al. (2020); UBA (2020) und Zimmermann (2018).

131 Die **THG-Minderungswirkung** einer klimaschutzpolitischen Maßnahme wird daran gemessen, in welchem Umfang die THG-Emissionen reduziert werden, d. h. wie groß ihr Beitrag zum Erreichen der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes ist. Die Betrachtungen zur Wirksamkeit klimaschutzpolitischer Maßnahmen gelten dabei sowohl in der ex-post als auch in der ex-ante Perspektive (siehe z. B. Matthes et al. 2021; Schlomann et al. 2022; Prognos et al. 2024c). Berücksichtigt werden dabei im Folgenden lediglich die Auswirkungen auf nationale THG-Emissionen gemäß dem Territorialprinzip.⁷⁵ Der Beitrag zur Zielerreichung, der die Gesamtwirkung der Maßnahme umfasst, wird in der Evaluationsmethodik

⁷⁵ Es ist wichtig zu beachten, dass Maßnahmen in Sektoren, die durch die Emissionshandelssysteme EU-ETS 1 und 2 erfasst sind, die EU-weiten Auswirkungen durch zeitliche und räumliche Verschiebungen und Kompensationen beeinflussen können. Darüber hinaus gibt es komplexe Wirkzusammenhänge auch auf globaler Ebene. Insgesamt kann daher aus der hier betrachteten nationalen THG-Minderungswirkung einer Maßnahme nicht auf deren Wirkung auf die globalen THG-Emissionen geschlossen werden.

auch als **Brutto-Wirkung** bezeichnet (siehe z. B. Fraunhofer ISI et al. 2020). Diese Brutto-Wirkung kann jedoch Effekte beinhalten, die der Maßnahme nicht unmittelbar zuzuschreiben sind. Dazu gehören sowohl Effekte, die die THG-Minderungswirkung reduzieren, als auch solche, die sie verstärken. Zu den reduzierenden Effekten zählen Rebound-Effekte, bei denen durch Kosteneinsparungen zusätzliche Emissionen verursacht werden, sowie strukturelle Effekte wie unterschiedliche Witterungsbedingungen während der Laufzeit einer Maßnahme. Insbesondere bei fiskalischen Instrumenten treten zudem Mitnahme- und Vorzieheffekte auf. Mitnahmeeffekte entstehen, wenn Fördermittel in Anspruch genommen werden, obwohl die Maßnahme auch ohne Förderung durchgeführt worden wäre. Vorzieheffekte hingegen beschreiben die vorzeitige Umsetzung einer Maßnahme, wie etwa den Austausch eines Heizkessels vor Ende seiner Lebensdauer, aufgrund einer Förderung. Zu den Effekten, die die THG-Minderungswirkung verstärken, zählen unter anderem Übertragungseffekte, auch Spill-Over-Effekte genannt, die mittelbar auf Dritte und andere Bereiche wirken. Ergänzend dazu bezeichnen Ausweitungseffekte solche Effekte, bei denen geförderte Maßnahmen umfangreicher umgesetzt wurden als ursprünglich geplant; durch eine Ausweitung des Vorhabens wird folglich auch die Wirkung erhöht.

- 132 Die **Netto-Wirkung** einer Maßnahme ergibt sich aus der Bereinigung der Bruttowirkung um die genannten Effekte, von denen jedoch nicht immer alle für eine Maßnahme relevant sind. Sie beschreibt die THG-Minderungen, die einer Maßnahme direkt zugeschrieben werden können (siehe z. B. Fraunhofer ISI et al. 2020). Auf der Ebene eines Instrumentenbündels, beispielsweise im Rahmen eines Klimaschutzprogramms, sind bei der Bereinigung der Brutto-Wirkung darüber hinaus Interaktionseffekte, d. h. mögliche Wechselwirkungen zwischen den Einzelmaßnahmen zu berücksichtigen, die die Wirksamkeit klimaschutzpolitischer Maßnahmen ebenfalls einschränken können.
- 133 Neben der THG-Minderungswirkung prüft der Expertenrat auch einige ausgewählte weitere **Auswirkungen** (siehe Abbildung 27). Diese können sowohl negative als auch positive Effekte beinhalten. Letztere werden auch als Zusatznutzen von Maßnahmen bezeichnet.⁷⁶ Die im Folgenden näher betrachteten **ökonomischen Auswirkungen** umfassen mögliche Auswirkungen auf Investitionen, auf das Innovationsgeschehen, auf die Wettbewerbsfähigkeit, auf die Industriestruktur sowie die Beschäftigung. Diese Auswirkungen resultieren aus den Maßnahmen und den durch sie verursachten Kosten. Letztere können als THG-Minderungskosten ausgewiesen werden, d. h. als Kosten pro eingesparter Tonne CO₂-Äq. (gemessen in Euro pro Tonne CO₂-Äq.). Die Berechnung der THG-Minderungskosten variiert je nach Instrumententyp. In einem Emissionshandelssystem, wie dem EU-ETS 1, entsprechen die THG-Minderungskosten dem CO₂-Preis. Für fiskalische Instrumente wird diese Metrik typischerweise in Evaluationen der Förderprogramme als sogenannte Fördereffizienz berechnet. Die Fördereffizienz dient hier der Kontrolle der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme hinsichtlich der eingesetzten Staatsausgaben, d. h. der Bewertung des Verhältnisses zwischen eingesetzten öffentlichen Mitteln (Input) und der erreichten Wirkung (Impact) einer Fördermaßnahme. Zudem kann die Hebelwirkung von Maßnahmen

⁷⁶ Dieser Begriff basiert auf einer grundlegenden Studie der IEA (Ryani und Campbell 2012) zu den Multiple Benefits von Maßnahmen der Energieeffizienzpolitik. Sie beinhalten über die reine Energieverbrauchs- und THG-Minderung hinausgehende positive Effekte auf ökonomische, soziale und weitere Parameter wie Gesundheit oder Energiesicherheit (siehe hierzu auch Reuter et al. 2020). In der Folge wurde das Konzept an verschiedenen Stellen zur Begründung ambitionierterer Energieeffizienz- und Klimaziele aufgegriffen, zuletzt beispielsweise von der IEA (2023a), der Europäischen Kommission (Europäische Kommission 2023b) mit dem neuen Artikel 3 der revidierten EED zum Prinzip „Energy Efficiency First“ oder im Bewertungsbericht 2024 des Europäischen Klimarates (ESABCC 2024).

ausgewiesen werden, also das Verhältnis der Fördermittel zu den dadurch ausgelösten (privaten) Investitionen. Bei Maßnahmen aus dem Bereich der Regulierung fallen die aus dem öffentlichen Haushalt finanzierten Ausgaben geringer aus als bei staatlichen Förderprogrammen, da sie nicht mit der Gewährung staatlicher Finanzhilfen verbunden sind. Es können jedoch weitere öffentliche Kosten anfallen, wie für die Kontrolle der Einhaltung von Vorgaben. Regulatorische Maßnahmen verursachen zudem private Kosten für die Erfüllung der Vorgaben durch private Investitionen und ggf. für die Erfüllung von Berichtspflichten. Diese können zu bedeutsamen THG-Minderungskosten führen. Aus wirtschaftstheoretischer Sicht wird die Kosteneffizienz (hinsichtlich der gesamten THG-Minderungskosten) in vollkommenen Märkten ohne Marktversagen⁷⁷ typischerweise durch Bepreisung oder Besteuerung von Externalitäten, wie THG-Emissionen, erreicht. Dies ist bei anderen Maßnahmentypen in der Regel nicht der Fall.

- 134 Im Bereich **sozialer Auswirkungen** stehen im Weiteren vor allem sozio-ökonomische Verteilungswirkungen Klimaschutzpolitischer Maßnahmen im Vordergrund. Hierzu gehören zum Beispiel die Auswirkungen auf Einkommen und Vermögen sowie auf Energiearmut (siehe Infokasten 7). Darüber hinaus wird betrachtet, inwiefern die ausgewählten KSG-relevanten politischen Maßnahmen von der Bevölkerung unterstützt werden oder inwiefern diese die Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft⁷⁸ der Transformation beeinflussen.
- 135 Zudem können Klimaschutzpolitische Maßnahmen sowohl mit positiven als auch mit negativen **ökologischen Auswirkungen** einhergehen. Positive ökologische Auswirkungen beziehen sich z. B. auf den Erhalt oder die Verbesserung von Ökosystemdienstleistungen wie Biodiversität, lokales Klima oder den Wasserrückhalt in der Landschaft. Negative ökologische Auswirkungen ergeben sich z. B. durch die Neuinanspruchnahme von Flächen.
- 136 Darüber hinaus prüft der Expertenrat auch Aspekte ausgewählter **weiterer Auswirkungen**, die nicht in den drei zuvor beschriebenen Kategorien betrachtet werden (siehe Abbildung 27). Dies beinhaltet zum Beispiel Auswirkungen für die Gesundheit durch eine verbesserte Luftqualität, wenn die Konzentration von Luftschadstoffen reduziert wird. Im Zuge Klimaschutzpolitischer Maßnahmen können zudem auch Auswirkungen mit Bezug auf die Energiesicherheit und die Resilienz des Energiesystems auftreten.

Infokasten 7: Energiearmut

In einigen europäischen Ländern wird das Problem der **Energiearmut** bereits seit vielen Jahren im Kontext der Energie- und Klimapolitik berücksichtigt. So wurde Energiearmut beispielsweise in Großbritannien in den 1980er und 1990er Jahren durch Boardman (1991) geprägt und in Frankreich seit dem Jahr 2010 im Gesetz über das nationale Engagement für die Umwelt verankert (Gouvernement de la République française 2010). Auch in der Energie- und Klimapolitik der Europäischen Union (EU) hat das Konzept der Energiearmut in den vergangenen zehn Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Im

⁷⁷ Als Marktversagen werden Situationen bezeichnet, in denen keine effiziente Ressourcenallokation durch Märkte erreicht werden kann. Bedingungen für vollkommene Märkte sind u. a. vollständige Konkurrenz, perfekte Information unter allen Marktteilnehmenden, keine Transaktionskosten sowie keine externen Effekte. Diese werden in der Realität jedoch nur selten vollständig erfüllt.

⁷⁸ Gemäß Colell et al. (2022) und Aykut et al. (2019) umfasst das Konzept der „gesellschaftlichen Trägerschaft“ eine bewusste Auseinandersetzung und ein tieferes Verständnis der Energiewende durch die Gesellschaft, einschließlich dem Mittragen von Entscheidungen sowie breiten Beteiligungsmöglichkeiten. Diese können in Form von Mitsprache, Mitgestaltung als auch von finanziellen Teilhabemöglichkeiten realisiert werden.

September 2023 wurde erstmals eine bindende EU-weite Definition von Energiearmut in die novellierte EU-Energieeffizienzrichtlinie (Europäische Kommission 2023b), im Folgenden EED, aufgenommen: Energiearmut bezeichnet demnach „den fehlenden Zugang eines Haushalts zu essenziellen Energiedienstleistungen, wenn mit diesen Dienstleistungen ein grundlegendes und angemessenes Maß an Lebensstandard und Gesundheit sichergestellt wird, einschließlich einer angemessenen Versorgung mit Wärme, Warmwasser, Kälte und Beleuchtung sowie Energie für den Betrieb von Haushaltsgeräten, in dem jeweiligen nationalen Kontext und unter Berücksichtigung der bestehenden nationalen sozialpolitischen Maßnahmen und anderer einschlägiger nationaler Maßnahmen, wobei diese durch eine Kombination von Faktoren verursacht wird, darunter zumindest Unerschwinglichkeit, unzureichendes verfügbares Einkommen, hohe Energieausgaben und schlechte Energieeffizienz von Wohnungen“ (Europäische Kommission 2023b).

In Deutschland wurde Energiearmut, die durch hohe Energiepreise auch als Folge Klimaschutzpolitischer Maßnahmen verschärft wird, in der Vergangenheit überwiegend durch sozialpolitische Maßnahmen adressiert. Sie wurde somit nicht als integraler Bestandteil der Energie- und Klimapolitik betrachtet (Noka und Cludius 2021). Sozialpolitik setzt allerdings mit ihrer offenen Förderung keine Anreize, technische oder verhaltensbedingte Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs oder der THG-Emissionen durchzuführen. Auch können in der Sozialpolitik mögliche betroffene Gruppen übersehen werden, bspw. einkommensarme, auf Pkw angewiesene pendelnde oder vulnerable Haushalte, die kein Wohngeld beziehen (siehe hierzu u. a. Kenkmann et al. 2024). Daher könnte eine direkte Berücksichtigung sozialer Auswirkungen im Instrumentenmix der Energie- und Klimapolitik dazu beitragen, Klimaschutzpolitische Ziele zu erreichen.

Mit der Verabschiedung des Klima-Sozialfonds (KSF) auf EU-Ebene im Jahr 2023 (siehe Infokasten 9) wurden Anforderungen an die Mitgliedstaaten gestellt, die sozialen Auswirkungen der CO₂-Bepreisung abzufedern. Auf europäischer Ebene sollen die möglichen sozialen Folgen des im Jahr 2027 zu implementierenden EU-ETS 2 bereits jetzt adressiert werden. Die Zahl der von Energie- aber auch der von Mobilitätsarmut betroffenen Haushalte und Einzelpersonen soll durch Maßnahmen und Investitionen verringert werden (Europäische Kommission 2023e; Ludden et al. 2024). Auf nationaler Ebene wurden mögliche Lösungen zur Abfederung der negativen sozialen Auswirkungen hoher Energie- und CO₂-Preise spätestens seit der Implementierung des BEHG diskutiert, aber bisher noch nicht umgesetzt. Darüber hinaus ist in der EED festgelegt, dass Endenergieeinsparungen in den Mitgliedstaaten auch bei dem von Energiearmut betroffenen Bevölkerungsteil erreicht werden müssen (Europäische Kommission 2023b). Dieser Bevölkerungsanteil muss mindestens dem im nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) als energiearm geschätzten Anteil der Bevölkerung entsprechen.

3.2.2 Bewertung ausgewählter Maßnahmen

137 Im Folgenden werden die THG-Minderung, die adressierten Handlungsfelder sowie die Auswirkungen gemäß der Wirkdimensionen in Abbildung 1 auf Basis bestehender Literatur eingeordnet (siehe Tabelle 12). Hierbei werden die sektorenübergreifenden CO₂-Bepreisungssysteme EU-ETS 1 und der beschlossene EU-ETS 2 aufgrund ihrer inhärenten THG-Minderungspotenziale sowie ihrer wirtschafts- und sozialpolitischen Relevanz betrachtet. Daneben werden exemplarisch jeweils zwei sektorenspezifische Maßnahmen in den drei wichtigsten Endenergiesektoren Industrie, Gebäude und Verkehr diskutiert. Wie bereits in Kapitel 3.1 festgestellt, lag in der Periode von 2022 bis 2024 ein Schwerpunkt auf der Novellierung oder Neueinführung fiskalischer sowie regulatorischer Instrumente.

Daher umfasst die Auswahl der im Folgenden hinsichtlich ihrer Wirkungen eingeordneten Maßnahmen sowohl fiskalische, ökonomische und regulatorische Instrumente.

138 Es wurden nur Maßnahmen ausgewählt, die einen maßgeblichen Beitrag zum Erreichen der Ziele nach Bundes-Klimaschutzgesetz bereits leisten bzw. zukünftig leisten könnten, oder die Handlungsfelder adressieren, die im bisherigen Instrumentenmix noch wenig adressiert werden (siehe Tabelle 12 und Tabelle A 11). Berücksichtigt werden sowohl bereits beschlossene und umgesetzte Maßnahmen, die bereits zur THG-Minderung beitragen, als auch kürzlich verabschiedete Maßnahmen, deren konkrete Umsetzung noch aussteht und bei denen offene Fragen zur Implementierung bestehen.

Tabelle 12: Ausgewählte und hinsichtlich ihrer Wirkungen eingeordnete Maßnahmen

Sektor	Ökonomisch	Fiskalisch	Regulatorisch
Sektorenübergreifend	<ul style="list-style-type: none"> • Europäisches Emissionshandelssystem 1 • Europäisches Emissionshandelssystem 2 		
Industrie		<ul style="list-style-type: none"> • Klimaschutzverträge • Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft 	
Gebäude		<ul style="list-style-type: none"> • Bundesförderung für effiziente Gebäude 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeenergiegesetz und Wärmeplanungsgesetz
Verkehr		<ul style="list-style-type: none"> • Umweltbonus • Deutschlandticket 	

Eigene Darstellung.

3.2.2.1 Europäisches Emissionshandelssystem 1 (EU-ETS 1)

139 Das **Europäische Emissionshandelssystem 1** (Europäische Kommission 2023a), im Folgenden **EU-ETS 1**, wurde im Jahr 2005 eingeführt, um die THG-Emissionen in der EU zu reduzieren. Der EU-ETS 1 ist ein „Cap-and-Trade“-System. Dabei wird für alle unter den EU-ETS 1 fallenden Anlagen der beteiligten Länder eine Obergrenze für THG-Emissionen festgelegt („Cap“). Unternehmen müssen für jede ausgestoßene Tonne CO₂ ein Europäisches Emissionszertifikat (EUA) vorweisen. Diese Zertifikate können gehandelt werden, sodass Unternehmen, die weniger emittieren, überschüssige Zertifikate verkaufen können („Trade“). Das System umfasst die Bereiche Energieerzeugung, Wärmeproduktion, Industrie, innereuropäischer Luftverkehr und seit dem Jahr 2024 den Seeverkehr. Insgesamt deckt der EU-ETS 1 etwa 40 % der gesamten EU-Emissionen ab. Der EU-ETS 1 durchlief bislang vier Phasen.

- i) Die Phase I (2005–2007) diente als Pilotprojekt, um die Grundlagen für das System zu schaffen. Die Zertifikate wurden hauptsächlich kostenlos zugeteilt. Phase I hatte ein hartes Ende am 31.12.2007, d. h. die Zertifikate aus Phase I konnten nicht in Phase II übertragen werden (d. h. es gab kein „Banking“).
- ii) In der Phase II (2008–2012) wurde das System um vier Teilnehmerstaaten und den Luftverkehr erweitert. Auch in dieser Phase wurden die Zertifikate vornehmlich kostenlos zugeteilt.

- iii) In Phase III (2013–2020) wurde der EU-ETS 1 auf weitere Industriebranchen ausgeweitet und es wurde eine jährliche Minderungsrate der Emissionsobergrenze eingeführt. Zudem wurde der Anteil frei zugeteilter Emissionszertifikate stark reduziert, vor allem für die Stromerzeugung, die seit dem Jahr 2013 im Regelfall keine kostenlosen Zertifikate mehr erhält. Außerdem wurde die Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt.
 - iv) Für die Phase IV (2021–2030) wurde der EU-ETS 1 weiter angepasst, um die im Jahr 2021 verschärften Klimaziele der EU für das Jahr 2030 („Fit for 55“-Paket) zu erreichen. Dazu wurde die jährliche Minderungsrate der Emissionsobergrenze angehoben und der EU-ETS 1 auf den Seeverkehr ausgeweitet.
- 140 Im Rahmen des Legislativpakets „Fit for 55“ wurde im Jahr 2023 das **CO₂-Grenzausgleichssystem (CBAM)** eingeführt (Europäische Kommission 2023f). Für die im CBAM enthaltenen Güter Eisen und Stahl, Zement, Düngemittel, Aluminium, Wasserstoffherstellung und Strom wird ab dem Jahr 2026 beim Import in den EU-Binnenmarkt eine Zahlung entsprechend der bei der Herstellung entstehenden Menge an THG-Emissionen fällig, sofern diese nicht bereits einer CO₂-Bepreisung unterliegen. Der CBAM soll, analog zur aktuell geltenden (teilweise) kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten, der Verlagerung der Produktion emissionsintensiver Güter ins Ausland außerhalb der EU (Carbon Leakage) entgegenwirken. Der Anteil der durch den CBAM bepreisten Emissionen wird für die abgedeckten Güter bis zum Jahr 2035 schrittweise angehoben. Parallel wird die kostenlose Zuteilung von Emissionszertifikaten reduziert.
- 141 Die **Entwicklung der industriellen Struktur** und der damit verbundenen THG-Emissionen in Deutschland (siehe Kapitel 2.3) hängt maßgeblich davon ab, wie effektiv der CBAM dazu beitragen kann, Carbon Leakage zu verhindern. Dies hängt mit den hohen CO₂-Kosten bei der Produktion emissions- und stromintensiver Industriegüter zusammen, deren THG-Emissionen im EU-ETS 1 bepreist werden. Gleichzeitig werden in vielen anderen Ländern THG-Emissionen von Industriegütern nicht oder nicht in gleicher Höhe bepreist. Im Unterschied zur kostenlosen Zuteilung deckt der CBAM Leakage-Risiken entlang der Wertschöpfungskette nur teilweise ab (im Rahmen der vom CBAM abgedeckten Produktgruppen). Exporte sind im CBAM nicht erfasst, Exporteure von CO₂-intensiven Grundstoffen und Produkten sind daher potenziell Carbon Leakage-Risiken ausgesetzt, wenn die kostenlose Zuteilung der Emissionszertifikate ausläuft. Die EU-Kommission untersucht daher aktuell, ob der CBAM auf weitere Güter ausgedehnt werden sollte.
- 142 In Tabelle 13 werden aktuelle Studien zu den Wirkungen des EU-ETS 1 betrachtet und deren Erkenntnisse eingeordnet. Es existiert nur wenig empirische ex-post Literatur zum EU-ETS 1 mit einem spezifischen Fokus auf die THG-Entwicklung in Deutschland unter dem Territorialprinzip. Deswegen wurde auf aktuelle ex-post Literatur mit einem EU-Fokus zurückgegriffen.

Tabelle 13: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „EU-ETS 1“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> Die THG-Emissionen in der EU⁷⁹, die vom EU-ETS 1 abgedeckt werden, sanken zwischen 2005 und 2022 um ca. 38 % (von 2 059 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2005 auf 1 286 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022). Die nicht vom EU-ETS 1 abgedeckten THG-Emissionen in der EU haben sich vom Jahr 2005 bis zum Jahr 2022 nur um ca. 16 % verringert (von 2 485 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2005 auf 2 089 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022). Dabei muss die stärkere Reduktion der vom EU-ETS 1 abgedeckten THG-Emissionen nicht ursächlich allein auf die Wirkung des EU-ETS 1 zurückzuführen sein. Stattdessen kann es weitere Faktoren geben, die sich unterschiedlich auf Emissionen innerhalb und außerhalb des EU-ETS 1 auswirken. Darüber hinaus gibt es Politikmaßnahmen, die als sogenannte „Overlapping Policies“ in komplexer Weise mit dem EU-ETS 1 interagieren (Salant 2016). Da der Preis für Zertifikate im EU-ETS 1 positiv ist, ist jedoch klar, dass die Emissionen der ETS-Sektoren ohne den EU-ETS höher ausgefallen wären als mit diesem. Ein Großteil der empirischen ex-post Literatur konzentriert sich auf die Phasen I und II des EU-ETS 1. In einer Meta-Analyse schätzen Döbbling-Hildebrandt et al. (2024) die THG-Minderungswirkung des EU-ETS 1 auf ca. -7,3 %.⁸⁰ Diese Meta-Analyse bezieht Studien mit einem Analysezeitraum bis maximal zum Jahr 2018 ein. Bordignon und Gamannossi degl’Innocenti (2023) werten Daten bis zum Jahr 2020 aus und untersuchen somit auch explizit die vollständige Entwicklung der Phase III. Die Autor*innen kommen zu dem Schluss, dass die ETS-Reform der Phase III die Emissionsreduktion signifikant steigerte. Auch beschreiben Böning et al. (2023), dass die THG-Minderungswirkung des EU-ETS 1 möglicherweise zeitweise höher war als von der EU angestrebt.⁸¹ Es ist keine ex-post Literatur bekannt, die die Emissionsreduktion der Periode mit stark gestiegenen Preisen seit dem Jahr 2021 untersucht. Die THG-Emissionen in Deutschland, die vom EU-ETS 1 abgedeckt werden, sanken zwischen 2005 und 2022 um ca. 31 % (von 514 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2005 auf 354 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022). Die nicht vom EU-ETS 1 abgedeckten THG-Emissionen in Deutschland haben sich in diesem Zeitraum nur um ca. 16 % verringert (von 474 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2005 auf 396 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022). Jedoch gibt es weitere Faktoren, die die stärkere Reduktion der vom EU-ETS 1 abgedeckten THG-Emissionen bewirkten. So haben bspw. die Energiekrise sowie die Auftragslage bzw. Nachfrage in bestimmten energieintensiven Industriezweigen auch die vom EU-ETS 1 abgedeckte THG-Emissionen in Deutschland maßgeblich beeinflusst (siehe auch ERK 2024b). In der ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024 ist der EU-ETS 1 mit einer addierten jährlichen Netto-Minderungswirkung⁸² von 17,6 Mt CO₂-Äq. im Sektor Industrie und mit 54,5 Mt CO₂-Äq. im

⁷⁹ Hierbei handelt es sich um die THG-Emissionen der Staaten, die im Jahr 2024 Mitglied der EU sind. Diese sind Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, die Niederlande, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, die Slowakei, Slowenien, Spanien, die Tschechische Republik, Ungarn und Zypern.

⁸⁰ Der Emissionsreduktions-Effekt wird als prozentuale Differenz zwischen den kontrafaktischen THG-Emissionen ohne CO₂-Preis und den beobachteten THG-Emissionen nach Einführung des CO₂-Preises ausgedrückt. Es wird davon ausgegangen, dass die Emissionsverringering zum Zeitpunkt der Einführung der Politik stattfindet und während des gesamten Beobachtungszeitraums als konstante Differenz zu den kontrafaktischen THG-Emissionen bestehen bleibt. Der angegebene Emissionsreduktions-Effekt ist ohne eine Korrektur der Publikationsverzerrung angegeben, da diese im Fall des EU-ETS 1 nur zu marginalen Änderungen führt.

⁸¹ Laut der Autor*innen hat der EU-ETS 1 dazu beigetragen, die Emissionsreduktion stärker zu beschleunigen als von der EU geplant: Im Durchschnitt 2,1 % pro Jahr gegenüber den angestrebten 1,6 % im Zeitraum 2005 bis 2016. Allerdings finden die Autor*innen sowohl Anzeichen für Carbon Leakage als auch Produktionsminderungen bei regulierten Unternehmen.

⁸² Für eine Definition verschiedener Ausweisemodi von Maßnahmen wird auf Fraunhofer et al. (2021), Schломann et al. (2022) und Neusel und Hirzel (2023) verwiesen. Die addierte jährliche THG-Minderung in einem Jahr ergibt sich rechnerisch aus der Addition der jährlichen neuen Einsparungen aufgrund dieser Maßnahme und berücksichtigt die jeweilige Wirkdauer. Es wird somit eine Aussage dazu getroffen, welche THG-Minderung eine Maßnahme im betrachteten Jahr unter Berücksichtigung ihrer Vergangenheit entfaltet. Verwendung findet diese Logik zum Beispiel auch bei den Maßnahmenbewertungen des Projektionsberichtes (Harthan et al. 2024).

Kriterium	Beschreibung
	<p>Sektor Energiewirtschaft⁸³ im Jahr 2030 für Deutschland quantifiziert (Harthan et al. 2024). In beiden Sektoren weist die Maßnahme im Vergleich zu den anderen Maßnahmen eine hohe THG-Minderungswirkung auf.</p>
<p>Adressierte Handlungsfelder</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Der EU-ETS 1 kann sich sowohl auf die Aktivitäten und Effizienz als auch den Rückbau des fossilen Kapitalstocks sowie einen Energieträger-/Technologiewechsel durch den Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks auswirken. • Es ist anzumerken, dass sich die folgenden zitierten Artikel zum großen Teil auf die EU-ETS 1 Phasen I und II mit niedrigen Preisen beziehen. Bergh und Savin (2021) weisen zudem darauf hin, dass Innovationsprozesse, die sich auf einen Technologiewechsel auswirken können, oft viel Zeit benötigen würden. Deshalb sei die Aussagekraft der untersuchten Zeitspannen tendenziell begrenzt. • Lilliestam et al. (2022) führen die THG-Minderung primär auf einen Energieträgerwechsel zu kohlenstoffärmeren fossilen Brennstoffen und Effizienzsteigerungen zurück. Ein entscheidender Faktor ist, dass der EU-ETS 1 unter anderem die Stromwirtschaft umfasst, in der Energieträgerwechsel, v. a. von Kohle zu Gas, im bestehenden Kapitalstock möglich sind. • Die CO₂-Bepreisung motivierte laut Colmer et al. (2024) Unternehmen dazu, in energieeffizientere Technologien zu investieren. Dechezleprêtre et al. (2023) bestätigen, dass regulierte Unternehmen ihre Anlagevermögen insgesamt erhöhten und erklären dies mit Investitionen in emissionsmindernde Technologien. Leichte Effekte des EU-ETS 1 auf Investitionen in kohlenstoffärmeren Kapitalstock und Innovationssteigerungen werden auch von Lilliestam et al. (2022) genannt. Allerdings sehen sie keine Anzeichen dafür, dass Investitionen in neuen, nicht-fossilen Kapitalstock ausgelöst werden.
<p>Soziale Auswirkungen (Einkommen und Vermögen)</p>	<p>Einkommen und Vermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die sozialen Auswirkungen des EU-ETS 1 hängen maßgeblich von der Höhe des CO₂-Preises und dem Anteil ab, den Unternehmen unmittelbar und mittelbar an die Endkund*innen weitergeben. Letzteres hängt von den Marktdynamiken in den unterschiedlichen Sektoren ab und kann daher sektorenspezifisch unterschiedlich ausfallen. Der CO₂-Preis lag in den ersten Jahren des EU-ETS 1 oft unter 20 Euro pro Tonne. Erst seit dem Jahr 2021 stiegen die Preise an und lagen zwischen den Jahren 2022 und 2024 teilweise über 80 Euro pro Tonne. • Bai und Okullo (2023) berechnen, dass CO₂-Preise in europäischen Energiemärkten nahezu vollständig an Endkund*innen weitergegeben würden. Hintermann (2016) bestätigt dieses Ergebnis für die Stromkosten in Deutschland. Cludius et al. (2020) zeigen, dass die Weitergabe von CO₂-Preisen im EU-ETS 1 auf Produktpreise je nach Industrie-Branche unterschiedlich ausfiel. Während in Raffinerien, der Eisen- und Stahlindustrie sowie im Zementsektor ein erheblicher Anteil der Kosten auf die Produktpreise umgelegt würde, fielen die Ergebnisse für die Düngemittel-, Petrochemie- und Glasindustrie gemischt aus. • Eine Analyse von Bach et al. (2018) untersucht unter anderem, wie eine Erhöhung der Stromkosten auf verschiedene Einkommensgruppen wirkt. Die Autor*innen heben hervor, dass über die Einkommensgruppen betrachtet die Stromkosten deutlich regressiv wirken würden. Dies liege darin begründet, dass einkommensärmere Haushalte einen größeren Anteil ihres Netto-Einkommens für Stromkosten ausgeben würden als reichere Haushalte. Somit ist anzunehmen, dass auch eine vom EU-ETS 1 induzierte Erhöhung der Stromkosten regressiv wirkt.

⁸³ Die Wirkung des EU-ETS 1 wird durch eine kontrafaktische Entwicklung ermittelt, bei der der CO₂-Preis in Deutschland und Europa bei 0 Euro pro Tonne CO₂ liegt. Die Wirkung des EEG wird mittels einer kontrafaktischen Entwicklung ermittelt, in der ein weniger ambitionierter Ausbau der Kapazitäten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern unterstellt wird. Sowohl der EU-ETS 1 Preis als auch der Ausbau der Kapazitäten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern wird exogen in das Modell reingegeben. Eine Veränderung dieser exogenen Größen dient dann der Maßnahmenevaluierung. Wechselwirkungen zwischen beiden werden nicht berücksichtigt. Ebenso wenig mögliche Effekte des EU-ETS 1 auf den Ausbau/Rückbau von Stromerzeugungskapazitäten.

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Innovation, Wettbewerbsfähigkeit, Industriestruktur, Beschäftigung)	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Preis des EU-ETS 1 und damit die THG-Minderungskosten bewegte sich zwischen den Jahren 2021 und 2024 im Jahresdurchschnitt in einer Bandbreite von 54 und 84 Euro pro Tonne CO₂-Äq. (maximal lag er bei 100 Euro). Der Verlauf des Preises des EU-ETS 1 wird in Abbildung A 23 im Anhang dargestellt. <p>Investition, Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die folgenden zitierten ex-post Studien beziehen sich zu großen Teilen auf die EU-ETS 1 Phasen I, II und teilweise III mit niedrigen Preisen. Deshalb ist die Aussagekraft der untersuchten Zeitspannen tendenziell begrenzt. Die Teilnahme am EU-ETS 1 habe laut einer ex-post Studie der Phasen I und II von Colmer et al. (2024) keine nachweisbaren Rückgänge in der wirtschaftlichen Aktivität und wird mit leicht positiven Effekten auf die Wertschöpfung, Beschäftigung, Investitionen und Produktivität in Verbindung gebracht. Eine andere Studie kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass es keine signifikanten negativen Auswirkungen auf Beschäftigung und Gewinne gebe, wobei die regulierten Unternehmen ihre Einnahmen und Anlagevermögen erhöhen konnten (Dechezleprêtre et al. 2023). Der Einfluss des EU-ETS 1 in Phase III auf die Wettbewerbsfähigkeit war laut Bordignon und Gamannossi degl'Innocenti (2023) gering und statistisch nicht signifikant. Böning et al. (2023) kommen hingegen zu dem Schluss, dass der EU-ETS 1 in regulierten Sektoren zu Produktionsrückgängen führte. Wettbewerbsnachteile bestünden insbesondere für Unternehmen in inländischen Besitz. Unternehmen in ausländischem Besitz verzeichneten zwar besonders hohen Produktionsrückgänge, diese seien jedoch vor allem auf eine größere Flexibilität bei der Verlagerung von Produktionsprozessen in nicht-regulierte Regionen zurückzuführen. <p>Industriestruktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ex-post Studien haben wenig Anzeichen für erhebliche Carbon Leakage-Effekte im Zusammenhang mit dem EU-ETS 1 gefunden (siehe Grubb et al. 2022; Caron 2022; Verde 2020,).⁸⁴ Dies erkläre sich u. a. durch die kostenlose Zuteilung von Emissionszertifikaten. Böning et al. (2023) verweisen allerdings auf beobachtete Leakage-Effekte bei energieintensiven Industrien. Außerdem kommen Böning et al. (2023) zu dem Ergebnis, dass Leakage-Effekte insbesondere bei Unternehmen in ausländischem Besitz auftreten. Dies begründen die Autor*innen damit, dass diese Unternehmen tendenziell einfacher emissionsintensive Produktionsschritte ins Ausland verlagern könnten. Im Gegensatz zu den ex-post Studien zeigen modellbasierte ex-ante Studien, dass bei höheren CO₂-Preisen und fehlenden Ausnahmeregelungen, wie der kostenlosen Zuteilung von Emissionszertifikaten, das Risiko von Carbon Leakage signifikant steigen könnte (Caron 2022).

Eigene Darstellung. Die Effektivität und Auswirkungen des EU-ETS 1 wurde seit der Einführung im Jahr 2005 in mehreren ökonometrischen Studien untersucht. Die Vergleichbarkeit der Studien zur Effektivität und den Auswirkungen des EU-ETS 1 ist eingeschränkt, da sie sich meistens zeitlich und geografisch sowie in der Analyseebene unterscheiden.

143 **Insgesamt** zeigt sich, dass sowohl die tatsächliche Entwicklung in den vom EU-ETS 1 erfassten Sektoren als auch alle analysierten Studien eine Minderungswirkung des **EU-ETS 1** auf die dort abgedeckten THG-Emissionen nahelegen. Hinsichtlich der Wirkung in den verschiedenen Handlungsfeldern ist eine abschließende Beurteilung nicht möglich. Es liegen Untersuchungen vor, die auf eine Anreizwirkung hindeuten, insbesondere im Hinblick auf einen Brennstoffwechsel hin zu kohlenstoffärmeren fossilen Brennstoffen. Zudem wird auch der Aufbau von CO₂-ärmerer Produktionsprozesse genannt. Jedoch liegen auch Untersuchungen vor, die bezweifeln, dass der EU-ETS 1 Investitionen in nicht-fossilen Kapitalstock ausgelöst hat. Somit ist derzeit ungewiss, inwiefern der EU-ETS 1 lediglich statische oder

⁸⁴ Die zitierten ex-post Studien beziehen sich zu großen Teilen auf die EU-ETS 1 Phasen I, II und teilweise III mit niedrigen Preisen.

auch dynamische Handlungsfelder adressiert. Für manche emissionsintensive Industriezweige besteht aufgrund von gestiegenen CO₂-Preisen und der geplanten Beendigung der kostenlosen Zuteilung von Emissionszertifikaten ein erhöhtes Risiko für die Wettbewerbsfähigkeit und ein mögliches Carbon Leakage. Inwieweit dieses Risiko durch die parallele Einführung des CBAM gemindert werden kann, hängt von der Wirksamkeit des CBAM ab. Zukünftig steigende CO₂-Preise können auch die sozialen Auswirkungen des EU-ETS 1 verstärken. Dies gilt insbesondere für Stromkosten, bei denen die CO₂-Preise nahezu vollständig an Endkund*innen weitergegeben werden.

3.2.2.2 Europäisches Emissionshandelssystem 2 (EU-ETS 2)

- 144 Das derzeit national geltende BEHG ist ein ökonomisches Instrument, das einen großen Teil der THG-Emissionen der Sektoren abdeckt, die nicht unter den EU-ETS 1 fallen. Das betrifft die Sektoren Gebäude und Verkehr und Feuerungsanlagen, die nicht dem EU-ETS 1 unterliegen. Für das Jahr 2027 ist geplant, dass das nationale BEHG in das **Europäische Emissionshandelssystem 2** (Europäische Kommission 2023a), im Folgenden **EU-ETS 2**, überführt wird (für den Übergang siehe Infokasten 8).
- 145 Der EU-ETS 2 ähnelt dem EU-ETS 1. Es wird ein Gesamtbudget festgelegt, das sich über die Jahre reduziert. Der Preis bildet sich am Markt. Im Gegensatz zum EU-ETS 1 verfolgt der EU-ETS 2 einen **Upstream-Ansatz**. Das bedeutet, dass die Inverkehrbringer von Brennstoffen Zertifikate für die in den Brennstoffen enthaltenen THG-Emissionen erwerben müssen. Die entsprechenden Kosten können dann durch die Inverkehrbringer auf die Verkaufspreise der Brennstoffe aufgeschlagen werden.
- 146 Während das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) nach BEHG bis zum Jahr 2026 mit Festpreisen bzw. einem Preiskorridor arbeitet, sind die Preisentwicklungen des im Jahr 2027 startenden EU-ETS 2, bei dem sich die Zertifikatspreise am Markt bilden, mit großen **Unsicherheiten** behaftet. So finden sich in der Literatur für das Jahr 2030 Preisspannen zwischen 60 und 380 Euro pro Tonne CO₂ (Pahle 2024).⁸⁵ Diese große Spannweite lässt sich vor allem auf verschiedene Annahmen zu begleitenden Minderungsmaßnahmen zurückführen (Günther et al. 2024). Darüber hinaus können die Preise aber auch durch viele weitere Faktoren beeinflusst werden, wie z. B. durch bereits erfolgte Emissionsreduktionen, strukturelle Veränderungen in den Energiepreisen, technologische Sprünge, externe Schocks, die Witterung, die Wirtschaftsentwicklung sowie die (Preis-) Erwartungen und das Verhalten der Marktteilnehmenden (Günther et al. 2024; Holm und Sprengard 2024).
- 147 Zur Mengen- und Preissteuerung wird eine **Marktstabilitätsreserve** eingerichtet, die über verschiedene Mechanismen Preissprünge abschwächen soll. Zum einen werden Zertifikate aus späteren Jahren in das Jahr 2027 vorgezogen („Frontloading“), um beim Start mehr Zertifikate im Markt zu haben und den Preisdruck zu mindern. Dieser Mechanismus ist neutral zur Zielerreichung im Jahr 2030. Zum anderen werden bei dreimonatigem Überschreiten der Preisschwellen von 45 Euro pro Tonne CO₂ sowie schnellen und starken Preisanstiegen (z. B. Verdopplung innerhalb von drei Monaten) neue Zertifikate in den Markt ausgeschüttet (Graichen und Ludig 2024). Diese Zertifikate sind nicht Teil des Gesamtbudgets und damit nicht neutral zur Zielerreichung (ESABCC 2024). Insgesamt könnte die preismindernde Wirkung der Marktstabilitätsreserve jedoch eher gering ausfallen, sodass die Preise auch deutlich über 45 Euro pro Tonne CO₂ liegen könnten (Agora Energiewende und Agora Verkehrswende 2023; Pahle 2024). In ihrem Impact Assessment ging die EU-Kommission je nach

⁸⁵ Zum Vergleich: Ein Preisanstieg für fossile Brennstoffe bei einem Anstieg des CO₂-Preises um 10 Euro pro Tonne CO₂ bedeuten für Benzin einen Anstieg von 2,3 Cent pro Liter, für Heizöl (leicht)/Diesel einen Anstieg von 2,7 Cent pro Liter und bei Erdgas einen Anstieg von 0,2 Cent pro kWh (BAFA 2024).

Maßnahmen der Mitgliedsstaaten von einem EU-ETS 2-Preis zwischen 48 und 80 Euro pro Tonne CO₂ aus (Europäische Kommission 2021a). Der Preis von 48 Euro pro Tonne CO₂ basiert dabei auf vielen zusätzlichen Maßnahmen und Emissionsminderungen in den Mitgliedsländern, die bisher noch nicht umgesetzt wurden.

148 Der EU-ETS 2 ist ein europaweites Handelssystem, das das Erreichen der europäischen Emissionsziele sicherstellen soll. Die deutschen Verpflichtungen unter der ESR werden mit diesem System nicht automatisch eingehalten. Zudem richtet sich die Obergrenze („Cap“) im EU-ETS 2, die die Zertifikatmenge bestimmt, nach den **ESR-Zielen** für ganz Europa. Die Obergrenze, die bisher für das BEHG ab dem Jahr 2027 vorgesehen war, richtet sich nach den ESR-Zielen für Deutschland. Da diese ambitionierter sind als die gesamteuropäischen Ziele, entsteht mit dem Übergang vom BEHG zum EU-ETS 2 eine Erfüllungslücke für Deutschland. So liegt die Obergrenze im BEHG bei einer THG-Minderung von 46 % im Jahr 2030 gegenüber den Jahren 2016 bis 2018, während sie beim EU-ETS 2 bei einer Minderung von 38 % liegt (siehe Graichen und Ludig 2024, S. 37). Werden die ESR-Ziele nicht eingehalten, müssen Zertifikate aus anderen EU-Ländern, sofern diese verfügbar sind, erworben und weitere Flexibilitätsoptionen genutzt werden (siehe hierzu ERK 2024a). Zudem ist Deutschland für den größten Anteil aller THG-Emissionen im Rahmen des EU-ETS 2 verantwortlich.⁸⁶ Daher kann die THG-Minderung in den EU-ETS 2 Sektoren in Deutschland bedeutsame Auswirkungen auf die Höhe des EU-ETS 2-Preises haben. Wenn in Deutschland und anderen Ländern mit hohen THG-Emissionen, wie Frankreich und Italien, die Emissionsminderung langsam voranschreitet, erhöht sich der Druck auf den CO₂-Preis im EU-ETS 2. Folglich bestehen Anreize für Deutschland, weitere Maßnahmen zur THG-Minderung umzusetzen: Zum einen, um die eigenen ESR-Ziele zu erreichen und zum anderen, um den Druck auf den Preis zu reduzieren und so das Instrument der CO₂-Bepreisung zu schützen.

149 Mögliche Wirkungen des EU-ETS 2 werden in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „EU-ETS 2“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> In der ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024 (Harthan et al. 2024) wird die THG-Minderungswirkung des EU-ETS 2 mit einer addierten jährlichen Netto-Minderungswirkung⁸² von 6,8 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2030 im Verkehrssektor und mit 0,3 Mt CO₂-Äq. im Gebäudesektor ausgewiesen. Da der EU-ETS 2 erst im Jahr 2027 startet und sowohl die Umsetzung als auch die Preishöhe mit großen Unsicherheiten verbunden ist, ist diese Abschätzung sehr unsicher. Theoretisch sollte der EU-ETS 2 (aufgrund der harten Begrenzung der zulässigen THG-Emissionen) bei entsprechend konsequenter Umsetzung automatisch die gesetzten Ziele auf europäischer Ebene sicherstellen (Haywood und Jakob 2023). Der EU-ETS 2 sei damit laut verschiedenen Studien ein wichtiger Baustein zum Erreichen der europäischen Ziele (Görlach et al. 2022; PIK 2022). Mit der Ausweitung des Emissionshandels wird somit ein Großteil der europäischen Emissionen von ihm erfasst (UBA 2022a). Dennoch bestehen einige Unsicherheiten bzw. Hemmnisse. Holm und Sprengard (2024) weist darauf hin, dass die Höhe des Preises unsicher sei und es dadurch zu Fehlinvestitionen durch falsche Preiserwartungen kommen könnte. Auch die Annahmen ökonomischer Theorie hinsichtlich perfekter Information (zukünftiger Preise), rationalen Verhaltens, vollständiger Märkte ohne Finanzierungseinschränkungen und der Nichtexistenz von Transaktionskosten entspricht nicht den realen

⁸⁶ Der Anteil Deutschlands betrug 23,7 % in den Jahren 2016 bis 2018. Gefolgt von Frankreich mit einem Anteil von 15,6 % und Italien mit 13,2 % (siehe Graichen und Ludig 2024, S. 33). Diese Länder sind damit für mehr als die Hälfte aller Emissionen in diesen Bereichen verantwortlich. Auf Basis dieser Anteile werden auch die Einnahmen des EU-ETS 2 verteilt.

Kriterium	Beschreibung
	<p>(Markt)-Bedingungen. Zudem besteht das Risiko einer politischen bzw. gesellschaftlichen Gegenreaktion auf hohe CO₂-Preise.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gemäß Braungardt, S. et al. (2024) könnte der Beitrag zur Zielerreichung des EU-ETS 2 im Gebäudesektor selbst bei optimistischen Annahmen begrenzt sein. Die Autor*innen schlussfolgern, dass für die Transformation des Gebäudesektors zusätzlich zum EU-ETS 2 ein starker Instrumentenmix erforderlich sei. • Auch im Verkehrssektor weist beispielsweise die Studie von Haywood und Jakob (2023) darauf hin, dass der EU-ETS 2 zur notwendigen THG-Minderung allein nicht ausreichen könnte. Die dafür notwendige Höhe der Zertifikatspreise sei aus sozialer Sicht nicht wünschenswert, weshalb Haywood und Jakob (2023) zusätzliche Maßnahmen zum EU-ETS 2 empfiehlt.
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> • Die CO₂-Bepreisungssysteme adressieren unterschiedliche Handlungsfelder: Zum einen können Preissignale dazu führen, dass Aktivitäten verändert, Effizienz in der Nutzung angereizt und dadurch verhaltensbasierte THG-Minderungspotenziale gefördert werden. Die Wahl geringerer Heiztemperaturen bzw. geringerer beheizter Wohnfläche sowie die Nutzung CO₂-armer Alternativen, wie bspw. Radverkehr und Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) anstatt Pkw-Nutzung, werden somit ggf. attraktiver (statischer Effekt). Zum anderen wirken sie auf den Rückbau des fossilen Kapitalstocks und/oder liefern einen Anreiz für Investitionen in neuen, nicht-fossilen Kapitalstock, wie Wärmepumpen oder BEV (insofern über entsprechende finanzielle Mittel verfügt wird). Durch die Flankierung des EU-ETS 2 mit sozial differenzierten Förderprogrammen, die Haushalte bei der Transformation unterstützen, könnte dieser dynamische Effekt möglicherweise verstärkt werden.
Soziale Auswirkungen (Einkommen und Vermögen, Energie- und Mobilitätsarmut, Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft)	<p>Einkommen und Vermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zentrale Auswirkungen beim EU-ETS 2 betreffen aufgrund der vorrangigen Adressierung der beiden Sektoren Verkehr und Gebäude vor allem die Endverbraucher*innen. • Held et al. (2022) beschreibt, dass die Belastungen durch die CO₂-Bepreisung regressiv wirken, da einkommensarme Haushalte einen größeren Anteil ihres Einkommens für Energie und Transport bzw. fossile Energieträger ausgeben. Gemäß Endres (2023) sei die regressive Wirkung im Sektor Gebäude ausgeprägter als im Verkehr. Schrems et al. (2022) führen aus, dass die CO₂-Bepreisung im BEHG die Privathaushalte im Jahr 2022 im Durchschnitt mit 0,3 % des Netto-Einkommens belastete.⁸⁷ Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass auch innerhalb einer Einkommensgruppe Haushalte verschieden stark betroffen sein können, z. B. Mietende vs. Eigentümerschaft, Alleinerziehende vs. Familien, Haushalte mit Ölheizungen vs. Wärmepumpen, urbane vs. ländliche Infrastrukturen, ungedämmte vs. effizient gedämmte Gebäude (Endres 2023; Schrems et al. 2022; Holm und Sprengard 2024). • Personen, die Transferhilfe empfangen, sind nicht von steigenden Heizkosten betroffen, da diese vom Staat übernommen werden (Bundesregierung 2023a). Allerdings können Zweitrundeneffekte, wie die Verteuerung von Lebensmitteln und Dienstleistungen, auch diese Gruppe betreffen (Obst und Stockhausen 2023). • Gerade einkommensarme Haushalte haben abgesehen von Veränderungen in den Aktivitäten nur begrenzt Möglichkeiten, den steigenden Kosten auch mittel- bis langfristig zu entgehen, z. B. durch Wechsel zu nicht-fossilen Alternativen wie Wärmepumpen oder BEV, die höhere Investitionen verlangen (Held 2022). Dadurch steige das Risiko einer zu starken Reduktion der Heiztemperatur und entsprechenden adversen Effekten auf die Gesundheit (Ballesteros-Arjona et al. 2022). • Zum Schutz von Mietenden vor stark steigenden Kosten durch die CO₂-Bepreisung sowie zur Beibehaltung der Anreizwirkung von Investitionen bei Vermietenden, ist Anfang des Jahres 2023 das Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz (CO₂KostAufG) in Kraft getreten (CO₂KostAufG 2022). Dieses regelt, wie die CO₂-Kosten, die für fossile Brennstoffe anfallen, zwischen Vermietenden und Mietenden aufgeteilt werden. Die Aufteilung wird bestimmt durch den Verbrauch, der maßgeblich durch den energetischen Zustand der Wohnung bestimmt wird. Umso geringer der CO₂-Ausstoß pro Quadratmeter Wohnfläche und

⁸⁷ Im unteren Dezil sind es 0,6 % des Nettoeinkommens, in den mittleren Einkommensdezilen um die 0,4 % und im obersten Dezil nur noch 0,2 % (Schrems et al. 2022).

Kriterium	Beschreibung
	<p>Jahr, desto größer ist der Anteil, den Mietende zahlen müssen. Ausnahmen bestehen bspw. für denkmalgeschützte oder von einem Anschlusszwang an Wärmenetze betroffene Gebäude sowie Gasetagenheizungen.</p> <p>Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft, Energie- und Mobilitätsarmut:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Gestaltung möglicher Ausgleichs- und Unterstützungsmechanismen, wie einem Klimageld und zielgenauen Förderprogramme für benachteiligte Haushalte, sind nach Auffassung verschiedener Autor*innen zentral für die Abfederung sozialer Härten durch die CO₂-Bepreisung (Endres 2023; Kaestner et al. 2023b; Kaestner et al. 2023a; Knopf et al. 2024). Bereits ein Jahr vor dem Start des EU-ETS 2 wird ergänzend dazu ein sozialer Mechanismus eingerichtet. Der Klima-Sozialfonds soll Menschen bei der Transformation unterstützen und Folgen für benachteiligte Gruppen reduzieren (siehe Infokasten 9).
THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung)	<p>Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Betroffen von möglichen negativen ökonomischen Auswirkungen könnten primär die unter den EU-ETS 2 fallenden kleineren Gewerbe und Industrieanlagen sein, die fossile Brennstoffe verbrennen (z. B. Gasöfen in Bäckereien) und aufgrund ihrer zu geringen Größe bisher noch nicht vom EU-ETS 1 erfasst wurden. So könnte sich die finanzielle Mehrbelastung auf die Wettbewerbsfähigkeit und somit indirekt auch auf die Beschäftigung auswirken. Zudem könnten die Unsicherheiten bei den Zertifikatspreisen auch zu Fehlinvestitionen führen. Vulnerable Kleinstunternehmen sollen jedoch auch durch den Klima-Sozialfonds adressiert werden. Zudem sind durch eine Verteuerung der Kraftstoffpreise wirtschaftliche Auswirkungen auf den Güterverkehr zu erwarten.

Eigene Darstellung.

Infokasten 8: Übergang BEHG zu EU-ETS 2

Der **Übergang** vom nationalen CO₂-Preis (BEHG), der bereits für die Bereiche Straßenverkehr und Gebäude besteht, zum europäischen EU-ETS 2 ist vor allem vor dem Hintergrund der Zielerreichung in diesen Sektoren (ESR) sowie sozialer Auswirkungen relevant. Derzeit wird die Anpassung des Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes (TEHG) im Bundestag diskutiert und wird möglicherweise noch bis zur Veröffentlichung dieses Gutachtens beschlossen werden. Das Gesetz soll unter anderem den Übergang zum EU-ETS 2 regeln. Der Gesetzentwurf sieht vor, dass das sogenannte Op-In-Verfahren (nach Art. 24 bzw. 30j der Emissionshandelsrichtlinie) genutzt wird. Das bedeutet, dass alle THG-Emissionen, die der CO₂-Bepreisung nach dem BEHG unterliegen, auch dem EU-ETS 2 zugeordnet werden sollen. Der Entwurf regelt zudem, dass ein Festpreissystem gelten würde, falls der Emissionshandel auf EU-Ebene erst ein Jahr später startet als geplant. Der Preis in diesem System würde sich an dem Preis im EU-ETS 1 orientieren.

Auf Basis des Gesetzentwurfs würden zwei Probleme für den Übergang entstehen. Erstens kann es zu Preissprüngen beim Übergang vom BEHG- zum EU-ETS 2-System kommen, die sowohl zu Ineffizienzen als auch zu Verunsicherung der Marktteilnehmenden führen könnten. Abrupte Preissteigerungen können zudem zu sozialen Härten führen. Zweitens stellt die Überführung des BEHG-Systems in das EU-ETS 2 die ESR-Zielerreichung für Deutschland nicht sicher (siehe RZ 148).

Eine Möglichkeit, diesen Übergang zu gestalten, ist mithilfe eines **nationalen Mindestpreises als Markup**, angelehnt an den UK Carbon Floor Price. Dabei könnte sich ein nationaler Mindestpreis in Deutschland zum Beispiel am Preispfad im BEHG bis 2026 orientieren. Für einen Mindestpreis sprechen folgende Punkte: a) Ein Mindestpreis reduziert intertemporale Ineffizienzen durch zu niedrige Preise und trägt bei niedrigen EU-ETS 2 Preisen dazu bei, die Emissionslücke zur Erreichung der ESR-

Ziele zu schließen. b) Ein Mindestpreis bietet Erwartungsstabilisierung und Planungssicherheit für Investitionen in emissionsarme Technologien sowohl für Haushalte als auch für die Industrie (z. B. Wärmepumpenhersteller). c) Dadurch sind zusätzliche nationale Einnahmen möglich, die flexibler verwendet werden können (als unter der Zweckbindung des Klima-Sozialfonds und EU-ETS 2) und somit die Planungssicherheit von Ausgaben in Förderprogrammen sowie einem möglichen Klimageld erhöhen können. d) Je nach Ausgestaltung kann ein Mindestpreis sicherstellen, dass der Preis kontinuierlich ansteigt und nach einem Preis von 55 bis 65 Euro im Jahr 2026 nicht im Jahr 2027 sprunghaft wieder fällt. e) Ein nationaler Mindestpreis könnte auch als gemeinsame Initiative von mehreren Mitgliedsstaaten, die bereits vor dem Jahr 2027 einen CO₂-Preis haben, organisiert werden. Das würde das Risiko von Carbon Leakage reduzieren und den Preis in der Tendenz in den anderen Mitgliedsländern senken. Einige osteuropäische Staaten haben bereits Bedenken gegenüber stark steigenden Preisen im EU-ETS 2 bekundet (Slowakei, Tschechien und Polen). Ein Mindestpreis von wirtschaftlich stärkeren Ländern könnte daher ein Beitrag zur Stabilität des Systems liefern.

Ein **Argument gegen** die Einführung eines Mindestpreises ist, dass Haushalte und Industrie in Deutschland eventuell einen höheren Preis als in anderen Ländern zahlen. Das könnte an die Bevölkerung möglicherweise schwer zu vermitteln sein. Auch wenn ein Mindestpreis den Preis im Emissionshandel insgesamt stabilisieren kann, bietet ein nationaler Mindestpreis keine Absicherung gegen eine mögliche disruptive Preissteigerung im EU-ETS 2.

150 **Zusammenfassend** ist der **EU-ETS 2** ein potenziell weitreichendes Instrument auf EU-Ebene und wird von einigen Studien als wichtiger Baustein des Green Deals erachtet, um die europäischen Klimaziele zu erreichen. Die Höhe des CO₂-Preises wird am Markt gebildet. Deshalb hängt sie von vielen verschiedenen Faktoren, wie der Reduzierung von Aktivitäten sowie zusätzlichen Maßnahmen, ab und ist daher sehr unsicher. Bisherige Studien weisen auf eine große Bandbreite an möglichen Preishöhen hin. In der Theorie sollte der EU-ETS 2 sowohl statisch als auch dynamisch wirken, also energiesparendes Verhalten sowie den Wechsel auf emissionsärmere Technologien anreizen. Die zentralen Auswirkungen beim EU-ETS 2 sind die sozialen Auswirkungen auf die Haushalte sowie wirtschaftliche Auswirkungen auf Kleinstunternehmen. Die CO₂-Bepreisung allein ohne Kompensation der Mehrausgaben wirkt regressiv. Daher sind zusätzliche Maßnahmen zur Unterstützung der Transformation der Haushalte und Kompensationsmaßnahmen zur Abfederung der sozialen Auswirkungen nötig. Deshalb wurde der Klima-Sozialfonds eingerichtet, der vulnerable Haushalte und Kleinstunternehmen bei der Transformation unterstützen soll. Angesichts der hohen Unsicherheit über die Preisentwicklung im EU-ETS 2 ist zum jetzigen Zeitpunkt völlig unklar, ob diese Maßnahmen ausreichen werden, um gesellschaftliche Verwerfungen und Konflikte zwischen den Mitgliedsstaaten der EU nach der Einführung des EU ETS 2 zu vermeiden. In Deutschland stellt der EU-ETS 2 die Erreichung der ESR-Ziele nicht sicher. Daher bedarf es in Deutschland weiterer Maßnahmen zur Emissionsreduktion in diesem Bereich.

Infokasten 9: Klima-Sozialfonds

Der europäische **Klima-Sozialfonds** wird im Jahr 2026 ergänzend zum EU-ETS 2, der ab dem Jahr 2027 startet, eingerichtet. Dieser dient der Unterstützung von vulnerablen Haushalten, Kleinstunternehmen und Verkehrsnutzer*innen, die vom EU-ETS 2 besonders betroffen sind (Europäische Kommission 2023e). Der Klima-Sozialfonds soll die Implementierung transformativer Maßnahmen anreizen, die betroffenen Gruppen ermöglichen, CO₂-arme Optionen zu wählen (ZKS 2024). In einem begrenzten Umfang sind überdies direkte Einkommenshilfen möglich (Fiedler et al. 2024). Der Klima-Sozialfonds wird finanziert über die **Einnahmen des EU-ETS 2**. Die Mittel werden progressiv an die Mitgliedsländer verteilt. Das bedeutet, dass mehr Mittel an Länder vergeben werden, in denen geringere Lohnniveaus herrschen und mehr Haushalte in Energiearmut leben (ZKS 2024). Die Mittel des Klima-Sozialfonds sind auf 65 Mrd. Euro begrenzt. Sie werden nicht entsprechend den Einnahmen aus dem CO₂-Preis skaliert. In den Jahren 2026 bis 2032 stehen Deutschland insgesamt 5,3 Mrd. Euro zur Verfügung. Die Summe muss um einen Eigenanteil in Höhe von 25 % ergänzt werden.

Die Mitgliedstaaten müssen jeweils bis Ende Juni des Jahres 2025 einen **nationalen Klima-Sozialplan** vorlegen, um Geld aus dem Klima-Sozialfonds zu erhalten. Dieser enthält Maßnahmen, die den Vorgaben der Europäischen Kommission entsprechen (siehe hierzu u. a. Ludden et al. 2024) und von dieser gebilligt werden müssen (Europäische Kommission 2023e). Für die Erstellung der Klima-Sozialpläne sind verschiedene Anforderungen vorgesehen. Dazu gehören Beteiligungsformate sowie eine Analyse der Auswirkungen des EU-ETS 2-Preises auf Haushalte sowie von Energie- und Mobilitätsarmut. Außerdem müssen die Anzahl der benachteiligten Haushalte und die Methoden zu ihrer Identifizierung angegeben werden. Die Pläne sollen darüber hinaus Politikmaßnahmen umfassen, die entweder bereits existieren oder neu entwickelt werden, jedoch den Vorgaben der Verordnung zum Klima-Sozialfonds entsprechen (Europäische Kommission 2023e; Ludden et al. 2024).

- 151 Mit dem geplanten Übergang des BEHG in den EU-ETS 2 ab 2027 wird sich die **Struktur** des **derzeit implementierten Klimaschutzpolitischen Instrumentariums** (siehe Abbildung 25) deutlich ändern. Der überwiegende Teil der THG-Emissionen wird dann einem marktbasieren mengensteuernden Instrument unterliegen. Der Expertenrat hat bereits in seinem letzten Zweijahresgutachten (ERK 2022c) und in ERK (2022b) darauf hingewiesen, dass ein solcher Umstieg durch zusätzliche politische Maßnahmen begleitet werden muss. Dies wird aus Sicht des Expertenrates benötigt, „um i) die sozialen und wettbewerblichen Folgen der durch eine feste Emissionsobergrenze initiierten hohen CO₂- und Brennstoffpreise abzufedern und ii) spezifische Hemmnisse aufgrund von Marktunvollkommenheiten (wie zum Beispiel Sicherstellung notwendiger Planung (z. B. im Infrastrukturbereich), flankierende Maßnahmen zur Unterstützung des Umbaus des Kapitalstocks, Verhinderung von Lock-in-Effekten (ERK 2022b) zu adressieren, die durch den höheren Preis allein nicht adressiert werden. Auf die möglichen Probleme, die es aufgrund der Abweichungen des theoretischen Modells des mengenbegrenzenden Zertifikatehandels von der realen Entwicklung politisch zu adressieren gilt, hat der Expertenrat bereits in seinem letzten Prüfbericht (ERK 2022b, RZ123ff) hingewiesen. Dazu gehören das Fehlen vollständiger Transparenz und vollständigen Wettbewerbs, die Möglichkeit steigender Erträge, mangelnde Liquidität auf Zertifikatmärkten, eine unzureichende Fähigkeit des Staats zur Selbstbindung und Netzwerkeffekte in Bezug auf Infrastrukturen“ (ERK 2022c, RZ275). Diese Einschätzung wird auch durch andere wissenschaftliche Veröffentlichungen geteilt (siehe z. B. High-Level Commission on Carbon Prices 2017; Edenhofer et al. 2021; oder ESABCC 2024) und hat durch den im Jahr 2023 auf EU-Ebene beschlossenen EU-ETS 2 nochmal an Relevanz gewonnen.

3.2.2.3 Klimaschutzverträge (KSV)

- 152 Die Klimaschutzverträge (KSV) sind ein **fiskalisches Instrument**, das in Deutschland im Jahr 2023 zur Förderung der Transformation der **energieintensiven Industrie** auf dem Weg zur Klimaneutralität eingeführt wurde. Es handelt sich um eine Anschubfinanzierung bzw. einen langfristig vereinbarten, marktabhängigen Finanzierungszuschuss, der auf den Bau und Betrieb neuartiger Industrieanlagen in Deutschland abzielt. Die erste Förderrunde endete Anfang des Jahres 2024. Ziel der Förderung ist neben der Vermeidung von THG-Emissionen, erste kommerzielle Anwendungen von Technologien zu ermöglichen, die kompatibel zum Netto-Null-Industrie-Gesetz der EU sind (BMWK 2024j). Förderfähig sind die Kapital- und Betriebskosten (CAPEX und OPEX) von Projekten aus Sektoren, die dem EU-ETS 1 unterliegen und THG-Emissionen um 90 % gegenüber den Emissionsbenchmarks des EU-ETS 1 reduzieren können (BMWK 2024f). Die Klimaschutzverträge setzen dabei auf einen technologieoffenen Ansatz, d. h. zur einzusetzenden Technologie werden keine expliziten Vorgaben gemacht. Der Einsatz einiger Vermeidungsstrategien, wie bspw. Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) und Biomasse, ist jedoch an Bedingungen geknüpft.
- 153 Das **Förderprogramm** Klimaschutzverträge baut dabei stark auf der Berichtslogik des EU-ETS 1 auf, sodass alle Technologien, die industrielle Produkte mit deutlich geringeren THG-Emissionen als konventionelle Produktionstechnologien herstellen zulässig sind. Der Einsatz von Wasserstoff, CO₂-Abscheidung und Biomasse ist jedoch an weitere Bedingungen geknüpft (BMWK 2024j). Ausgezahlt wird die Förderung pro eingesparter Tonne CO₂ gegenüber der EU-ETS 1 Benchmark. Das Förderprogramm zielt auf die Entwicklung innovativer Technologien zur Emissionsvermeidung und den Aufbau eines emissionsarmen Kapitalstocks in der Industrie ab. Gleichzeitig unterstützt es mittelbar den Aufbau von CO₂- und Wasserstoffinfrastruktur, da entsprechende Kosten im Rahmen der Projekte berücksichtigt werden (BMWK 2024f).
- 154 Ausgestaltet ist das Förderinstrument als **zweiseitiger CO₂-Differenzvertrag (CCfD)**. Die Grundlage für die Ausgestaltung basiert auf Fördermechanismen für erneuerbare Energieträger, insbesondere Differenzverträgen (CfD) (EEG als Beispiel eines einseitigen CfD), und wurde in der wissenschaftlichen Literatur zu einer CCfD-Förderung der Emissionsreduktion in der Industrie weiterentwickelt (zur Konzeption siehe hierzu unter anderem Richstein und Neuhoﬀ 2022; Lüpke et al. 2022; Lösch et al. 2022). Die Auszahlung an Projekte ergibt sich aus der Differenz zwischen einem festgelegten Vertragspreis und dem CO₂-Preis des EU-ETS 1 und den eingesparten THG-Emissionen gegenüber der EU-ETS Benchmark (BMWK 2024f; Europäische Kommission 2021b; BMWK 2024h). Vergeben werden die Klimaschutzverträge in einer sektoren- und technologieoffenen Vergabeauktion, ähnlich wie sie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energieträger im EEG eingesetzt werden. In dieser geben Projekte einen Vertragspreis an, den sie benötigen, um die Investition zu tätigen. Als Vergabekriterien werden die Kosteneffizienz (geringer Vertragspreis) mit 80 % und die relative Emissionseinsparung in den ersten fünf Jahren, gegenüber dem EU-ETS Benchmark, mit 20 % bewertet. Zudem enthält das Programm Mechanismen, die eine Heterogenität der geförderten Sektoren sicherstellen soll (Quoten und Skalierung). Neben der Absicherung gegen den CO₂-Preis werden Energieträgerpreise indiziert, indem der Vertragspreis angepasst wird. Dadurch steigt die Auszahlung bspw., wenn Strom- oder Wasserstoffpreise steigen, und wird reduziert, wenn die Energieträgerpreise fallen. Ziel der Indexierung ist es, innovative Projekte die klimaneutralen Energieträger wie grünen Wasserstoff einsetzen, vor höheren Energiepreisrisiken zu schützen und gleichzeitig Über- und Unterförderung zu vermeiden (Richstein et al. 2021).
- 155 Als zweiseitiger CfD ist neben der Reduktion der Zahlung bei steigendem CO₂-Preis oder fallenden Energieträgerpreisen auch eine Rückzahlung der Förderung an den Staat möglich (BMWK 2024f). Dabei

sind die Klimaschutzverträge die **erste Implementierung von CCfDs**. Das einzige weitere Förderinstrument, das Emissionsvermeidung in der Industrie fördert, einen CfD-Ansatz verfolgt und kompetitiv vergeben wird, ist das Anreizsystem für nachhaltige Energieerzeugung und den Übergang zum Klimaschutz (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie, SDE++) in den Niederlanden. Hierbei werden CfDs für die Produktion von Energie (Strom, Wärme, Wasserstoff und Wasserstoffderivate) sowie CCUS nach Subventionsbedarf pro eingesparter Tonne CO₂ vergeben (Europäische Kommission 2024d). Weitere EU-Mitgliedsstaaten und die EU-Kommission überlegen ebenfalls CCfDs zur Förderung der Dekarbonisierung der Industrie einzuführen (Gerres und Linares ; BMK 2024; Innovation Fund Expert Group 2023). Mit den Auktionen zur Förderung der Produktion von grünem Wasserstoff im EU Innovationsfonds verfolgt die EU-Kommission einen anderen Weg, den Hochlauf von Wasserstofftechnologien zu fördern. Zwar wird die Förderung auch kompetitiv vergeben, jedoch technologiebeschränkt. Die Förderung erfolgt als fixe Prämie je erzeugter Energiemenge, ohne Indizierung oder einen CfD-Ansatz (Europäische Kommission 2024a).

156 Die **zweite Auktionsrunde** der Klimaschutzverträge befindet sich in der Vorbereitung. Der Start sowie die Bestimmung des Förderbudgets, wird voraussichtlich durch die nächste Bundesregierung erfolgen. Auch wenn das BMWK bereits angekündigt hat, dass das Förderbudget im mittleren zweistelligen Milliardenbereich liegen soll und Klimaschutzverträge für große Projekt sowie CCUS offen sein sollen (BMWK 2024h). Die THG-Minderung, die adressierten Handlungsfelder sowie die weiteren Wirkungen der Klimaschutzverträge werden in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Einordnung Wirkungen der Maßnahme „Klimaschutzverträge“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> In der ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024 (Harthan et al. 2024) werden Klimaschutzverträge mit einer addierten jährlichen Netto-Minderungswirkung⁸² von 3,2 Mt CO₂-Äq. in der deutschen Industrie im Jahr 2030 ausgewiesen. Wegen der fehlenden empirischen Daten zum Zeitpunkt der Analysen sind die Szenarien im Projektionsbericht 2024 mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Als Maßnahme, die die Reduktion von THG-Emissionen in der Industrie adressiert, interagieren Klimaschutzverträge mit dem EU-ETS 1. Diese Interaktionen zwischen einzelnen Maßnahmen („Overlapping Policies“, s.o.) und dem EU-ETS 1 bildet der Projektionsbericht 2024 nicht explizit ab. Deshalb ist die angegebene ex-ante Wirkung unter Vorbehalten zu betrachten. Darüber hinaus sind die Emissionseinsparungen durch die Klimaschutzverträge im Vergleich zur jährlichen Emissionsobergrenze (Cap) des EU-ETS 1 gering und der Reduktionspfad der Obergrenze bis zum Jahr 2040 bereits sehr ambitioniert. Die Klimaschutzverträge bewirken also insbesondere, dass innovative Technologien zur Emissionsreduktion früher in den Markt kommen als durch den EU-ETS 1 angereizt.
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> Die Klimaschutzverträge zielen auf einen Energieträger-/Technologiewechsel zum Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks ab und lösen dadurch, zumindest aus theoretischer ex-ante Perspektive, dynamische Effekte aus. In der Förderrichtlinie zu den Klimaschutzverträgen (BMWK 2024j) ist festgelegt, dass geförderte Unternehmen die konventionelle Produktion (EU-ETS Benchmark, siehe hierzu Europäische Kommission (2021b)) um mindestens 90 % der Produktionskapazität der geförderten Anlage reduzieren müssen, sofern sie solche im Inland betrieb. Nach Marktlogik sollte die geförderte Produktion die teuerste konventionelle Produktion aus dem Markt drängen, sofern die Nachfrage nach dem Produkt elastisch ist.

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Innovation, Wettbewerbsfähigkeit, Industriestruktur, Beschäftigung)	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Vergabe erfolgt hauptsächlich nach Kosteneffizienz der Emissionsvermeidung gegenüber dem EU-ETS 1 Benchmark (innerhalb der an der Auktion beteiligten THG-Minderungsoptionen). Damit werden insbesondere günstige Vermeidungstechnologien gefördert. Das Fördervolumen der ersten Vergaberunde, die im Juli 2024 endete, war 4 Mrd. Euro. Insgesamt haben 17 Projekte teilgenommen und ein Gesamtbudget von 5,3 Mrd. Euro geboten. Von den 17 Projekten wurden 15 Projekte aus den Branchen Chemie, Glas, Keramik, Papier, Metallverarbeitung und Lebensmittel bezuschlagt. Das Volumen der einzelnen Projekte liegt zwischen 50 und 500 Mio. Euro. Insgesamt wurden Klimaschutzverträge mit einem Volumen von 2,8 Mrd. Euro abgeschlossen. Die Minderungskosten der Gesamtemissionen unterliegen der Interaktion mit dem EU-ETS 1 sowie dem Carbon Leakage Risiko. Eine Quantifizierung der Minderungskosten ist daher mit hohen Unsicherheiten verbunden und liegt noch nicht vor. <p>Innovation:</p> <ul style="list-style-type: none"> Es werden explizit innovative grüne Technologien mit Potenzial für Technologieführerschaft gefördert. <p>Industriestruktur und Beschäftigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Förderung durch Klimaschutzverträge zielt darauf ab, dass innovative Technologien früher in den Markt kommen. Dem Problem, dass die ambitionierte Emissionsreduktion im EU-ETS 1 (Cap) durch die Abwanderung industrieller Produktion (Carbon Leakage) erreicht werden, wirkt die Förderung entgegen, da die Auszahlung an Produktion im Inland gebunden ist. Insgesamt haben Klimaschutzverträge eine deutliche industriepolitische Dimension, da sie die Produktion in Deutschland subventionieren. Unternehmen verpflichten sich dabei zum Erhalt von Beschäftigung und industrieller Produktion.

Eigene Darstellung.

157 **Zusammenfassend** werden mit der Einführung der **Klimaschutzverträge** klimaneutrale Produktionstechnologien in der Industrie gefördert. Der gewählte technologieoffene CCfD-Ansatz kombiniert die Förderung und Absicherung von Projekten. Zudem beinhalten die Klimaschutzverträge einen Mechanismus zur Rückzahlung im Falle einer vorteilhaften Entwicklung von Energie- und CO₂-Preisen. Potenziell können sie ein effektives Instrument zum Erhalt industrieller Wertschöpfung auf dem Weg zur Klimaneutralität sein. Der Fokus liegt auf Projekten mit hoher Emissionsvermeidung und innovativen Technologien. Das Instrument der Klimaschutzverträge interagiert in weiten Teilen mit dem EU-ETS 1 („Overlapping Policy“) und wirkt dort preismindernd. Eine effektive Minderungswirkung der Maßnahme kann sich, wie bei allen Maßnahmen, mit denen eine Interaktion besteht, nur durch zusätzliche Löschungen aus der Marktstabilitätsreserve ergeben. Eine Quantifizierung der verbleibenden, tatsächlichen Minderungswirkung liegt noch nicht vor. Ein ausreichender Wettbewerb in den Vergabeauktionen ist essenziell für die Kosteneffizienz der Klimaschutzverträge, da diese nicht auf der Abdeckung angefallener Kosten, sondern kompetitiv vergebener Förderung basieren. Insbesondere bei den angekündigten Fördervolumina, die deutlich größer sind als in der ersten Förderrunde (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022). Bei einem Regierungswechsel nach der Bundestageswahl, scheinen diese Finanzvolumen für Klimaschutzverträge jedoch ungewiss. Auch ist die Einbettung in die Transformationsstrategie für die gesamte Industrie noch unklar, da es sich um eine Subvention für Einzelunternehmen handelt. Damit ein Transfer des technischen Knowhows von einzelnen geförderten Unternehmen auf ganze Branchen und die gesamte Industrie erfolgt, wären weitere Schritte notwendig. Darüber hinaus könnte die Etablierung Grüner

Leitmärkte eine Möglichkeit bieten, die Mehrkosten grüner Produktion über höhere Zahlungsbereitschaft der Nachfrage anstelle von Steuergeldern zu decken und so die Klimaschutzverträge langfristig abzulösen (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022).

- 158 Die Klimaschutzverträge subventionieren die Schaffung neuer, mit dem Ziel der Klimaneutralität kompatibler Produktionskapazitäten sowie die Technologieentwicklung in der Industrie. Auf internationaler Ebene gibt es bereits Politikinstrumente, die ähnliche Ziele verfolgen wie Klimaschutzverträge und somit Klima- und Industriepolitik kombinieren. Die Förderung der Wasserstoffproduktion auf EU-Ebene oder auch der Inflation Reduction Act (IRA) in den USA sind Beispiele hierfür. Analog zu Regulierung oder dem EU-ETS 1 zielen sie auf eine Lenkung der wirtschaftlichen Aktivität, setzen dabei jedoch auf Subventionierung. Folglich belasten diese Maßnahmen den Staatshaushalt in Zeiten limitierter Budgets.

3.2.2.4 Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)

- 159 Die **Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)** ist ein fiskalisches Instrument, das energie-, klima- und wirtschaftspolitische Ziele verfolgt. Die EEW unterstützt Unternehmen in Industrie und Gewerbe bei Maßnahmen, mit denen sie Energie, Ressourcen und THG-Emissionen einsparen (BMWK 2024d). Die EEW entstand im Jahr 2018 durch eine Zusammenführung verschiedener Förderprogramme des BMWK im Bereich der Energieeffizienz (Neusel et al. 2023). Sie ist aufgeteilt in die Varianten Förderwettbewerb sowie Zuschuss und Kredit und umfasst sechs Fördermodule (BMWK 2024d):

- Modul 1: Querschnittstechnologien
- Modul 2: Prozesswärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien
- Modul 3: Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Sensorik und Energiemanagement-Software
- Modul 4: Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen
- Modul 5: Transformationspläne
- Modul 6: Elektrifizierung von kleinen Unternehmen

- 160 Hiervon werden Fördernehmende in den Modulen 1 bis 4 und in Modul 6 durch Zuschüsse vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und zinsverbilligte Kredite mit Tilgungszuschuss von der KfW finanziert. Für den Förderwettbewerb, welcher parallel zu Modul 4 eine technologieoffene Dekarbonisierung in Unternehmen fördert, sowie für das Fördermodul 5 Transformationspläne ist der Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH beauftragt (BMWK 2024c; 2024b). Antragsberechtigt sind Unternehmen mit Sitz in Deutschland, die mehrheitlich in Privatbesitz sind, oder kommunale Unternehmen, sowie Freiberufliche und Auftragnehmer (FfE 2024). Die Förderung beträgt je nach Modul zwischen 25 und 60 % der förderfähigen Kosten, wobei kleine und mittlere Unternehmen (KMU) einen Bonus von 10 bis 20 % erhalten (FfE 2024). Details zu den genauen Förderbedingungen sind den jeweils geltenden Merkblättern und Förderrichtlinien zu entnehmen.

- 161 Eine umfassende **Novellierung der EEW-Förderrichtlinie** erfolgte zum November 2021 (Einführung der neuen Fördergegenstände Ressourceneffizienz und Transformationskonzepte, verbesserte Förderbedingungen für KMU) (BfEE 2021). Im Mai 2023 folgten eine Erweiterung der Förderung auf Anlagen für tiefe Geothermie, verbesserte Fördermöglichkeiten für Elektrifizierungs- und Wärmedämmmaßnahmen und bessere Fördermöglichkeiten speziell für kleine Unternehmen (BAFA

2023). Im Februar 2024 trat die aktuell letzte Novellierung in Kraft, deren wesentliche Neuerungen ein vereinfachtes Wettbewerbsverfahren, höhere Fördersummen für Transformationspläne, die Einführung der Basisförderung bei Modul 4, Anpassungen für KMU sowie ein zusätzlicher Dekarbonisierungsbonus in Modul 4 sind (FfE 2024). Die THG-Minderung, die adressierten Handlungsfelder sowie die weiteren Wirkungen der EEW werden in Tabelle 16 eingeordnet.

Tabelle 16: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „EEW“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> In der ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024 (Harthan et al. 2024) ist die EEW bzw. ihre THG-Minderungswirkung nicht einzeln ausgewiesen. Stattdessen wird die Wirkung der EEW im Rahmen eines Bündels mit Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz abgeschätzt. Dieses wird mit einer addierten jährlichen Netto-Minderungswirkung⁸² von 17,5 Mt CO₂-Äq. im Sektor Industrie im Jahr 2030 für Deutschland quantifiziert. Diese Wirkung ist zusätzlich zu der des EU-ETS 1 zu sehen, dessen Einsparung für den Sektor separat quantifiziert wurde. Interaktionen wurden dabei berücksichtigt. In der ex-post Evaluation des Förderjahrgangs 2023 schätzen Neusel et al. (2024), dass durch die Förderzusagen des Förderjahrgangs 2023 THG-Emissionseinsparungen (brutto) von 2,1 Mt CO₂-Äq. angereizt wurden. Insgesamt wurden laut der Evaluation durch das Förderprogramm seit seinem Inkrafttreten (2019–2023) Brutto-Einsparungen an THG-Emissionen (einschließlich des im Jahr 2021 neu hinzu gekommenen Fördergegenstandes Ressourceneffizienz) von gut 7,0 Mt CO₂-Äq. erreicht.
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> Die EEW adressiert primär das Handlungsfeld Effizienz sowie in untergeordnetem Maße das Handlungsfeld Energieträger-/Technologiewechsel zum Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks. Die Effizienzsteigerungen beziehen sich insbesondere auf Anlagen und Prozesse, beispielsweise durch Optimierung, aber auch auf den verstärkten Einsatz effizienter Technologien. Eingeschränkt werden auch neue Anlagen gefördert, sowie der Einsatz neuer Technologien, beispielsweise in Modul 1, „Querschnittstechnologien“.
THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Innovation, Wettbewerbsfähigkeit, Industriestruktur, Beschäftigung)	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Im Rahmen der Maßnahme wurden seit der Implementierung im Jahr 2019 bis Ende 2023 knapp 2,9 Mrd. Euro an Fördermitteln bewilligt. Zusätzlich fielen bis Ende 2023 administrative Kosten von 36,7 Mio. Euro an (Neusel et al. 2024). Die in der Programmevaluation von Neusel et al. (2024) im Rahmen der Wirtschaftlichkeitskontrolle ausgewiesene Fördereffizienz (Fördermittel inkl. administrativer Kosten, in Euro pro ermittelter THG-Emissionsminderung über die Lebensdauer), weist zwischen den verschiedenen Modulen aufgrund der verschiedenen Fördertatbestände eine große Streuung auf. Die Werte liegen laut der Studie hierbei in der Brutto-Betrachtung zwischen 61 (nur Energie) bzw. 56 (einschl. Ressourceneffizienz) Euro (Modul 4) und 399 Euro (Modul 3) pro Tonne CO₂. <p>Investition, Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ausgehend von den ermittelten Einsparungen schätzen Neusel et al. (2024), dass mit den in den Jahren 2019 bis 2023 geförderten Maßnahmen im Jahr 2022 brutto Energie- und Ressourceneinsparungen von rund 1,8 Mrd. Euro erreicht wurden. Die Förderzusagen im Zeitraum von 2019 bis 2023 lösten insgesamt Investitionen von 9,7 Mrd. Euro aus. Der Förderhebel, d. h. das Verhältnis zwischen Gesamtinvestition und Förderung, lag damit über alle Förderjahre gerechnet bei 3,4. Eine detaillierte Auswertung im Rahmen des Fördermoduls 4 (mit 2/3 aller THG-Einsparungen und 50 % aller Fördermittel das dominanteste Modul des Förderprogramms) ergab, dass sich die Förderung für die Hälfte der befragten Unternehmen positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit ausgewirkt habe und 35 % der Befragten zudem ihre Produktionskosten senken konnten. Die Evaluator*innen schätzen, dass durch die

Kriterium	Beschreibung
	<p>Förderung in Modul 4 im Jahr 2022 eine Bruttowertschöpfung von ca. 650 Mio. Euro ausgelöst wurde und damit ca. 12 500 Arbeitsplätze gesichert bzw. geschaffen⁸⁸ wurden (Neusel et al. 2023).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlich gehen Neusel et al. (2023) davon aus, dass durch das Förderprogramm die Marktdurchdringung mit hocheffizienten (Querschnitts-)Technologien beschleunigt werden konnte, insbesondere bei Motoren und Antrieben sowie Ventilatoren (Neusel et al. 2023).

Eigene Darstellung.

162 Zusammenfassend ist die **EEW** die zentrale Fördermaßnahme zur Adressierung von Energieeffizienz in der Industrie und trägt entsprechend zu den THG-Minderungszielen des Sektors bei. Die Nachfrage nach dem Förderprogramm entwickelt sich, nach dessen erfolgreichen Start im Jahr 2019, gemessen an den Antrags- und Bewilligungszahlen sowie den Fördermitteln positiv. Insbesondere den spezifischen Bedürfnissen von KMU wird bei der Förderung Rechnung getragen. Dabei zeigt die Evaluation mögliche positive ökonomische Auswirkungen auf, insbesondere im Hinblick auf potenziell gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit sowie auf den Arbeitsmarkt. Tendenziell ist nach dem ersten Förderjahr eine Verschlechterung der Fördereffizienz zu beobachten, welche unter anderem damit zusammenhängen kann, dass „Low Hanging Fruits“ in der erschlossenen Zielgruppe zunehmend abgeerntet wurden. In den Folgejahren stabilisierte sich die Fördereffizienz nach aktueller Tendenz, wobei diese zwischen den einzelnen Modulen schwankte.

3.2.2.5 Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

163 Die **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)** ist ein fiskalisches Instrument. Es verfolgt zum einen energie- und Klimaschutzpolitische Ziele, zum anderen wirtschaftspolitische Ziele zur Unterstützung der Bauwirtschaft (Prognos et al. 2024c). Die BEG wurde im Jahr 2021 als Zusammenfassung früherer Förderprogramme zur Förderung von Energieeffizienz und erneuerbarer Energieträger im Gebäudebereich eingeführt. Die BEG in ihrer aktuell gültigen Form gliedert sich in vier Teilprogramme: BEG Wohngebäude (WG), BEG Nichtwohngebäude (NWG), BEG Einzelmaßnahmen (EM), die jeweils dem BMWK unterliegen, sowie BEG Klimafreundlicher Neubau, die dem Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) zugeordnet ist. Die BEG fördert unter anderem den Einbau klimafreundlicher Heiztechnologien, energetische Maßnahmen an der Gebäudehülle und Fenstern, die Optimierung von Heizsystemen und den Einsatz innovativer Anlagentechnologien, die Sanierung von Gebäuden auf bestimmte Effizienzniveaus, sowie den Bau oder Erstkauf von klimafreundlichen Gebäuden.

164 **Aktualisierungen der BEG** erfolgten im Laufe des Förderjahrs 2022 (Beendigung der Förderung Effizienzhaus 55 (EH) im Neubau zum 31.01.2022, Einführung Bonus für Worst Performing Buildings (WPB), Reduzierung der Fördersätze). Eine weitere Aktualisierung der BEG Einzelmaßnahmen erfolgte im Dezember des Jahres 2023. Diese beinhaltete: die Abschaffung technologydifferenzierter Fördersätze, neue Konditionen für den Klimageschwindigkeits-Bonus (zuvor Heizungstausch-Bonus), einen Förderbonus für den Heizungstausch für Haushalte mit geringen und mittleren Einkommen in selbstgenutzten Gebäuden von zusätzlich 30 %, strenge Biomasse-Auflagen nur für die Zusatzförderboni (zuvor für die allgemeine Förderung), Investitionsmehrkostenförderung von Wasserstoffheizungen sowie einen neuen Ergänzungskredit. Zudem wurde das Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau ab dem 01.01.2024 eingeführt. In Tabelle 17 werden die THG-Minderung, die

⁸⁸ Bei Vollbeschäftigung kann es dadurch zu Crowding-Out-Effekten und/oder verstärkter Arbeitsmigration kommen.

adressierten Handlungsfelder sowie die weiteren Wirkungen der BEG auf Basis ausgewählter Studien zusammengefasst.

Tabelle 17: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „BEG“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> In der ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024⁸⁹ (Harthan et al. 2024) ist die BEG mit einer addierten jährlichen Netto-Minderungswirkung⁸² von 15,2 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2030 die Maßnahme mit der höchsten THG-Minderungswirkung im Gebäudesektor. Der Expertenrat hat in seinem Prüfbericht (ERK 2024a) angemerkt, dass die Höhe der langfristigen Finanzierung über den KTF unsicher und die THG-Minderungswirkung möglicherweise überschätzt sei. Die Mittelabrufquote lag in den vergangenen Jahren bei rund 66 % (Bär und Collmer 2024). Diese ist damit zwar verhältnismäßig hoch, liegt aber deutlich unterhalb der in der ex-ante Wirkabschätzung angenommenen 100-prozentigen Abrufquote.⁹⁰ Aus der ex-post Evaluation des Förderjahrgangs 2021 durch Prognos et al. (2023b) geht hervor, dass die Maßnahmen des Förderjahrgangs 2021 zu einer Brutto-Einsparung von 3,7 TWh Endenergie bzw. Primärenergie pro Jahr führten. Dies entspräche einer durchschnittlichen jährlichen THG-Emissionsminderung (brutto) von ca. 1,8 Mt CO₂-Äq. Hiervon entfallen rund 78 % auf Sanierungen mit Einzelmaßnahmen, 8 % auf systemische Sanierungen und 14 % auf den Neubau. Die Maßnahmen des Förderjahrgangs 2022 führten laut Prognos et al. (2024d) zu einer durchschnittlichen Einsparung von rund 16 TWh pro Jahr. Dies entspräche gemäß KSG-Bilanzierung einer durchschnittlichen jährlichen Brutto-THG-Einsparung von etwa 7,3 Mt CO₂-Äq.⁹¹ Rund 88 % der Brutto-THG-Minderung fallen gemäß der Studie auf Sanierungen mit Einzelmaßnahmen, 7 % auf systemische Sanierungen und 5 % auf den Neubau. Es treten jedoch eine Reihe von Effekten auf, die die Brutto-Wirkung in Summe reduzieren. Der Mitnahme-Effekt liegt gemäß (Prognos et al. 2024a) und (Prognos et al. 2024c) zwischen 45 % im Teilprogramm Einzelmaßnahmen und 38 % Einsparungsminderung im Teilprogramm Wohngebäude. Vorzieheffekte liegen gemäß der Studienautor*innen in allen Teilprogrammen zwischen 4 und 7 %, Ausweitungseffekte bei jeweils 16 % und Übertragungseffekte bei 12 bis 13 %. Diese drei Effekte führen zu einer Erhöhung der THG-Minderung. Insgesamt würde laut Prognos et al. (2024d) die Netto-THG-Einsparung um 5 bis 10 % geringer ausfallen als die Brutto-Wirkung. Die Evaluation beruht auf Primär- und Endenergieverbrauchs- nicht auf Bedarfswerten, daher werden Rebound-Effekte berücksichtigt.⁹² Der deutliche Anstieg der THG-Minderungswirkung im Jahr 2022 im Vergleich zu 2021 liegt nach Prognos et al. (2024d) vor allem im deutlichen Anstieg der Förderfälle begründet.
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> Durch die BEG werden Maßnahmen im Bereich Steigerung der statischen (Optimierung Heizungsanlagen) und dynamischen Effizienz (Gebäudesanierung) sowie des Aufbaus neuen Kapitalstocks bzw. Austauschs bestehenden Kapitalstocks gefördert (dynamische Effekte). Die Förderkriterien waren in der Vergangenheit jedoch nicht ausschließlich auf den Aufbau nicht-fossilen Kapitalstocks bezogen, so dass auch der Aufbau fossilen Kapitalstocks gefördert wurde (EH 55, Gas-Brennwert, Gas-Hybridheizungen). Auch mit den

⁸⁹ Wirkabschätzung mit Wirkbeginn im Jahr 2023.

⁹⁰ Ab dem 24. 01.2022 gab es aufgrund hoher Nachfrage einen Förderstopp. Die Sanierungsförderung wurde im Februar und die Neubauförderung für die Standards EH 40 EE, EH 40 NH und EH 40 Plus ab dem 20.04.2022 mit einem Budget von 1 Mrd. Euro wieder aufgenommen. Dieses war jedoch schnell ausgeschöpft, sodass ab dem 21.04. nur noch Neubauten im Standard EH 40 NH gefördert wurden (Prognos et al. 2024c).

⁹¹ Dies entspricht rund 0,9 % der im Jahr 2022 insgesamt in Deutschland ausgestoßenen 750 Mt CO₂-Äq. (UBA 2024j) und rund 6 % der rund 112 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2022 im Gebäudesektor (UBA 2023b) ausgestoßenen THG-Emissionen.

⁹² Laut Evaluation ist die Einsparung des Primär- und Endenergiebedarfs bei der Berücksichtigung von Verbräuchen anstelle der Bedarfe in der BEG Einzelmaßnahmen (Prognos et al. 2024a) rund 50 % niedriger, in der BEG Wohngebäude um 28 %.

Kriterium	Beschreibung
	<p>aktuellen Förderrichtlinien ist es möglich, für die Wasserstoff-Tauglichkeit von Gasheizungen Zuschüsse zu erhalten – was wiederum den Erhalt fossilen Kapitalstocks fördert.⁹³</p> <p>Sanierung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aus der ex-post Evaluation der Einzelmaßnahmen der BEG (Prognos et al. 2024c) geht hervor, dass im Förderjahr 2022 der Kapitalstock energetisch verbessert wurde (dynamische Effizienz). In Wohngebäuden wurden 120 522 Förderfälle, in Nichtwohngebäuden 39 376 Förderfälle ausgelöst. Gemessen an der Sanierungsaktivität von insgesamt 566 531 Fällen im Jahr 2022 macht der Anteil des Teilprogramms BEG Einzelmaßnahmen 7 % und die des Teilprogramms BEG Wohngebäude 21,3 % aus. In Summe lag der Anteil der BEG geförderten Wohneinheiten bei 28,3 % der Sanierungsaktivität im Jahr 2022.⁹⁴ <p>Heizungstechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zudem führte die BEG gemäß der ex-post Evaluation des Jahres 2022 (Prognos et al. 2024c) zu Änderungen des Heizsystembestands (Energieträger- und Technologiewechsel zum Aufbau eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks (dynamisch)). Insgesamt wurden im Teilprogramm der Einzelmaßnahmen 486 323 Förderfälle ausgelöst, davon 95 % in Wohngebäuden. Hinsichtlich der verwendeten Energieträger macht Strom (Wärmepumpen) einen Anteil von 56 %, Biomasse einen Anteil von 25 %, Nah- und Fernwärme von 6 %, Gas von 5 % und Solarthermie von 4 % aus. Es ergibt sich ein Anteil von erneuerbaren Energieträgern an der Endenergie der geförderten Heizsysteme von 76 % in Wohngebäuden und 84 % in Nicht-Wohngebäuden. Gegenüber dem Jahr 2021 stieg die Nachfrage nach Biomasse auf eine Endenergienachfrage von 10 177 GWh. Das entspricht einer Verdreifachung gegenüber dem Vorjahr. Im Programmteil BEG Wohngebäude (Prognos et al. 2024c) wurden im Neubau 50 641 Förderfälle ausgelöst. Hierbei macht Strom (Wärmepumpen) einen Anteil von 43,9 % der Endenergie aus, gefolgt von Nah- und Fernwärme mit 13,4 %. Im Bereich der sanierten Gebäude wurden 26 936 Förderfälle ausgelöst, davon 18 558 für Wärmepumpen. Wie aus RZ 70 sowie den Indikatorenabbildungen im Anhang zu entnehmen ist, zeigt sich dennoch nur ein leichter Rückgang des Anteils fossiler Heizsysteme. Im Jahr 2030 würde der Anteil entsprechend noch über 70 % betragen (siehe Abbildung A 45). Der Zubau an Wärmepumpen steigt kontinuierlich an, liegt aber auch hier noch unterhalb der politisch anvisierten Ziele. Dies bestätigt sich auch am Anteil erneuerbarer Energieträger am Endenergieverbrauch für die Wärmeerzeugung, der zwar ansteigt (siehe Abbildung A 47), jedoch deutlich unterhalb des politischen Zielwerts von 50 % im Jahr 2030 bleibt.
Soziale Auswirkungen (Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft, Einkommen und Vermögen, Energie- und Mobilitätsarmut)	<p>Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tendenziell erfahren Fördermaßnahmen eine breite Unterstützung in der Bevölkerung (Detsch 2024), auch wenn die Personen nicht notwendigerweise selbst von einer solchen Förderung profitieren. Zudem deutet die starke Inanspruchnahme der Fördermittel laut Prognos et al. (2024d) auf eine hohe Akzeptanz am Markt hin. <p>Einkommen und Vermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rund 89 % der Zuwendungsempfängenden sind private Gebäudeeigentümer*innen. Diese sind laut Prognos et al. (2024d) in der Regel gutverdienende Personen im erwerbsfähigen Alter mit hoher Qualifikation. Dies ist insbesondere bei der Neubauförderung der Fall. Bei der Förderung von Sanierungen

⁹³ Gemäß einer Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats (Thomsen et al. 2022) ist der Ausbau von Wärmepumpen die techno-ökonomisch sinnvollste primäre Dekarbonisierungsstrategie in der Raumwärme. In verdichteten Gebieten ist der Anschluss an Fernwärme ökonomisch sinnvoll. Der Einsatz von Wasserstoff sichert primär in der Industrie und der Energieerzeugung das Erreichen der Klimaziele ab, kann den Lösungsraum privater Haushalte zur Dekarbonisierung der Raumwärme jedoch erweitern. Dies gilt nur bei Marktentwicklungen die zu niedrigen Endkund*innenpreisen von Wasserstoff führen, die höchstens die Hälfte des Strompreises betragen.

⁹⁴ Bei einer Gesamtzahl an Wohnungen von 43,4 Mio. (Destatis 2023a) machen die durch die BEG geförderten Sanierungen im Jahr 2022 einen Anteil von rund 0,37 % des Wohnungsbestands aus. Die Anzahl der gesamten Sanierungen (auch ohne Förderung der BEG) lag bei 1,3 %.

Kriterium	Beschreibung
	<p>durch Einzelmaßnahmen (BEG EM) ist laut Prognos et al. (2024a) die soziale Struktur etwas vielfältiger. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Kosten für die Sanierung der Gebäude oder den Austausch einer Heizung auf die Mieten umgelegt werden, sodass Mietende von möglichen Mieterhöhungen betroffen sind.⁹⁵</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der neu eingeführte Förderbonus für Haushalte mit geringem Einkommen in selbstgenutzten Gebäuden könnte zu einer sozial gerechteren Verteilung der Fördermittel führen (Braungardt et al. 2023a). Der Einkommensbonus bedeutet zusätzlich 30 % Förderung bei einem (zu versteuerndem) Haushaltseinkommen von bis zu 40 000 Euro pro Jahr. Zwischen Februar und August des Jahres 2024 wurde der Einkommensbonus bei 22 319 Zusagen gewährt. Das entspricht 22 % der Zusagen zur Förderung der Investitionen in Heizungen von Wohngebäuden (BMWK 2024k). <p>Energie- und Mobilitätsarmut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bisher wird das Thema Energiearmut (siehe Infokasten 7) durch die BEG nur teilweise adressiert. Seit der Überarbeitung und Einführung des Einkommensbonus hat die BEG ein höheres Potenzial, Energiearmut in Deutschland zu reduzieren. • Einkommensarme Haushalte leben zudem deutlich häufiger in Worst Performing Buildings als einkommensreiche Haushalte (Schumacher et al. 2022). Die Einführung der neuen Gebäudekategorie Worst Performing Buildings umfasst die schlechtesten 25 % der Gebäude in Deutschland in Bezug auf den Sanierungszustand (KfW 2024). In Verbindung mit der höheren Tilgungsrate (+10 %), kann diese eingeführte Förderung potenziell einen Beitrag zur Verringerung der Energiearmut liefern.
<p>THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Industriestruktur, Beschäftigung)</p>	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Jahr 2021 wurden 13 Mrd. Euro aus Bundesmitteln aufgewendet und knapp 79 Mrd. Euro an Investitionen aufgebracht. 80 % der Investitionen entfielen auf Neubauten, die zu 80 % den Standard EH 55 verfolgten. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2022 insgesamt rund 33 Mrd. Euro aus Bundesmitteln aufgewendet und rund 178 Mrd. Euro an Investitionen ausgelöst.⁹⁶ Dabei sind im Jahr 2022 (nur noch) 48 % der Investitionen dem Neubau zuzuordnen, wobei 80 % der Fördermittel in den ausgelaufenen Standard EH 55 flossen.⁹⁷ Durch die insgesamt ausgelösten Investitionen der BEG entstand im Jahr 2022 gemäß Prognos et al. (2024d) eine Hebelwirkung⁹⁸ von 5,3, während die Hebelwirkung im Jahr 2021 bei 6,1 lag Prognos et al. (2023a; 2024d). • Nach den Abschätzungen von Prognos et al. (2023a) liegt 2021 die gesamte Fördereffizienz der in dem Jahr geförderten Maßnahmen über deren Nutzungsdauer bei 374 Euro pro Tonne CO₂-Äq. Im Jahr 2022 liegt sie laut Prognos et al. (2024d) über deren Nutzungsdauer hinweg bei 259 Euro pro Tonne CO₂-Äq. Dabei habe sie im ersten Förderzeitraum 302 Euro pro Tonne CO₂-Äq. betragen und im zweiten rund 82 Euro pro Tonne CO₂-Äq. (Änderungsbekanntmachung der BEG-Richtlinie zum Juli/August 2022).

⁹⁵ Von angefallenen Modernisierungskosten können 8 % auf die Jahresmiete umgelegt werden, jedoch maximal 3 Euro pro Quadratmeter innerhalb von 6 Jahren. Hinsichtlich eines Heizungsaustauschs gilt, dass 10 % der Kosten umgelegt werden können, maximal jedoch 50 Cent pro m² und Monat.

⁹⁶ Gemäß Methodikleitfaden Fraunhofer ISI et al. (2020) werden unter dem Indikator „ausgelöste Investitionen“ die Investitionen verstanden, die förderfähig sind. Diese können je nach Förderprogramm die Gesamten Investitionen sein, oder die Investitionsmehrkosten. Im Fall der BEG gilt laut Förderrichtlinie folgendes: „Beim Neubau sind die gesamten Bauwerkskosten für das Gebäude förderfähig. Sofern im Rahmen der Sanierung weitere, nicht förderfähige Modernisierungen durchgeführt werden, sind die den Einzelleistungen nicht direkt zurechenbaren Kosten (Gemeinkosten) nach einem nachvollziehbaren Schlüssel anteilig auf die förderfähigen Investitionskosten und nicht förderfähigen Maßnahmen umzulegen.“ (BAFA und KfW 2021).

⁹⁷ Prognos et al. (2024c) fasst zusammen, dass die wesentliche Änderung der BEG – das Beenden der Neubauförderung der EH-/EG-Standards 55, 55 EE und 55 NH (mit Ausnahme befristet für einen Übergangszeitraum bis einschließlich zum 30.06.2022 und nur für Betroffene des Hochwassers 2021) – mit der Richtlinie vom 07.12.2021 (BMWK 2022b) mit Geltung ab dem 01.02.2022 in Kraft trat.

⁹⁸ Gemäß der Evaluation wird der Hebeleffekt wie folgt definiert: „Der Hebeleffekt hat keine Einheit und stellt dar, wie viele Euro an Investitionen je eingesetztem Euro ausgelöst werden. Die Hebelwirkung entspricht nicht dem Förderhebel (Förderquote). Sie umfasst alle angeregten Investitionen, d. h. mehr als die zuwendungs- bzw. förderfähigen Kosten.“ (Prognos et al. 2024c).

Kriterium	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt ist die Fördereffizienz im Neubau deutlich geringer als für energetische Sanierungen bzw. andere Einzelmaßnahmen. Im Jahr 2021 betrug die Fördereffizienz im Bereich Wohngebäude Neubau 1 738 Euro pro Tonne CO₂-Äq. laut Prognos et al. (2023a), 2022 nach Abschätzungen von Prognos et al. (2024d) 2 125 Euro pro Tonne CO₂-Äq. Prognos et al. (2024c) führen die unterschiedlichen Fördereffizienzen auf drei mögliche Aspekte zurück: strukturelle Änderungen im geförderten Gebäudepark, die Entwicklung der Baukosten sowie antragspezifische Gründe. <p>Industriestruktur und Beschäftigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch die ausgelösten Investitionen in Höhe von rund 178 Mrd. Euro im Jahr 2022 gehen Prognos et al. (2024d) von Bruttowertschöpfungseffekten in Deutschland von rund 149 Mrd. Euro aus. Damit könnten laut Prognos et al. (2024d) rund 2 Mio. Vollzeitäquivalente (VZÄ)⁹⁹ an gesicherten oder neu geschaffenen Arbeitsplätzen bei kleinen und mittleren Unternehmen verbunden sein.⁸⁸ Hierbei wurden laut der Studienautor*innen sowohl direkte als auch indirekte Effekte berücksichtigt.¹⁰⁰ Im Jahr 2021 könnten die Bruttowertschöpfungseffekte laut Prognos et al. (2023a) bei rund 67 Mrd. Euro und rund 900 000 neu geschaffenen oder gesicherten Arbeitsplätzen gelegen haben.⁸⁸ • Im Vergleich dazu gehen UBA (2024k) in der Folgenabschätzung des Projektionsberichts 2023 davon aus, dass im Bereich der Gebäudehülle direkte und indirekte Beschäftigungseffekte von rund 250 000 und im Segment der Wärmepumpe von rund 65 000 Erwerbstätigen entstehen. Diese hohe Bandbreite der beiden Studien weist darauf hin, dass es größere Unsicherheiten bei der Bewertung der Arbeitsplatzeffekte gibt. • Darüber hinaus wird die Wirkung der Maßnahme in Zukunft durch den Fachkräftemangel eingeschränkt. Im Jahr 2024 existieren schon bei rund 50 % der Unternehmen in der Energie- und Wasserwirtschaft Probleme beim Besetzen offener Stellen. Rund 80 % der Unternehmen gehen laut BDEW (2024b) davon aus, dass dies in Zukunft noch herausfordernder wird. • Die BEG trägt laut Prognos et al. (2024d) zudem dazu bei, dass 1) die Sanierungs- und Neubaureate gesteigert wird, 2) der Umfang der geplanten Maßnahmen erweitert wird (höheres Effizienzniveau oder höhere Anzahl an Maßnahmen), 3) die Energie- und Heizkosten über die Nutzungsdauer um 37,9 Mrd. Euro gesenkt werden (insbesondere durch Sanierungen), 4) sich bei 70 % der Zuwendungsempfänger der Kenntnisstand über mögliche Effizienzmaßnahmen steigert und 5) ökonomische Investitionshemmnisse abgebaut werden.
Ökologische (Luft, Boden) und weitere Auswirkungen (Gesundheit, Lebensqualität)	<p>Heiztechnologien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Nutzung von Biomasseheizungen ist mit verschiedenen Auswirkungen (Feinstaubemissionen, Kohlenmonoxidemissionen und Ressourcenverbrauch) verbunden. Einzelraumfeuerungsanlagen weisen die höchsten Feinstaubemissionen im Vergleich der Heizsysteme auf (UBA 2023a).¹⁰¹ Feinstaubemissionen wiederum beeinträchtigen die Gesundheit und Luftqualität. Weitere Auswirkungen in Verbindung mit der Nutzung von Biomasse werden im Rahmen des GEG/WPG diskutiert (siehe Kapitel 3.2.2.6). • Die Nutzung von Luft-Wärmepumpen kann mit Geräuschemissionen verbunden sein (UBA 2024f). Eine mögliche Lärmbelästigung durch die Wärmepumpe ist nach Möglichkeit zu verhindern, daher ist beim

⁹⁹ Bei Wohngebäuden entfallen rund 619 000 Vollzeitäquivalente auf Neubau und rund 212 000 auf Sanierung (Prognos et al. 2024c), bei den Nichtwohngebäuden 326 000 auf Neubau und 127 000 auf Sanierung (Prognos et al. 2024b) und bei den Einzelmaßnahmen 29 000 auf Gebäudehülle, 49 000 auf Anlagentechnik, 98 000 auf Heizungstechnik und 4 000 auf Heizungsoptimierung (Prognos et al. 2024c). Damit entfallen rund die Hälfte der Arbeitsplätze auf die Neubauförderung im Jahr 2022. Dieser Effekt könnte daher in Zukunft durch die Änderung der Neubauförderung reduziert werden.

¹⁰⁰ „Dabei werden sowohl die direkt in den zugehörigen Branchen der Investitionsgüterherstellerinnen und -herstellern anfallenden Effekte berücksichtigt als auch die indirekten Effekte abgeschätzt. Letztere entstehen dann, wenn Unternehmen einer Branche im Zuge der Produktion ebenfalls auf Vorleistungsgüter von Unternehmen aus anderen Branchen angewiesen sind.“ (Prognos et al. 2024c).

¹⁰¹ Gemäß UBA (2023a) trug die Holzverbrennung in Kleinf Feuerungsanlagen in privaten Haushalten im Jahr 2020 mit 18 % zu den deutschen PM_{2,5}-Emissionen bei und ist damit in der Höhe vergleichbar mit den Gesamtemissionen des Straßenverkehrs.

Kriterium	Beschreibung
	<p>Einsatz einer Wärmepumpe im Außenbereich ein Abstand von mindestens 3 m zum Nachbargebäude einzuhalten (UBA 2024e).</p> <ul style="list-style-type: none"> Die verwendeten Kältemittel basieren nach Aussage des Umweltbundesamtes (UBA 2024f) größtenteils auf teilfluorierenden Kohlenwasserstoffen (HKFW), deren Emissionen klimaschädlich sind und reguliert werden. Es sind jedoch auch Alternativen mit natürlichen Kältemitteln wie Propan oder CO₂ verfügbar. Eine zunehmende Elektrifizierung der Endverbrauchssektoren (wie beispielsweise die Nutzung von Wärmepumpen) bedingt einen Ausbau der Stromnetze. <p>Neubau:</p> <ul style="list-style-type: none"> Im Rahmen des am 01.03.2023 gestarteten Teilprogramms Klimafreundlicher Neubau wurden die Förderbedingungen für Neubau oder Erstkauf von Immobilien in Abhängigkeit von Nachhaltigkeitsanforderungen des Gebäudes gegenüber der vorherigen Neubauförderung der BEG verschärft. Neben der Erfüllung des energetischen Mindeststandards EH 40, darf das Gebäude während des Lebenszyklus nicht mehr Treibhausgase emittieren als das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) vorschreibt.¹⁰² Für die Ausstellung des Siegels müssen eine Vielzahl von ökologischen und sozialen Anforderungen erfüllt werden.¹⁰³ Mit der Förderung von Neubauten geht eine teils zusätzliche Flächeneinnahme einher. Die Bundesregierung hatte sich im Koalitionsvertrag (SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021) zum Ziel gesetzt, 400 000 neue Wohnungen pro Jahr zu bauen. Im Widerspruch dazu steht das Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2021), die das Ziel verfolgt, die Flächeninanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehr auf 30 ha pro Tag zu begrenzen.¹⁰⁴ <p>Sanierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Hinsichtlich der Sanierung von Gebäuden ergeben sich unterschiedliche Herausforderungen hinsichtlich der Verwendung der Dämmmaterialien, die teilweise mit ökologischen Auswirkungen (zum Beispiel mangelnde Recyclingfähigkeit) einhergehen (Dunkelberg und Weiß 2016). Durch eine Sanierung kann auch eine Verringerung der negativen Gesundheitsfolgen von zu kalten oder zu warmen Wohnräumen für von Energiearmut betroffenen Haushalten realisiert werden (Aigner et al. 2023). Frauen im Spezifischen sind in ganz Europa überproportional stark von Energiearmut betroffen, vor allem durch noch bestehende, weit verbreitete gesellschaftliche Ungleichheiten (z. B. geringeres Einkommen, geringere Erwerbs- und längere Care-Arbeitszeit, geringere Repräsentanz in Entscheidungsgremien; siehe BMFSFJ 2024; Burbidge et al. 2024).

Eigene Darstellung.

165 **Insgesamt** ist die BEG ist eine **zentrale Klimaschutzpolitische Maßnahme** im Gebäudesektor. Die Evaluationen der Maßnahme kamen zu dem Schluss, dass die im Jahr 2022 umgesetzten Änderungen an der BEG Wohngebäude-Förderung in die gewünschte Richtung hin zu mehr Effizienz, Nachhaltigkeit und höheren CO₂-Einsparungen führten (Prognos et al. 2024c). Dies zeige sich insbesondere an der

¹⁰² Die Anforderungen an das Qualitätssiegel in seinen unterschiedlichen Ausprägungen sind im Einzelnen BMWSB (2024b) zu entnehmen.

¹⁰³ Je nach Förderprogramm müssen zusätzlich die Anforderungen des Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude erfüllt sein. Im Rahmen dessen werden neben ökonomischen und nutzungsbezogenen Aspekten die Beachtung der planetaren Grenzen sowie Verteilungs- und Generationengerechtigkeit berücksichtigt, wie beispielsweise Flächen- und Ressourceninanspruchnahme, Rückbau- und Recyclingfähigkeit der Baukonstruktion, Reduktion von Risiken für die Gesundheit, Trinkwasserbedarf, nachhaltige Materialgewinnung, Recyclinganteile von Baustoffen, Schadstoffvermeidung in Baumaterialien oder Barrierefreiheit (BMWSB 2024a). Zudem darf das Gebäude weder mit Öl, Gas oder Biomasse beheizt sein.

¹⁰⁴ Eine Studie des Thünen Instituts (Osterburg et al. 2023) schätzt anhand von Szenarien ein, dass die Fläche für Wohnungs- und Industriebau theoretisch durch vorhandene Innenentwicklungspotenziale gedeckt werden kann. Es wird jedoch vermutet, dass die Flächen im Bereich des unbeplanten Außenbereichs entstehen.

deutlichen Verbesserung der Fördereffizienz im Jahr 2022. Die stärkere Berücksichtigung sozialer Kriterien, eine gesonderte Förderung für Worst Performing Buildings sowie die Neuaufgabe der Neubauförderung bedeuten eine stärkere Ausrichtung im Sinne einer sozial gerechten Klimapolitik. Die Evaluation durch Prognos ist für die Jahre 2021 bis 2023 angelegt. Eine weitere Evaluation nach dem Jahr 2023 ist nach den Anpassungen der Förderung im Jahr 2023 zu erwarten.

3.2.2.6 Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Wärmeplanungsgesetz (WPG)

166 Die Überarbeitung der BEG muss auch im direkten Bezug zur **Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)** betrachtet werden. Das im Jahr 2020 verabschiedete und im Jahr 2023 novellierte GEG ist eine regulatorische Maßnahme und schreibt vor, dass neu eingebaute Heizungen spätestens ab dem Jahr 2028 mit 65 % erneuerbaren Energieträgern betrieben werden müssen. Zudem definiert das Gesetz Anforderungen an Neubaustandards, Austausch- und Nachrüstpflichten sowie Anforderungen bei freiwilliger Modernisierung.

167 Die Anforderungen an Heizungsanlagen und Übergangsfristen im GEG sind direkt gekoppelt an die **kommunale Wärmeplanung**. Die neuen Vorgaben gelten erst, sobald Wärmepläne vorliegen. Kommunen sind verpflichtet, je nach Einwohnerzahl bis spätestens zum Jahr 2026 oder 2028 Wärmepläne zu erstellen (BMWK 2024a). In diesen wird dargelegt, welche technischen Möglichkeiten bei einem Wechsel zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung vorhanden sind und welche Teilgebiete einer Kommune für welche Art der Wärmeversorgung genutzt werden können. Das im Januar des Jahres 2024 in Kraft getretene **Wärmeplanungsgesetz (WPG)** regelt Anforderungen an die Wärmeplanung, deren Durchführungen, Entscheidungen über die Ausweisung von Gebieten und die Transformation von Gasnetzen, sowie Anforderungen an die Betreiber von Wärmenetzen. Bis zum Jahr 2030 müssen im nationalen Durchschnitt erneuerbare Energieträger und Abwärme einen Anteil von 50 % ausmachen, bis zum Jahr 2040 von 80 % (BMWK 2024a). Mit dem nationalen politischen Rahmen wird auch der novellierte EED Rechnung getragen. In dieser werden die Mitgliedstaaten verpflichtet, die regionalen und lokalen Behörden finanziell, technisch und organisatorisch bei der Erstellung verpflichtender lokaler Wärme- und Kältepläne zu unterstützen. Die THG-Minderung, die adressierten Handlungsfelder sowie die weiteren Wirkungen des GEG/WPG sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Tabelle 18: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „GEG und WPG“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> Die ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024 gibt an, dass das novellierte GEG inklusive der 65 %-Regel in Kombination mit dem im Jahr 2024 in Kraft getretenen WPG neben der BEG der wichtigste Treiber der Dekarbonisierung im Gebäudesektor sei (Harthan et al. 2024). Im Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichtes ist für das Jahr 2030 eine addierte jährliche Netto-Minderungswirkung⁸² von 13,3 Mt CO₂-Äq. ausgewiesen (Harthan et al. 2024).¹⁰⁵ Ex-post Evaluationen liegen noch nicht vor.
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> Das GEG wirkt im dynamischen Bereich durch i) Anforderungen an Bauteile und Gebäudestandards (Neubauten und Bestand) auf das Handlungsfeld Effizienz, ii) durch die 65 %-Regel auf das Handlungsfeld Energieträger- und Technologiewechsel durch den Aufbau neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks und iii) auf

¹⁰⁵ Wirkabschätzung mit Wirkbeginn im Jahr 2023.

Kriterium	Beschreibung
	<p>den Rückbau des fossilen Kapitalstocks durch § 72 (Betriebsverbot für Heizkessel und Ölheizungen ab 2045 und falls Einbau vor mehr als 30 Jahren).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im statischen Bereich wirkt das GEG im Handlungsfeld Effizienz in der Umwandlung durch § 60 ff. (Wartung und Instandhaltung). • Das WPG kann im dynamischen Bereich auf das Handlungsfeld Energieträger- und Technologiewechsel durch den Aufbau von neuem, nicht-fossilen Kapitalstock wirken. Dies wird dadurch geleistet, dass die Energieerzeugung und -versorgung auf erneuerbare Energieträger, unvermeidbare Abwärme oder eine Kombination davon umgestellt wird (§ 1 WPG). Das betrifft die Bereiche Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme.
<p>Soziale Auswirkungen (Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft, Einkommen und Vermögen)</p>	<p>Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im WPG werden Vorgaben zur Beteiligung verschiedener Akteure und der breiten Öffentlichkeit formuliert. So schreibt das Gesetz vor, dass „die planungsverantwortliche Stelle [...] im Rahmen der Wärmeplanung alle Behörden und Träger öffentlicher Belange, deren Aufgabenbereiche durch die Wärmeplanung berührt werden“ frühzeitig und fortlaufend beteiligt (§ 7 Abs. 1 und 2 WPG). Bezüglich der Beteiligung von Bürger*innen schreibt das Gesetz auch die Beteiligung der Öffentlichkeit im Rahmen der Wärmeplanung vor (§ 7 Abs. 1 WPG). • Wärmepläne können privaten Haushalten mehr Planungssicherheit geben und unterstützen ggf. informierte Entscheidungen. Dabei können sie jedoch auch mit Härten verbunden sein (siehe unten). Ab Implementierung der Wärmepläne greifen die Vorgaben des GEG zur Anpassung des Heizsystems. • Die Einführung des GEG wurde gesamtgesellschaftlich tendenziell kritisch aufgenommen und medial stark diskutiert (Jost et al. 2024). Dabei wurden laut Braungardt, Sibylle et al. (2024) in vielen Fällen Fehlinformationen verwendet. Jost et al. (2024) betonen insbesondere das Ausmaß irreführender Informationen durch Medien am rechten Rand und in geringerer Weise durch Medien am linken Rand des Medienspektrums. Braungardt, Sibylle et al. (2024) kritisieren jedoch auch die unzureichende und in Teilen widersprüchliche Kommunikation der Regierung. <p>Einkommen und Vermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Langfristig sind energetisch modernisierte Gebäude sowie klimafreundliche Heiztechnologien, wie sie durch das GEG angereizt werden, ein Schutz vor steigenden Preisen fossiler Energieträger durch die CO₂-Bepreisung; kurz- und mittelfristig sind hier jedoch Investitionen notwendig, die für viele Haushalte mit mittleren und niedrigen Einkommen nur schwer zu bewältigen sind. Für Haushalte, die im selbst genutzten Eigentum wohnen, spielt in dem Zusammenhang die einkommensbasierte Förderung der BEG eine wichtige Rolle. • Die Härtefallregelungen im GEG sollen Personen mit geringen Einkommen schützen und Ausnahmen ermöglichen, wo die Umsetzung der Anforderungen durch fehlendes Einkommen oder die fehlenden Mittel zur Bedienung eines Darlehens verhindert wird. • Die Anforderungen des GEG können perspektivisch eine Entwertung von Gebäuden mit weniger gutem Gebäudestandard bedeuten. Für Haushalte, die ihr selbst genutztes Eigentum wegen fehlender finanzieller Mittel nicht sanieren oder mit einem nicht-fossilen Heizsystem ausstatten können, bedeutet dies einen sinkenden Wert des persönlichen Vermögens. Für von den Härtefallregelungen betroffenen Haushalte fehlt eine Abfederung.
<p>THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Beschäftigung)</p>	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die THG-Minderungskosten des GEG werden von Gebäudeeigentümer*innen getragen. Diese kommen durch Anforderungen an die Gebäudeeffizienz sowie Vorgaben zu klimaneutraler Heiztechnologie zustande. Hierfür relevant sind jedoch lediglich die zusätzlichen Kosten, die aufgrund eines höheren energetischen Ambitionsniveaus der Vorgaben entstehen. Zudem müssten diese Mehrkosten mit den (sehr wahrscheinlich) geringer ausfallenden Betriebskosten verrechnet werden. Anteilig kann eine Förderung (BEG) in Anspruch genommen werden. Aufgrund fehlender Studien bzw. Evaluationen ist ein

Kriterium	Beschreibung
	<p>Ausweisen der THG-Minderungskosten für das GEG nicht möglich. Zudem ist die Höhe der THG-Minderungskosten fallspezifisch.</p> <ul style="list-style-type: none"> Rau et al. (2024) zeigt, anhand von 16 Fallbeispielen, dass eine energetische Sanierung zu geringeren Gesamtkosten führen würde. Im Falle von Einfamilienhäusern kommt die Studie zu dem Schluss, dass die energetische Sanierung wirtschaftlich sei, in Mehrfamilienhäusern sei dies nicht immer gegeben. Hierbei wird ein steigender BEHG-Preis auf 223 Euro pro Tonne CO₂ im Jahr 2045 unterstellt. EWI (2022) zeigt für unterschiedliche Baualtersklassen von Einfamilienhäusern in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiepreisentwicklungen CO₂-Vermeidungskosten einer energetischen Sanierung von 24 bis 251 Euro pro Tonne CO₂ aus. Die Studie von Meyer et al. (2024) weist jedoch darauf hin, dass im Neubau der Einsatz von Wärmepumpen und Fernwärme bereits heute einen wirtschaftlichen Einsatz ermöglicht und in vielen Fällen gängige Praxis sei. Die Studie analysiert für Bestandsgebäude die Wirtschaftlichkeit verschiedener Heizsysteme über deren Lebensdauer. Die Entwicklung des CO₂-Preises spiele eine entscheidende Rolle hinsichtlich der ökonomischen Bewertung von Heizsystemen. Unter Annahme eines stark steigenden BEHG (perspektivisch EU-ETS 2) Preises sei der Einsatz von Wärmepumpen in Einfamilienhäusern ökonomisch sinnvoll. Wärmepumpen sowie Fernwärme stellen laut Meyer et al. (2024) unter Berücksichtigung aller anfallenden Kosten die günstigste Heizungsoption dar und seien auch ohne BEG-Förderung hinsichtlich der Kosten vergleichbar mit einem mit fossilem Erdgas betriebenen Brennwertkessel. Auch in Bestands-Mehrfamilienhäusern kommt die Studie zu dem Schluss, dass unter diesen Annahmen die Wärmepumpe neben der Fernwärme die günstigste Wärmeversorgungsoption darstellt.¹⁰⁶ <p>Investitionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Das GEG und das WPG machen erhebliche Investitionen in Gebäudesanierung, nicht-fossile Heizungssysteme und Infrastruktur notwendig, bieten dabei aber vor allem eine erhöhte Planungssicherheit. Das WPG kann laut BMWK (2024a) dabei unterstützen, Fehlinvestitionen zu vermeiden. Es ist daher davon auszugehen, dass das WPG ein zentrales Instrument für die Koordination des notwendigen Infrastrukturausbaus darstellt. <p>Beschäftigung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Durch Investitionen in die Gebäudehülle steigt laut UBA (2024k) der Arbeitskräftebedarf, was voraussichtlich kurz-, aber auch langfristig zu Engpässen führen wird. Auch durch das WPG und die Planung und Erstellung der Wärmepläne und -netze werden erhöhte Arbeitskräftebedarfe ausgelöst. Bei Vollbeschäftigung kann es dadurch zu Crowding-out-Effekten und/oder verstärkter Arbeitsmigration kommen.
<p>Ökologische (Ressourcenbedarf) und weitere Auswirkungen (Gesundheit)</p>	<p>Ökologische Folgewirkung Biomassenutzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Biomasseheizungen stellen eine Erfüllungsoption der 65 %-Regel im GEG dar. Laut Projektionsbericht 2024 (Harthan et al. 2024) steigt der Endenergieverbrauch von biogenen Energieträgern im Gebäudesektor im Jahr 2030 auf rund 560 PJ an.¹⁰⁷ Der Gebäudesektor macht laut den Projektionen am gesamten Verbrauch biogener Energieträger 45 % aus. Harthan et al. (2024) weisen darauf hin, dass dieser Bedarf an Biomasse nicht heimisch gedeckt werden kann, sondern Importe in der Höhe von rund 400 PJ im Jahr 2030 notwendig sein könnten.¹⁰⁸ Der Import kann mit Risiken für die Umwelt, das Klima und soziale Risiken in den Herkunftsländern verbunden sein. Zudem sei die Verfügbarkeit bzw. Realisierbarkeit mit hohen Unsicherheiten verbunden. Carbon Leakage entstünde auf Kosten der Exportländer. Zudem kann der

¹⁰⁶ Die Studie vergleicht die verschiedenen GEG-konformen Heizungsoptionen: Gas Brennwertkessel mit Biogas betrieben, Gas Brennwertkessel mit fossilem Gas und anteiliger Wasserstoffbeimischung, Gas Brennwertkessel mit 100 % Wasserstoff, Pelletkessel, verschiedene Wärmepumpen Optionen (Luft-Wasser, Luft-Wasser-PV und Sole-Wasser) sowie Fernwärme. Als Vergleichsoption dient der Gas Brennwertkessel auf Basis vom fossilen Erdgas, der nicht GEG-konform ist.

¹⁰⁷ Davon 93 % feste Biomasse und 7 % gasförmige Biomasse (Harthan et al. 2024).

¹⁰⁸ Im Jahr 2020 lag der Netto-Import bei rund 10 PJ (Harthan et al. 2024).

Kriterium	Beschreibung
	<p>heimische Holzeinschlag zu einer Reduktion der Senkenleistung des LULUCF-Sektors führen, wenn er auf einem nicht-nachhaltigem Niveau betrieben wird (Einschlag längerfristig größer Netto-Waldwachstum).</p> <p>Gesundheit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das GEG hebt Gesundheitsschutz in Gebäuden als wichtigen Aspekt hervor. Hierzu zählt beispielsweise der sommerliche Wärmeschutz (§ 14 GEG) von Gebäuden. • Im ursprünglichen Entwurf der GEG waren Anforderungen zur Reduzierung der Staubemissionen vorgesehen. Braungardt et al. (2023b) weist daher darauf hin, dass positive Effekte für Umwelt und Gesundheit in der umgesetzten Gesetzgebung potenziell geringer ausfallen, als dies sonst der Fall gewesen wäre. <p>Heiztechnologien/Dämmung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nähere Ausführungen zu potenziellen Auswirkungen sind bei der BEG aufgeführt.

Eigene Darstellung.

168 **Zusammenfassend** sind das **GEG** und das **WPG** relevante Instrumente bei der Umsetzung der EED und der EU-Gebäuderichtlinie (Europäische Kommission 2024c), im Folgenden EPBD, in nationales Recht. In der ex-ante Wirkabschätzung machen das GEG und das WPG zusammen mit der BEG die größte THG-Minderungswirkung im Gebäudesektor aus. Zentral beim GEG ist hierfür die 65 %-Regel. Die Kombination aus GEG und WPG erzwingt unabhängig von den tatsächlichen CO₂-Preisen aus BEHG bzw. EU-ETS 2 eine Umstellung der Heizsysteme und erfordert somit private Investitionen. Dadurch können jedoch mittel- und langfristig finanzielle Belastungen aufgrund potenziell sehr hoher Betriebskosten durch die CO₂-Bepreisung abgeschwächt bzw. vermieden werden. Zudem ist das WPG ein zentrales Instrument zur Koordination von Infrastrukturausbau. Zur Kompensation sozialer Härten sind Befreiungsregeln im GEG vorgesehen (§ 102) sowie zusätzliche finanzielle Unterstützungen einkommensarmer Haushalte in den Förderbestimmungen der BEG berücksichtigt. Ob diese Regeln und finanziellen Unterstützungen hinreichend sind, um den gesellschaftlichen Frieden bei der Umsetzung des GEG zu wahren, ist umstritten. Notwendige finanzielle Investitionen, ein hoher Arbeitskräftebedarf, die Kopplung der 65 %-Regel an die kommunale Wärmeplanung sowie teilweise geringe Anreize, z. B. für Vermietende, können sich jedoch zeitlich verzögernd auf die Transformationsprozesse auswirken. Überdies ist anzumerken, dass das WPG lediglich zur Erstellung der Wärmepläne verpflichtet, nicht jedoch zur Veröffentlichung und zur Ausweisung von Fernwärmegebieten. Hier ist folglich die Initiative der kommunalen Verwaltung und Energieversorger ausschlaggebend. Außerdem könnte eine großflächige Erfüllung der 65 %-Regel durch biogene Energieträger das inländische Biomasseangebot überschreiten und die Netto-Emissionen im LULUCF-Sektor, z. B. durch nötig werdenden Holzeinschlag noch erhöhen. Ein Import von biogenen Energieträgern ist hingegen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und kann zu nachteiligen Auswirkungen in Exportländern führen. Allgemein bemerkt der Expertenrat, dass im Gebäudesektor, im Unterschied zu anderen Sektoren, die Kombination aus Regulierung und ergänzenden Förderinstrumenten eine effektive THG-Minderung bewirken kann. Grund ist, dass der Aufbau einer neuen Anlage im Bestand in der Regel zwingend den Rückbau der Altanlage erfordert.

3.2.2.7 Umweltbonus

- 169 Die **Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus)** trat am 30.06.2016 in Kraft (BMW 2016). Der Umweltbonus war eine fiskalische Maßnahme der Bundesregierung für die Elektrifizierung und Dekarbonisierung des Straßenverkehrs. Neben seiner klimaschutzpolitischen Zielsetzung war der Umweltbonus auch als **industriepolitisches Instrument** konzipiert. Auch wenn der Umweltbonus keine bevorzugte Behandlung deutscher Hersteller vorsah, diente er laut der ersten Förderrichtlinie indirekt auch dazu, heimische Automobilhersteller in der Phase des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen zu unterstützen (BMW 2016). Vor dem Hintergrund der Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts vom 15.11.2023 zum Zweiten Nachtragshaushaltsgesetz 2021 (BVerfG 2023) und der damit einhergehenden Verringerung von Haushaltsmitteln für den KTF wurde der Umweltbonus durch die Bundesregierung vorzeitig zum 17.12.2023 eingestellt.
- 170 Mit dem Umweltbonus wurde Privathaushalten und Unternehmen beim Kauf oder Leasing eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs ein finanzieller Zuschuss gewährt, welcher durch einen Rabatt der Hersteller ergänzt wurde. Insgesamt wurden im Zeitraum von 2016 bis 2023 staatliche Fördermittel in Höhe von **10,2 Mrd. Euro** bewilligt (ergänzt um 5,3 Mrd. Euro an Herstellerrabatten). Mit diesen Fördermitteln wurde die Zulassung von insgesamt **2,2 Mio. elektrisch betriebenen Fahrzeugen** gefördert. Von diesen 2,2 Mio. Förderungen entfielen 1,4 Mio. auf batterieelektrische Pkw (BEV) und 0,8 Mio. auf Plug-In Hybridfahrzeuge (PHEV), sowie knapp 500 auf Fahrzeuge mit Wasserstoffbrennstoffzellen (FCEV) (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024).
- 171 Während der Förderphase wurde die **Förderrichtlinie mehrfach angepasst** und Änderungen sowohl bei den Fördersätzen als auch bei den förderfähigen elektrisch betriebenen Fahrzeugen und den anspruchsberechtigten Gruppen vorgenommen. BEV (und Fahrzeuge mit Wasserstoffbrennstoffzellen) erhielten stets höhere staatliche Zuschüsse (2 000 bis 6 000 Euro) als PHEV (1 500 bis 4 500 Euro), um den Erwerb emissionsärmerer Fahrzeuge zu fördern. Die Förderung für PHEV endete Ende des Jahres 2022. Seit dem 01.09.2023 war die Förderung von BEV auf Privatpersonen beschränkt (BMW 2022a). Fahrzeuge mit einem Netto-Listenpreis unter 40 000 Euro wurden stärker bezuschusst, während solche über 60 000 Euro bzw. 65 000 Euro (seit dem 04.11.2019) von der Förderung ausgeschlossen waren. Die THG-Minderung, die adressierten Handlungsfelder sowie die weiteren Wirkungen des Umweltbonus werden in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „Umweltbonus“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> Über den gesamten Förderzeitraum konnten gemäß der Programmevaluation (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024) mit dem Programm im Jahr 2023 eine addierte THG-Emissionseinsparungen (brutto) von rund 2,9 Mt CO₂-Äq. erzielt werden. Die Einsparungen stiegen dabei erst ab dem Jahr 2020 merklich an, da die Zahl der geförderten Fahrzeuge aufgrund von Änderungen der Förderrichtlinie (insbesondere der deutlichen Anhebung der Fördersätze seitens des Bundes) deutlich zunahm. Der größte Teil der erzielten Brutto-Einsparungen entfiel dabei auf die geförderten BEV, während PHEV nur unterdurchschnittlich zu den Einsparungen beitrugen.¹⁰⁹ Die um Mitnahme- und Vorzieheffekte sowie Rebound-Effekte bereinigte Netto-Wirkung des Umweltbonus lag laut (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024) im Jahr 2023 bei rund 1,8 Mt CO₂-Äq. (jeweils addierte jährliche Einsparung seit Start des Programms im Jahr 2016). Dabei lag der in der Evaluation von (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024) berechnete Mitnahme- und Vorzieheffekt in den ersten Jahren der Förderung mit rund 50 % für Privatpersonen und 40 % für Unternehmen deutlich höher als in den nachfolgenden Jahren (mit Werten zwischen rund 30 % und 40 %). Dies könnte nach Aussagen der Evaluation auf den Early-Adopter-Effekt zurückzuführen sein, der in der Anfangsphase der Förderung vorherrschend war und mit zunehmender Marktreife der Elektromobilität im Allgemeinen abnimmt. Die Werte basieren auf einer Befragung der Fördernehmenden für die verschiedenen Nutzengruppen (Privatpersonen, Nutzende in Unternehmen, Flottenmanagement). Andere Studien, die nicht auf einer Befragung der Fördernehmenden, sondern auf quasi-experimentelle Methoden basieren, finden allerdings noch deutlich höhere Werte für die Mitnahmeeffekte. So liegen diese bei Haan et al. (2023) bei 60 % für BEV und 75 % für PHEV. Bei Burra et al. (2024) liegen diese Werte bei 57 % für Privatpersonen und 87 % bei Unternehmen. Der Rebound-Effekt, der in der Programmevaluation (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024) über den Umfang der zusätzlichen Fahrkilometer durch den Erwerb eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs abgeschätzt wurde, liegt je nach Förderperiode zwischen 2 und 3 %.¹¹⁰ Aufgrund dieser heterogenen Ergebnisse lässt sich feststellen, dass die durch den Umweltbonus erzielten Netto-Einsparungen, d. h. die dem Programm unmittelbar zuzuschreibenden Wirkungen, mit deutlich höheren methodischen Unsicherheiten behaftet sind als die Ermittlung der Brutto-Wirkung. Allerdings gibt es auch bei der Brutto-Wirkung einen Faktor, der auf eine Überschätzung der Einsparung in der Evaluation hindeutet. Denn nicht berücksichtigt wurde in der Evaluation, dass nicht die gesamte Summe neuzugelassener BEV dauerhaft im Fahrzeugbestand wiederzufinden ist, womit die für Deutschland ermittelten Einsparungen um diesen Anteil an Fahrzeugen überschätzt sein dürften. So sind z. B. im Zeitraum von 2020 bis 2022 1,02 Mio. neue BEV zugelassen worden, die Bestandsveränderung beträgt für den gleichen Zeitraum jedoch lediglich 0,88 Mio. BEV (KBA 2023; 2024d). 0,15 Mio. BEV (14 % aller neuzugelassenen BEV) sind daher nicht mehr im Bestand wiederzufinden, z. B. aufgrund von Exporten oder Außerbetriebsetzung/Verunfallung. Die Mindesthaltedauer wurde im Rahmen der 9. Förderrichtlinie zum 01.01.2023 von 6 auf 12 Monate erhöht (BMW 2022a).

¹⁰⁹ Diese Werte ergeben sich aus den im Verkehrssektor eingesparten THG-Emissionen durch den verringerten Kraftstoffverbrauch, abzüglich der THG-Mehremissionen im Sektor Energiewirtschaft, die durch den zusätzlichen Strombedarf entstehen. Obwohl diese THG-Emissionen offiziell dem Sektor Energiewirtschaft zugerechnet werden, sind sie in der Berechnung enthalten, um ein umfassendes Bild der THG-Emissionseinsparungen durch den Umweltbonus darzustellen. Die THG-Emissionen, die während der Produktion der Fahrzeuge entstehen, wurden in die Berechnungen nicht einbezogen. Eine qualitative Analyse bestehender Literatur zeigt jedoch, dass sich die THG-Emissionen bei der Produktion von BEV/PHEV in den letzten Jahren denjenigen von fossilen Verbrennungsmotoren angenähert haben (Agora Verkehrswende 2019; Emilsson und Dahllöf 2019).

¹¹⁰ Laut Aussage der Evaluationsstudie liegen diese Werten in der gleichen Größenordnung, wie sie auch in anderen Studien für Deutschland und andere europäische Länder bei der Einführung von Elektrofahrzeugen beobachtet wurden (zwischen 2 und 4 %; siehe Whitehead et al. 2015; Huwe und Gessner 2020), während für den Verkehrssektor insgesamt in der Literatur deutlich höhere Rebound-Effekte (zwischen 10 und 20 %) festgestellt wurden (Murray 2013).

Kriterium	Beschreibung
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> Durch eine Befragung der Fördernehmenden im Rahmen der Evaluation wurde festgestellt, dass 14,3 % der befragten Haushalte das elektrisch betriebene Fahrzeug zusätzlich zu einem bereits vorhandenen fossilen Verbrenner angeschafft haben (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024). In diesem Fall hätte die Förderung keinen Rückbaueffekt auf den fossilen Kapitalstock. Allerdings wurde in einem solchen Fall potenziell die Neuanschaffung eines zusätzlichen Verbrenners verhindert, der ggf. ohne die Förderung gekauft worden wäre. Dieser Effekt würde somit zumindest dem zusätzlichen Aufbau des fossilen Kapitalstocks entgegenwirken. Darüber hinaus könnten zusätzlich THG-Emissionen eingespart werden, falls das erworbene elektrische Fahrzeug die gefahrenen Kilometer mit dem bereits vorhandenen fossilen Verbrenner reduziert. Haan et al. (2023) kommen zu dem Schluss, dass der Umweltbonus im Vergleich zum Zeitraum ohne Förderung für Elektroautos die Neuzulassungen von BEV um 1400 % und die von PHEV um 600 % erhöht hat, während Neuzulassungen von fossilen Verbrennern zurückgingen. Der Umweltbonus hätte danach eine dynamische Wirkung, da neuer, nicht-fossiler Kapitalstock aufgebaut wird. Im Zeitraum von 2016 bis 2023 wurden rund 1,4 Mio. BEV durch den Umweltbonus gefördert, was eine Gesamtzahl von 1,6 Mio. BEV im Bestand maßgeblich unterstützt hat. Das politische Ziel sieht einen Bestand von 15 Mio. BEV im Jahr 2030 vor und liegt damit oberhalb der meisten „Big 5“-Szenarien (siehe Abbildung A 50). Um das politisch gesetzte Ziel einzuhalten, bedarf es in einem ähnlichen Zeitraum wie dem Förderzeitraum der Zulassung 13,4 Mio. weiterer BEV. Im Vergleich dazu weist der Projektionsbericht 2024 für das Jahr 2030 einen projizierten Bestand von 10,7 Mio. BEV aus. Diese Projektion berücksichtigt jedoch nicht, dass der Umweltbonus zum Ende des Jahres 2023 auslief, was die zukünftige Wachstumsdynamik der BEV-Neuzulassungen beeinflussen könnte.
Soziale Auswirkungen (Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft, Einkommen und Vermögen, Energie- und Mobilitätsarmut)	<ul style="list-style-type: none"> Die Evaluation des Umweltbonus (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024) weist bei der Verteilung der Fördernehmenden auf die Einkommensgruppen auf eine deutliche Ungleichverteilung zugunsten der Einkommensgruppen mit einem höheren monatlichen Netto-Einkommen hin. Zudem entfiel ein Großteil der Neuzulassungen auf Dienstwagen, zu denen in der Regel nur Mitarbeitende aus höheren Einkommensgruppen Zugang haben. Dies verstärkt das Bild einer regressiven Verteilungswirkung des Programms. Auch regional wurde in der Evaluation eine ungleiche Verteilung der geförderten Fahrzeuge und der Fördermittel auf die einzelnen Bundesländer festgestellt. Über den gesamten Förderzeitraum wiesen die neuen Bundesländer deutlich niedrigere Werte auf als die alten Bundesländer.
THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung)	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die in der Programmevaluation (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024) im Rahmen der Wirtschaftlichkeitskontrolle ermittelte Fördereffizienz lag über die gesamte Förderphase und alle geförderten Fahrzeuge hinweg bei 319 Euro pro Tonne CO₂-Äq. Die Fördereffizienz wurde berechnet aus den eingesetzten Fördermitteln in Relation zu den ermittelten Netto-THG-Einsparungen über die Lebensdauer der geförderten Fahrzeuge. Insgesamt lägen diese Kosten im Vergleich z. B. mit dem derzeitigen Preis im BEHG und EU-ETS 2 sehr hoch. Die Fördereffizienz für BEV ist durch die bessere THG-Bilanz höher, wurde allerdings in dieser Evaluation nicht gesondert berechnet. Haan et al. (2023) berechnen noch geringere Fördereffizienzen von 870 Euro pro Tonne CO₂-Äq. für BEV und 2 470 Euro pro Tonne CO₂-Äq. für PHEV. Die höheren Werte liegen unter anderem an deutlich höheren Mitnahmeeffekten als in der Programmevaluation veranschlagt.¹¹¹ Allerdings ordnen die Autor*innen diese relativ hohen Werte insofern ein, als sie darauf hinweisen, dass solche Werte in einer frühen Phase der Einführung einer neuen Technologie und vor dem Hintergrund des Ziels, den Transportsektor bis zur Mitte des Jahrhunderts zu dekarbonisieren, durchaus gerechtfertigt sein könnten.

¹¹¹ Andere Studien kommen auf noch höhere Fördereffizienzen um die 1 000 Euro pro Tonne CO₂-Äq., betrachten aber nur die ersten Jahre der Förderung. In diesen wurde noch ein größerer Anteil an Plug-in Hybridfahrzeugen gefördert, was die Fördereffizienzen negativ beeinflusst (Alberini und Vance 2023).

Kriterium	Beschreibung
	<p>Dies gelte jedoch nur für BEV, während für PHEV eine staatliche Unterstützung – die auch im Rahmen des Umweltbonus seit Anfang 2023 nicht mehr gewährt wurde – nicht für gerechtfertigt gehalten wird.</p> <p>Investitionen, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laut Fraunhofer ISI und Technopolis (2024) wurden im Zeitraum von 2016 bis 2023 rund 49 Mio. Euro (Netto-Wert) an Investitionen durch den Umweltbonus ausgelöst. Die ausgelösten Investitionen umfassen sowohl die Fördermittel (Bundeszuschuss und Herstelleranteil) als auch die von den Kaufenden selbst getätigten Investitionen. Dies würde einem Netto-Hebeleffekt, also den ausgelösten Investitionen pro Euro Förderung, von 4,9 entsprechen. • Mit der Einführung des Umweltbonus im Jahr 2016 sei laut Fraunhofer ISI und Technopolis (2024) der Anteil deutscher Hersteller am Markt für BEV deutlich gestiegen. Jedoch machten ausländische Marken laut dem Evaluationsbericht immer noch die Hälfte der zugelassenen Fahrzeuge aus. • Die Auswirkung des Umweltbonus auf die Beschäftigung ist aufgrund mangelnder Daten unklar. Jedoch gehen u. a. Falck et al. (2021) von allgemein negativen Auswirkungen auf die Beschäftigung in der Automobilindustrie und Zulieferfirmen in Zusammenhang mit dem Übergang von Verbrennungs- zu Elektromotoren aus.
Ökologische und weitere Auswirkungen (Energiesicherheit /Resilienz des Energiesystems, Gesundheit, Lebensqualität, ...)	<p>Gesundheit und Lebensqualität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundsätzlich haben BEV gegenüber fossilen Verbrennern geringere Luftschadstoffemissionen und entsprechend weniger negative Gesundheitsauswirkungen. Dazu kommt, dass BEV deutlich leiser sind, was die Lärmbelastung an vielbefahrenen Straßen langfristig reduzieren kann. <p>Ressourcenbedarf und Verkehrssicherheit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Negative Auswirkungen sind grundsätzlich der gesteigerte Ressourcenbedarf für die Herstellung der Batterien und Motoren (IEA 2021) sowie deren ökologische und soziale Auswirkungen (Fritz et al. 2023).¹¹² Da BEV im Schnitt etwas schwerer sind als ähnliche Modelle mit Verbrennungsmotoren, kann es zu einer stärkeren Belastung von Brücken und Straßen kommen. Relevant sind hierfür jedoch auch die Verkehrsleistung sowie die anteilige Repräsentation der jeweiligen Fahrzeugsegmente (Kleinwagen vs. SUVs/Geländewagen/Wohnmobile) im Bestand. Als kritisch, auch für die Verkehrssicherheit, werden insbesondere schwere (Elektro-)Autos im oberen Fahrzeugsegment erachtet (Shaffer et al. 2021).¹¹³

Eigene Darstellung.

172 **Insgesamt** hat der **Umweltbonus** zu Energie- und THG-Emissionseinsparungen geführt, die in Gänze jedoch erst in der Zukunft erreicht werden. Durch die Förderung von neuem, nicht-fossilen Kapitalstock wirkt der Umweltbonus dynamisch. Als nachteilig erwies sich laut der Ergebnisse der Evaluation (Fraunhofer ISI und Technopolis 2024), dass die Förderung primär einkommensreicheren Haushalten zugutekam. Zudem sind die errechneten Kosten pro eingesparter Tonne CO₂-Äq. hoch. Diese wurden überwiegend aus öffentlichen Haushaltsmitteln getragen. Insgesamt beliefen sich die aus dem

¹¹² Künftige technologische Entwicklungen sowie die Ausweitung von **Recyclingverfahren** verringern den Neubedarf an Rohmaterialien je Fahrzeug theoretisch; dies ist bereits zu beobachten sowie für die Zukunft erwartbar (IEA 2024). Ein aktueller Trend hin zu größeren Fahrzeugen könnte dem allerdings entgegenwirken (IEA 2024).

¹¹³ Die Förderung motorisierten Individualverkehrs wird zudem von einer Vielzahl an Studien, unabhängig von der Antriebsart, als problematisch erachtet (Frey et al. 2020; Hennische et al. 2021). Dazu zählen die genannten Aspekte bzgl. **Verkehrssicherheit** für andere Verkehrsteilnehmer*innen, insbesondere bei großen und schweren Pkw. Darüber hinaus beträgt die **Flächeninanspruchnahme** durch Pkw-Verkehr ein Vielfaches von ÖPNV-, sowie Rad- und Fußverkehr. Dies ist insbesondere in verdichteten urbanen Räumen von Bedeutung. Zudem verursacht motorisierter Individualverkehr einen Großteil der **externen Kosten**, die gesamtgesellschaftlich getragen werden und nur in Teilen durch Umstellung auf BEV reduziert werden können (Schröder et al. 2023).

öffentlichen Haushalt ausgezahlten Fördermittel auf rund 10 Mrd. Euro. Hinzu kamen 5,3 Mrd. Euro an Herstellerrabatten.

3.2.2.8 Deutschlandticket

173 Das **Deutschlandticket** wurde als Maßnahme im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2023 zum 01.05.2023 als bundesweit gültiges ÖPNV-Ticket neu eingeführt. Ebenso war es Teil des Sofortprogramms für den Verkehrssektor 2023, welches nach wiederholtem Verfehlen der zulässigen Jahresemissionsmenge im Bundes-Klimaschutzgesetz von der Bundesregierung vorgelegt wurde. Dabei betrug der Preis zur Einführung 49 Euro und wird sich zum 01.01.2025 auf 58 Euro erhöhen. Das Ziel des Tickets ist es, den Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel zu fördern. Die THG-Minderung, die adressierten Handlungsfelder sowie die weiteren Wirkungen des Deutschlandtickets sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

Tabelle 20: Einordnung der Wirkungen der Maßnahme „Deutschlandticket“

Kriterium	Beschreibung
THG-Minderung	<ul style="list-style-type: none"> Die THG-Minderungswirkung des Deutschlandtickets ist bisher unzureichend untersucht. Die Datenlage, auch in den im Folgenden zitierten Studien, ist stark begrenzt. In der ex-ante Abschätzung im Rahmen des Projektionsberichts 2024 (Harthan et al. 2024) ist das Deutschlandticket mit einer direkten Netto-Minderungswirkung⁸² von 0,44 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2030 ausgewiesen. Im Vergleich dazu schätzt M-Five et al. (2023) für das Jahr 2030 eine direkte Netto-Minderungswirkung von 2,8 Mt CO₂-Äq. ERK (2023a) bewertete die Einschätzungen des Projektionsberichts 2023, der zu einer ähnlichen THG-Minderungswirkung wie der Projektionsbericht 2024 kam, als konservativ und vermutlich zu niedrig. Die Abschätzung der THG-Minderung durch M-Five et al. (2023) ordnete der Expertenrat als tendenziell überschätzt ein. Amberg und Koch (2024) berechnen in einer ex-post Analyse, dass die THG-Emissionen durch die Einführung des Deutschlandtickets im ersten Jahr (von Mai 2023 bis einschließlich April 2024) um 6,7 Mt CO₂-Äq. reduziert worden sein könnten. Diese Reduktion durch das Deutschlandticket sei auf eine Reduktion der Verkehrsleistung von Pkw um 7,6 % zurückzuführen. Der methodische Ansatz mit Einbezug einer synthetischen Kontrollgruppe bedeutet, dass hier eine Netto-Maßnahmenwirkung ausgewiesen wird. Datengrundlage der Berechnungen waren Mobilfunkdaten. Jedoch weist Kugoth (2024) auf eine potenzielle Überschätzung der THG-Minderung aufgrund möglicher Schwächen hin, z.B. in der Datengrundlage. Die bisher veröffentlichten, auf unterschiedlichen Methoden und begrenzter Datenlage basierenden Studien machen somit eine Bandbreite der direkten Netto-Minderungswirkung für das Jahr 2030 auf: von konservativen 0,44 Mt CO₂-Äq. (Harthan et al. 2024) bis zu eher optimistischen 2,8 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2030. Weiter weisen Amberg und Koch (2024) eine optimistische direkte Netto-Minderungswirkung von 6,7 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von Mai 2023 bis einschließlich April 2024 aus, die deutlich oberhalb der ex-ante Abschätzungen liegt. Eine umfassende Evaluation des Deutschlandtickets wird Ende des Jahres 2026 erwartet (infas 2024).
Adressierte Handlungsfelder	<ul style="list-style-type: none"> Es bestehen Hinweise, dass das Deutschlandticket die ÖPNV-Nutzungsintensität steigert (VDV und DB 2024) und somit Aktivitäten erhöht. Darüber, wie stark das Deutschlandticket die Aktivitäten im motorisierten Individualverkehr (MIV) senkt, sind sich die zitierten Studien uneinig. So habe die absolute Zahl an ÖPNV-Fahrten laut VDV und DB (2024) im ersten Halbjahr 2024 um 7 % höher gelegen als im gleichen Vorjahreszeitraum. Zudem sei im direkten Vergleich zwischen Nutzenden des Deutschlandtickets und Nutzenden anderer Tickets laut VDV und DB (2024) die durchschnittliche Fahrtenzahl pro Monat um 10 % gestiegen. Wie stark das Deutschlandticket auf eine Reduzierung der Aktivitäten im motorisierten Individualverkehr wirkt, unterscheidet sich in den zitierten Studien.

Kriterium	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> Das Deutschlandticket hat das Potenzial, Aktivitäten im bestehenden Kapitalstock zu verändern und wirkt damit statisch. Es trägt bisher vermutlich noch nicht direkt zum Abbau des fossilen und Aufbau des nicht-fossilen Kapitalstock bei. Das Deutschlandticket könnte jedoch ein zentraler Baustein eines Modal Shifts sein. Jedoch braucht es weitere Maßnahmen, damit ÖPNV für mehr Menschen attraktiv wird, wie z. B. eine Verbesserung der ÖPNV-Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Qualität (Helferich et al. 2024). Möglicherweise bestünden dann auch dynamische Effekte, die eine Veränderung des Kapitalstocks bewirken könnten. Neben strukturellen Aspekten wirken jedoch auch kulturelle und psychologische Aspekte auf die Verkehrsmittelwahl (Hoor 2020).
Soziale Auswirkungen (Akzeptanz und gesellschaftliche Trägerschaft, Einkommen und Vermögen, Energie- und Mobilitätsarmut)	<p>Einkommen und Vermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Motzer et al. (2024) kommen zu dem Ergebnis, dass Nutzende des Deutschlandtickets im Durchschnitt besser gebildet und häufiger vollzeitbeschäftigt sind. Berschin und Böttger (2023) zufolge besteht der größte Teil der Nutzenden des Deutschlandtickets aus Pendelnden, die im Umland von Großstädten wohnen. Die Förderung kommt daher dieser Gruppe zugute, während einkommensarme Personen weniger davon profitierten (Berschin und Böttger 2023). <p>Energie- und Mobilitätsarmut:</p> <ul style="list-style-type: none"> Laut einer Studie der FH Erfurt verbesserte das zeitlich befristete 9-Euro-Ticket den Zugang zum Verkehrssystem, soziale Teilhabe und die Lebensqualität einkommensarmer Menschen (Hille und Gather 2022). Befragte der Studie berichteten von mehr Sozialkontakten, mehr Aktivitäten außer Haus und der besseren Erreichbarkeit der Daseinsvorsorge. Durch die deutliche Steigerung der Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln waren Befragte weniger mit dem Pkw, zu Fuß oder mit dem Fahrrad unterwegs. Die große Mehrheit der Befragten wünschte sich laut Hille und Gather (2022) ein Nachfolgeangebot zum 9-Euro-Ticket. Die Zahlungsbereitschaft der Befragten lag hier im Mittel bei 25 Euro pro Monat und damit deutlich unter den aktuellen und zukünftigen Preisen (49 bzw. 58 Euro) für das Deutschlandticket.
THG-Minderungskosten und ökonomische Auswirkungen (Investitionen, Innovation, Wettbewerbsfähigkeit, Industriestruktur, Beschäftigung)	<p>THG-Minderungskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Für die Finanzierung des Deutschlandtickets sind seit seiner Einführung im Jahr 2023 bis zum Jahr 2025 jährlich 3 Mrd. Euro vorgesehen (Bundesregierung 2023b). Dabei tragen Bund und Länder die Kosten zu gleichen Teilen. Daraus ergeben sich mögliche jährliche THG-Minderungskosten von 448 bis 6 818 Euro pro Tonne CO₂-Äq.¹¹⁴ Jedoch ist hierbei zu berücksichtigen, dass das Deutschlandticket laut Bundesregierung nicht nur eine Klimaschutzmaßnahme darstellt, sondern auch zur finanziellen Entlastung der Bevölkerung beitragen soll (Bundesregierung 2024a). Somit ist ein direkter Vergleich der Fördereffizienzen mit reinen Klimaschutzmaßnahmen nur bedingt möglich. Zudem generiere laut Krämer und Mietzsch (2024) das Deutschlandticket bei einer konservativen Betrachtung einen sogenannten Wohlfahrtsgewinn von knapp 2 Mrd. Euro jährlich. Dieser Wohlfahrtsgewinn ergebe sich bei der Gegenüberstellung der Nutzenkomponenten (Kund*innennutzen, Vermeidung externer Effekte und der zusätzlichen Wertschöpfung) und den Einnahmeverlusten. Er ließe sich laut Krämer und Mietzsch (2024) weiter ausbauen, wenn es gelänge, den Anteil der Neukund*innen oder der Einsteiger*innen in das ÖPNV-System zu erhöhen. Jedoch weisen Krämer und Mietzsch (2024) darauf hin, dass eine Preiserhöhung dazu führen könnte, dass die dynamisch gewachsene Kund*innenzahl schrumpft und die positiven Effekte des Tickets teilweise verloren gehen. Laut Loder et al. (2024) senke das Deutschlandticket die durchschnittlichen Kosten für eine Dauerkarte, vereinfacht die komplexe Struktur der Verkehrsbezirke und Tarifzonen und bietet somit mehr

¹¹⁴ Die Werte ergeben sich aus der Bandbreite der oben genannten THG-Minderungen. Für die Berechnung der THG-Minderungskosten wurde zum einen der Wert von 0,44 Mt CO₂-Äq. für das Jahr 2030 aus Harthan et al. (2024) und zum anderen der Wert von 6,7 Mt CO₂-Äq. für den Zeitraum von Mai 2023 bis einschließlich April 2024 aus Amberg und Koch (2024) genommen.

Kriterium	Beschreibung
	<p>Reisemöglichkeiten, z. B. für Pendelnde zwischen zwei Verkehrsbezirken, die zuvor nicht von einer Dauerkarte gedeckt waren. Dementsprechend reduziert das Deutschlandticket die Transaktionskosten und könnte langfristig einen Modal Shift fördern.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der ÖPNV kann neben dem individuellen Nutzen zusätzlich die gesellschaftlichen externen Kosten vermindern. So sind die externen Kosten pro Personenkilometer beim Auto gegenüber dem ÖPNV ca. siebenmal höher. Eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr hin zum ÖPNV könnte folgende Kostenblöcke reduzieren: Unfälle, Schäden durch vor- und nachgelagerte Prozesse (bspw. Bau und Instandhaltung von Infrastruktur und Fahrzeugen), Klima, Schäden durch Luftschadstoffe, Lärmbelastung, sowie Schäden an Natur und Landschaft (Peiseler et al. 2024).
Weitere Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Das Deutschlandticket könnte laut Berschin und Böttger (2023) einen Anreiz zum Fernpendeln schaffen.

Eigene Darstellung.

174 **Zusammenfassend** ist das **Deutschlandticket** eine im Rahmen des Klimaschutzprogramms neu eingeführte Maßnahme, die die Nutzung von ÖPNV stärken und einen Modal Shift, also die Verkehrsverlagerung von emissionsintensiven auf emissionsärmere Verkehrsmittel, anreizen soll. Die jährliche THG-Minderung des Deutschlandtickets wird, je nach Studie bei jeweils stark begrenzter Datenlage, unterschiedlich hoch eingeschätzt. Es liegen Hinweise auf eine intensivere Nutzung des ÖPNV sowie eine Verringerung der Personenkilometer mit dem Pkw aufgrund des Deutschlandtickets vor. Umfragen deuten darauf hin, dass beim Deutschlandticket tendenziell gebildete Pendelnde aus dem städtischen Umland profitieren. Die soziale Teilhabe einkommensarmer Bevölkerungsgruppen wird aufgrund des Preises tendenziell nicht gestärkt. Das Deutschlandticket adressiert jedoch direkt oder indirekt zahlreiche weitere gesellschaftlich vorteilhafte Aspekte, wie eine Senkung der Transaktionskosten für ÖPNV-Nutzung oder eine Reduzierung der externen Kosten im Verkehr. Langfristig hängt die Wirksamkeit des Deutschlandtickets zur THG-Minderung davon ab, inwiefern Neukund*innen für den ÖPNV gewonnen werden und damit nennenswert zu einem Modal Shift beigetragen wird. Für diesen könnte das Deutschlandticket ein Baustein sein, würde jedoch als einziger nicht ausreichen.

3.3 Zusammenfassende Einordnung zur Wirksamkeit von Maßnahmen

175 Der Expertenrat stellt in Kapitel 3.1 fest, dass die **klimaschutzpolitischen Anstrengungen** in der Periode von 2022 bis 2024 **verstärkt** wurden. Mit Ausnahme des Beschlusses zur Einführung des EU-ETS 2 als marktbasierendes Mengensteuerungsinstrument hat sich der **Instrumentenmix dabei nur geringfügig verändert**. Der Schwerpunkt lag auf der Novellierung oder Neueinführung **fiskalischer sowie regulatorischer Instrumente**.

176 Trotz dieser starken Adressierung des **Aufbaus eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks** für einen Energieträger- und Technologiewechsel – auch durch die zuvor bewerteten Maßnahmen in den Sektoren Industrie (Klimaschutzverträge), Gebäude (BEG, GEG/WPG) und Verkehr (Umweltbonus) – erfolgt jedoch sowohl der Aufbau des neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks, als auch der **Rückbau des fossilen Kapitalstocks** in den Nachfragesektoren in Teilen **zu langsam** bzw. in zu geringem Ausmaß (siehe auch Kapitel 2). Daher findet ein **Energieträger- bzw. Technologiewechsel bisher unzureichend** statt. Insbesondere in den Sektoren Verkehr und Gebäude dominieren nach wie vor Verbrenner-Pkw und fossile Heizungssysteme, auch in den Absatzzahlen. In der Energiewirtschaft ist der Pfad zum Rückbau

über das Kohleausstiegsgesetz (KohleAusG) hingegen angelegt, zudem sind deutliche Rückgänge der fossilen Stromerzeugungskapazität (Steinkohle und Braunkohle) bereits sichtbar (siehe Abbildung A 30). Parallel ist bei den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger aufgrund der neuen Gesetzgebung eine deutliche Beschleunigung festzustellen. Dies zeigt sich in sichtbar steigenden Installationen von Photovoltaik-Anlagen und einer starken Zunahme an Genehmigungen für Windenergieanlagen auf dem Land. Die Emissionshandelssysteme EU-ETS 1 und 2 (bzw. derzeit noch das BEHG) sollten theoretisch den Wechsel auf emissionsärmere Technologien bzw. den Aufbau eines nicht-fossilen Kapitalstocks anregen. Inwiefern dies erfolgt, ist u. a. abhängig von der Höhe der CO₂-Preise und der Verfügbarkeit finanzieller Mittel für Investitionen. Dies trifft sowohl auf private Haushalte als auch Unternehmen zu. Bei Unternehmen, die dem EU-ETS 1 unterliegen, ist für den Aufbau neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks zudem relevant, inwiefern eine mit dem Ziel der Klimaneutralität kompatible Produktion in Deutschland international wettbewerbsfähig ist.

- 177 **Fiskalische Maßnahmen** auf nationaler Ebene zur Förderung des Aufbaus eines neuen, nicht-fossilen Kapitalstocks weisen verschiedene Defizite auf. Hierzu zählen eine teilweise geringe Fördereffizienz, die hohe Abhängigkeit der Maßnahmen von öffentlichen Haushaltsmitteln bzw. dem KTF, ihre nicht durchgängig auf die beste Klimaschutzwirkung abzielende Ausgestaltung, sowie ihre teilweise regressive Verteilungswirkung. Exemplarisch kann hier der Umweltbonus genannt werden. Zwar hat die Maßnahme substantielle THG-Emissionseinsparungen erzielt. Allerdings wurden hierfür mit mehr als 10 Mrd. Euro hohe staatliche Mittel eingesetzt und die Fördereffizienz war relativ gering, insbesondere aufgrund der langjährigen Förderung von Plug-In-Hybriden. Außerdem kam die Förderung vor allem den höheren Einkommensgruppen zugute. Allerdings war der Umweltbonus nicht als reine Klimaschutz-Maßnahme konzipiert, sondern hatte vor dem Hintergrund der Transformation der Automobilindustrie auch eine industriepolitische Dimension.
- 178 Eine substantielle **Reduktion und Veränderung der Aktivitäten** wurde in den vergangenen Jahren lediglich im Industriesektor beobachtet. Dies war vor allem auf hohe Energiepreise sowie konjunkturell und strukturell bedingte Produktionsrückgänge (SVR Wirtschaft 2024b), aber auch auf Preisaufschläge auf fossile Energieträger durch den EU-ETS 1 zurückzuführen. **Verhaltensbasierte Minderungspotenziale**, also eine klimaschutzpolitisch gezielt adressierte Reduktion und Veränderung der Aktivitäten in den Nachfragesektoren Gebäude und Verkehr, werden durch das BEHG und perspektivisch den EU-ETS 2 sowie auch das Deutschlandticket adressiert. In welcher Höhe das Deutschlandticket zu einer Verringerung der Aktivitäten im motorisierten Individualverkehr beitrug, ist nach derzeitigem Kenntnisstand noch unklar. Preis- und mengensteuernde Instrumente, wie der Emissionshandel, haben ebenfalls das Potenzial, effizienteres und energiesparendes Verhalten anzureizen. Inwiefern ein Wechsel auf klimafreundliche Alternativen erfolgt, ist jedoch auch abhängig von der Verfügbarkeit und Attraktivität der Alternativen bzw. dem Ausbau der entsprechenden Infrastruktur. Zudem wurden keine klimaschutzpolitischen Maßnahmen identifiziert, die bedeutsam und umfassend auf eine Vermeidung von Verkehr abzielen. Im Gegensatz dazu ist der Ausbau von Verkehrsinfrastruktur, insbesondere der Ausbau von Straßen, häufig mit einer verkehrsinduzierenden Wirkung verbunden (Verron et al. 2005).
- 179 Darüber hinaus wird das **Erreichen der nationalen ESR-Ziele** durch den Übergang vom BEHG auf den EU-ETS 2 allein **nicht sichergestellt**. Daher sind zusätzliche Maßnahmen notwendig, um die Einhaltung der Ziele in Deutschland zu gewährleisten. Eine begleitende politische Instrumentierung des EU-ETS 2 wird auch erforderlich sein, um spezifische Hemmnisse z. B. im Bereich der Infrastruktur oder zur Vermeidung von Lock-in-Effekten zu adressieren. Dies kann ein höherer CO₂-Preis allein nicht leisten. Zudem ist es notwendig, die sozialen und wettbewerblichen Folgen von hohen CO₂- und

Brennstoffpreise abzufedern. Dies ist wichtig, sowohl um die gesellschaftliche Unterstützung als auch die wirtschaftliche Stabilität zu bewahren und soziale Härten zu vermeiden. Die Höhe des Preises im EU-ETS 2 und damit die Auswirkungen werden auch maßgeblich von den komplementären Maßnahmen in den Mitgliedsländern bestimmt. Da Deutschland den größten Anteil an Emissionen im EU-ETS 2 hat, haben entsprechende Maßnahmen in Deutschland einen großen Einfluss auf den europaweiten Preis.

- 180 Für die Industrie besteht wegen der Bepreisung von Emissionen im EU-ETS 1 vor allem die Herausforderung einer **möglicherweise geringeren internationalen Wettbewerbsfähigkeit** aufgrund steigender Produktionskosten durch Energiepreise. Dies kann theoretisch zu geringerer wirtschaftlicher Aktivität bzw. einer (Teil-)Verlagerung der Produktion ins Ausland führen (Carbon Leakage). Um diese Auswirkungen abzufedern, wurden u. a. der CBAM auf EU-Ebene sowie die Klimaschutzverträge eingeführt. Inwiefern diese Maßnahmen negative Verteilungswirkungen in der Industrie perspektivisch vermindern können, ist derzeit noch unklar. Dies gilt insbesondere für die Produzenten, die CO₂-intensive Grundstoffe und Güter aus der EU exportieren, da Exporte vom CBAM nicht erfasst werden und die kostenlose Zuteilung der Emissionszertifikate perspektivisch ausläuft. Auf der anderen Seite wurden für die EEW jedoch auch potenziell positive Verteilungswirkungen aufgrund von Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen identifiziert.
- 181 Private Haushalte sind insbesondere in den Nachfragesektoren Gebäude und Verkehr von negativen Verteilungswirkungen verschiedener Maßnahmen betroffen. Denn einige der in diesen Sektoren analysierten Maßnahmen weisen ein **soziales Ungleichgewicht** auf. So wurden bisher primär einkommensstarke Haushalte gefördert (Umweltbonus und BEG). Durch die geänderten Förderbedingungen in der BEG 2023 (Bonus für Haushalte mit unteren und mittleren Einkommen) wurde allerdings bereits ein Einstieg in eine sozial differenzierte Förderung vorgenommen. Darüber hinaus wirkt die CO₂-Bepreisung der beiden europäischen Emissionshandelssysteme EU-ETS 1 und vor allem des EU-ETS 2 ohne Lastenausgleich regressiv. Daher sind Mechanismen zur sozialen Abfederung bzw. Rückverteilung relevant, wie auch Programme, die dezidiert einen Energieträger-/Technologiewechsel für Haushalte mit unteren und mittleren Einkommen fördern. Energiearmut wurde bisher nicht explizit im nationalen Maßnahmenmix der Klimaschutzpolitik adressiert, sondern überwiegend mittels rein sozialpolitischer Maßnahmen. Mit der Einführung des EU-ETS 2 in Verbindung mit dem Klima-Sozialfonds sowie der Novellierung der EED stellt die EU jedoch neue Anforderungen an Deutschland. Diese zielen darauf ab, Energie- und Mobilitätsarmut systematisch zu identifizieren und verstärkt auch im Rahmen des klimaschutzpolitischen Instrumentariums zu adressieren. Im folgenden Kapitel werden beispielhaft einige Maßnahmen zur Adressierung negativer Verteilungswirkungen diskutiert.

3.4 Exkurs: Maßnahmenbeispiele zur Adressierung sozialer Verteilungswirkungen

- 182 Aus dem derzeitigen Klimaschutzpolitischen Instrumentenmix resultierende **Verteilungsfragen** stellen sich sowohl mit Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit und damit das Wachstum der Industrie, und hier insbesondere der energieintensiven Branchen, als auch mit Blick auf vulnerable Gruppen innerhalb der Gesellschaft, zu denen neben einkommensarmen Haushalten auch kleinere Unternehmen zählen können.¹¹⁵ Die globale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen in Deutschland ist laut aktuellen Studien und Gutachten aufgrund mehrerer struktureller Probleme gefährdet (Draghi 2024; SVR Wirtschaft 2024b). Diese resultieren unter anderem aus hohen Energie- und insbesondere Strompreisen, sowie aus den Transaktionskosten, die aus energie- und Klimaschutzpolitischen Regulierungen resultieren. Dies gilt nicht nur für Unternehmen mit einer hohen Energieintensität und entsprechend überdurchschnittlichem Anteil an Energiekosten, sondern vermutlich auch für Kleinunternehmen, wobei deren mögliche Betroffenheit durch hohe Energiepreise aufgrund bisher unzureichender Datenlage nicht eindeutig festzustellen ist (Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring 2024). Als erster Schritt wird hier u. a. eine dauerhafte Absenkung der Stromsteuer für alle Verbrauchergruppen auf das jeweils europarechtlich zulässige Mindestniveau empfohlen (Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring 2024). Im Kontext der geänderten geopolitischen und geoökonomischen Randbedingungen stellen sich bezüglich der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen aber noch viele weitere Fragen, die im Rahmen dieses Gutachtens nicht weiter vertieft werden.
- 183 Bei der Betrachtung der Verteilungswirkung für die privaten Haushalte ist ein wichtiger Aspekt, dass die Gefahr eines fossilen Lock-Ins für Teile der Gesellschaft besteht, wenn die Transformation nicht für die gesamte Bevölkerung ermöglicht wird. Vor allem Menschen mit geringem Einkommen können sich dann nicht aus der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern lösen und sind aufgrund der CO₂-Bepreisung zunehmend von steigenden Kosten betroffen (siehe hierzu Kapitel 3.2, Infokasten 7 und Infokasten 9). Die Betrachtung **sozialer Auswirkungen der Klimapolitik** ist damit unerlässlich. Um diese Effekte zu adressieren, sind verschiedene Politikansätze möglich. Dazu gehören der Ausbau einer mit den Treibhausgasminderungszielen kompatiblen öffentlichen Infrastruktur und Daseinsvorsorge, sozial differenzierte Förderprogramme, regulatorische Maßnahmen sowie direkte finanzielle Kompensation. Im Zusammenspiel können diese Bausteine dazu beitragen, dass alle Bevölkerungsgruppen an der Transformation zu einer klimaneutralen Gesellschaft teilhaben können (Holzmann und Wolf 2023; Knopf et al. 2024).
- 184 Mit Blick auf **vulnerable Gruppen** zielt der derzeitige Instrumentenmix der Klimaschutzpolitik in Deutschland bisher nur wenig auf die Gestaltung einer sozial gerechten Transformation ab. Diese ist wiederum entscheidend für die Akzeptanz der Maßnahmen. Bisher werden soziale Belange, darunter insbesondere auch **Energiearmut** (siehe Kapitel 3.2.1, Infokasten 7), nur in wenigen Maßnahmen berücksichtigt. Neben dem schon lange laufenden bundesweiten Stromspar-Check, einem Beratungsprogramm für einkommensärmere Haushalte, das aus der Nationalen Klimainitiative finanziert wird, soll der neu in die BEG eingeführte Förderbonus für Haushalte mit geringem Einkommen in selbstgenutzten Gebäuden Fördermittel mit einer höheren sozialen Ausgewogenheit verteilen (siehe

¹¹⁵ Kleinunternehmen, d. h. Unternehmen mit weniger als 10 Beschäftigten und einem jährlichen Umsatz unter 2 Mio. Euro sollen neben vom EU-ETS 2 betroffenen Haushalt ebenfalls durch den europäischen Klima-Sozialfonds adressiert werden (Europäische Kommission 2023e; Ludden et al. 2024).

Tabelle 17). Überwiegend werden die Förderprogramme im Gebäude- und Verkehrsbereich jedoch von einkommens- und vermögensreicheren Haushalten in Anspruch genommen. Mit Abstrichen gilt dies auch für das Deutschlandticket (siehe Tabelle 20). Die Vulnerabilität einkommensarmer Gruppen bezüglich hoher Energiekosten wurde demgegenüber bisher in Deutschland überwiegend durch Maßnahmen der Sozialpolitik adressiert und nicht als Teil der Energie- und Klimapolitik betrachtet (Noka und Cludius 2021). Durch Vorgaben in der im Jahr 2023 novellierten EED sind in den kommenden Jahren jedoch weitere Anpassungen im Instrumentenmix zu erwarten. Diese ergeben sich zum einen aus der Anforderung, von Energiearmut betroffene Gruppen bei der Erreichung von Energieeinsparungen dezidiert zu berücksichtigen. Zum anderen beinhaltet der europäische Klima-Sozialfonds die Anforderung, vom EU-ETS 2 besonders betroffene vulnerable Gruppen mit entlastenden Maßnahmen zu unterstützen (siehe Infokasten 7). Auch hier gibt es Beispiele für bereits implementierte Maßnahmen aus anderen Ländern. So zielt das im Jahr 2024 in Frankreich eingeführte Social Leasing für Elektrofahrzeuge darauf ab, einkommensärmeren Haushalten den Zugang zu Elektrofahrzeugen in kleineren und günstigeren Fahrzeugsegmenten zu erleichtern (Service-Public.fr 2023). Auch die in vielen Mitgliedstaaten implementierten Energieeffizienzverpflichtungssysteme beinhalten häufig Quoten für die Berücksichtigung einkommensarmer Haushalte bei der Förderung (Blanck und Zimmer 2021; Schломann et al. 2021).

- 185 Die stärkere Berücksichtigung vulnerabler Gruppen im Instrumentenmix bildet aber nur einen Teil dessen ab, was erforderlich ist, um die Transformation zur Erreichung der Klimaschutzziele gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz sozial gerecht zu gestalten. Mit dem **Ausbau von und Investitionen in Infrastruktur** kann der Zugang zu und die Attraktivität von emissionsärmeren Alternativen gefördert werden (Knopf et al. 2024; Beermann et al. 2021). Das kann beispielsweise die Nutzung des ÖPNV statt motorisierten Individualverkehrs sein oder Fernwärmenutzung statt einer Gasheizung. Die Veränderung der Verkehrsinfrastruktur und eine konkrete Wärmeplanung sind besonders relevant, um für private Haushalte über alle Gruppen hinweg emissionsärmere Alternativen zu ermöglichen (Behr et al. 2024). Positive Auswirkungen klimafreundlicher Infrastruktur sind z. B. Gewinne im Bereich Gesundheit (reduzierte Luftschadstoffe und Lärmbelastung, körperliche Aktivität im Rad- und Fußverkehr). Dies ist insbesondere auch für Menschen mit geringem Einkommen von Mehrwert, da diese aufgrund niedriger Miet- oder Kaufpreise häufiger an großen und lauten Straßen wohnen.
- 186 Neben den genannten Bausteinen wird insbesondere für Haushalte mit geringem und mittlerem Einkommen eine **Kompensation bei hohen CO₂-Preisen** diskutiert (Knopf et al. 2024). Die existierenden (EU-ETS 1, BEHG) sowie perspektivischen (EU-ETS 2) CO₂-Bepreisungssysteme führen zu Mehrbelastungen von Haushalten für Güter und Dienstleistungen, die es aufgrund der bislang fehlenden Internalisierung externer Umweltkosten, in dem Falle von CO₂, so nicht geben würde. Verschiedene Aspekte sind für die gesellschaftliche Unterstützung einer solchen CO₂-Bepreisung relevant. So werden insbesondere die wahrgenommene Fairness und Effektivität eines CO₂-Preises (Bergquist et al. 2022), aber auch die wahrgenommene persönliche finanzielle Belastung und prozedurale Fairness (Maestre-Andrés et al. 2019) damit assoziiert. Ein Lastenausgleich, der sowohl die persönliche finanzielle Belastung vermindert, gleichzeitig jedoch als fair wahrgenommen wird, könnte daher ein zentraler Baustein für die Akzeptanz einer durch ein Emissionshandelssystem, das den größten Teil der THG-Emissionen abdeckt, geprägten Klimapolitik sein. Hierfür wird zum Beispiel die Einführung eines (sozial gestaffelten oder pro Kopf ausgezahlten) Klimageldes diskutiert. Das Klimageld dient der Rückverteilung der Einnahmen aus dem CO₂-Preis an die Bevölkerung. Durch ein pauschales Pro-Kopf-Klimageld mit einer Rückverteilung in gleicher Höhe an alle Personen ergibt sich im Durchschnitt eine progressive Verteilungswirkung des CO₂-Preises, da Haushalte mit geringem Einkommen durchschnittlich einen niedrigeren CO₂-Fußabdruck haben als Haushalte mit höherem

Einkommen (siehe Bach et al. 2024; Endres 2023; Held 2022; Preuss et al. 2019). Für eine sozial differenzierte Auszahlung schlagen Bach et al. (2024) vor, das Klimageld über Lohn- und Einkommenssteuer für Personen mit hohen Einkommen linear zu verringern. Zu beachten ist allerdings, dass es innerhalb der Einkommensdezile große Unterschiede gibt, vor allem im Gebäudebereich (Endres 2023; Kellner et al. 2023), die durch ein einkommensgestaffeltes Klimageld nicht ausreichend adressiert werden. Da im Jahr 2027 der EU-ETS 2 startet, ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die Ausgaben aus den daraus eingenommenen Mitteln bestimmten Vorgaben entsprechen müssen (siehe hierzu Tabelle 14 (Fiedler et al. 2024; Behr et al. 2024)).

- 187 Insbesondere für vulnerable oder von Energiearmut betroffene Haushalte sollte der Wechsel zu emissionsärmeren und dadurch auch günstigeren Alternativen möglich sein, ohne finanziell überfordert zu werden. Eine **zielgerichtete Förderpolitik**, die Einkommen und Vermögen der Geförderten berücksichtigt, hilft, besonders diejenigen zu unterstützen, die sich Maßnahmen wie die Anschaffung eines Elektroautos, einen Heizungstausch oder die Sanierung eines Gebäudes nicht leisten könnten (Knopf et al. 2024). In der BEG (siehe Tabelle 17) gilt seit 2024 ein nach Einkommen gestaffeltes Förderkonzept, sodass für Haushalte mit einem zu versteuernden Einkommen von bis zu 40 000 Euro bis zu 30 % mehr der anfallenden Gesamtkosten eines Heizungstauschs gefördert werden können (Braungardt et al. 2023a). Auch Maßnahmen, wie ein mit einer sozialen Komponente ausgestaltetes Bonus-Malus-System oder Social Leasing sind mögliche Maßnahmen, die Haushalte mit geringem oder mittlerem Einkommen fördern. Dabei zielt das im Jahr 2024 in Frankreich eingeführte Social Leasing für Elektrofahrzeuge darauf ab, einkommensärmeren Haushalten den Zugang zu Elektrofahrzeugen in kleineren und günstigeren Fahrzeugsegmenten zu erleichtern (Service-Public.fr 2023). Mit einem Bonus-Malus-System für Pkw, wie es bereits in Frankreich, den Niederlanden, Portugal oder Schweden implementiert ist, werden emissionsintensivere Fahrzeuge über einen Malus sanktioniert und emissionsärmere oder -freie mit einem Bonus belohnt (siehe z. B. Blanck und Zimmer 2021). Bei der Ausgestaltung können EKM (2024) zufolge Faktoren berücksichtigt werden, die emissionsmindernd wirken (wie Obergrenzen bezüglich des Gewichts oder des Verbrauchs der Fahrzeuge) oder auch solche, die speziell untere und mittlere Einkommensgruppen adressieren (wie Obergrenzen bezüglich des Kaufpreises und des Einkommens der geförderten Personen). Auch ein Energieeffizienzverpflichtungssystem (Weiße Zertifikate), wie es mittlerweile in rund 20 Mitgliedstaaten der EU zur Umsetzung der Energieeinsparverpflichtung nach Artikel 8 EED oder auch in rund der Hälfte der US-Bundesstaaten etabliert wurde, gehört zur Gruppe von Instrumenten, mit denen die finanzielle Förderung von Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen in privaten Haushalten und Unternehmen mit speziellen Vorgaben für einkommensarme Haushalte verknüpft werden kann. Beide Maßnahmen haben darüber hinaus den Vorteil, dass ihre Finanzierung bei entsprechender Ausgestaltung haushaltsneutral (bei einem Bonus-Malus-System) bzw. unabhängig von öffentlichen Haushalten erfolgen könnte. Denn die Finanzierung eines Weiße-Zertifikate-Systems erfolgt üblicherweise über eine Umlage der Kosten der verpflichteten Unternehmen (i.d.R. Energieversorger oder Netzbetreiber) auf die Energiepreise (siehe z. B. Schlomann et al. 2021).
- 188 Als flankierende Maßnahmen bieten **regulatorische Instrumente**, wie beispielsweise das GEG, hier den Rahmen für Verpflichtungen beim Austausch von Heizsystemen oder Gebäudesanierungen (siehe hierzu Tabelle 18) und können dabei einkommensarme Mietshaushalte vor zukünftig starken finanziellen Belastungen durch den CO₂-Preis schützen. Dafür bedarf es jedoch entsprechender finanzieller Unterstützung dieser Haushalte. Ein weiteres Beispiel für Regulierung, die eine sozial gerechte Transformation ermöglicht, ist das CO₂-Kostenaufteilungsgesetz, das auch das Mieter-Vermieter-Dilemma adressiert. Zudem könnte die Modernisierungsumlage dahingehend angepasst werden, dass Warmmieten für Mietende bei Sanierungen nicht steigen (Behr et al. 2024; Mellwig 2024).

189 Eine zentrale Frage bei der Adressierung sozialer Verteilungswirkungen sind die **Kosten, die auf die Haushalte zukommen und wie diese möglicherweise durch Ausgleichsmechanismen umverteilt werden**. Dabei ist zwischen den Anschaffungs-, Betriebs- und Umweltkosten zu unterscheiden. Bei den Kosten für verschiedene Heiz- oder Antriebssysteme (fossil vs. nicht-fossil) sind bei der betriebswirtschaftlichen Berechnung beispielweise die politische Rahmensetzung über staatliche Vergünstigungen (siehe Infokasten 6 und RZ 187), der CO₂-Preis (siehe Kapitel 3.2.2.2) und die Preisentwicklung verschiedener Technologien sowie der Energiequellen in die Berechnung einzubeziehen. Ob die Gesamtkosten für ein klimaneutrales System für die privaten Haushalte auf längere Sicht teurer oder günstiger sind als in einem fossilen System, das die externen Effekte seines Betriebs in den Kosten berücksichtigt, ist derzeit nicht eindeutig bestimmbar. Allerdings ist davon auszugehen, dass die zunehmende Internalisierung von Umweltkosten bei den privaten Haushalten in Verbindung mit den Anschaffungs- und Betriebskosten eines neuen klimaneutralen Systems insgesamt zu steigenden privaten Ausgaben gegenüber dem Status Quo aus Sicht der Haushalte führen wird, vor allem bei der Versorgung mit Wärme. Aufgrund der heterogenen finanziellen Ausgangslage der privaten Haushalte stellt sich daher die Frage, wie mögliche betriebswirtschaftliche Mehrkosten in der Gesellschaft umverteilt werden. Ein solcher Lastenausgleich von schwächeren zu stärkeren Schultern könnte die soziale Verträglichkeit der Transformation erhöhen und damit ein Baustein für die gesellschaftliche Akzeptanz sein. Neben der Kostenbelastung ist auch der Zugang zu Kapital entscheidend für die Ermöglichung von Transformationsinvestitionen. Insbesondere einkommens- und vermögensarme Haushalte benötigen Unterstützung in dieser Hinsicht. Sowohl bezüglich des Lastenausgleichs als auch der Unterstützung von Investitionen müssten voraussichtlich erhebliche staatliche Mittel eingeplant werden. Die Verfügbarkeit solcher Mittel auf der Einnahmenseite der Finanzen wird damit zu einer zentralen Größe für die Abschätzung, in welchem Umfang die angestrebte Transformation volkswirtschaftlich zu realisieren ist. Die Investitionsvolumina für die Transformation werden im nachfolgenden Kapitel 4 vertieft analysiert.

Teil II: Weiterführende Betrachtungen

4 Investitionen zum Aufbau eines klimaneutralen Kapitalstocks

- 190 Die Transformation des Kapitalstocks hin zu einem klimaneutralen System (siehe RZ 16) geht mit relevanten **Investitionsvolumina** einher, die durch die Ausgestaltung und Umsetzung der Transformation (also z. B. das Verhältnis von Strom- und Wasserstofftransmissionen in den Energienetzen) maßgeblich bestimmt werden. Hierbei spielen auch die bisherigen Entwicklungen in den Sektoren sowie eine mögliche Verfehlung der Klimaschutzziele im Jahr 2030 eine entscheidende Rolle, da sie Ambitionsniveau und Geschwindigkeit der Transformation mitbestimmen. Die Höhe und Einordnung dieser Investitionsvolumina sind Gegenstand dieses Kapitels. Dabei wird nicht nur der in gegenwärtigen Studien diskutierte projizierte Umfang der Investitionsvolumina für die Transformation von einem fossilen zu einem nicht-fossilen Kapitalstock eingeordnet, sondern auch die finanziellen Möglichkeiten der Volkswirtschaft im Allgemeinen und des Staats im Besonderen, diese Transformation tatsächlich zu realisieren.
- 191 Die Analysen der Trends hinsichtlich der Entwicklung der sektorenübergreifenden und sektorenspezifischen Treibhausgasemissionen in Kapitel 2 geben Hinweise darauf, dass das **Erreichen der Klimaschutzpolitischen Ziele mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist**. Bei einer einfachen Fortschreibung des historischen Trends der Jahre 2014 bis 2023 zeigt sich in der Tendenz, dass das sektorenübergreifende Treibhausgasbudget (ohne LULUCF) der Jahre 2021 bis 2030 um 151 Mt CO₂-Äq. (2,4 %) überschritten werden würde (siehe Abbildung 2). Auch das Ziel im Jahr 2030 von 438 Mt CO₂-Äq. würde gemäß der Trendfortschreibung nicht eingehalten, sondern um 80 Mt CO₂-Äq. überschritten werden. Die Projektionsdaten 2024 (UBA 2024m) kommen zwar zu dem gegenteiligen Ergebnis, dass die Summe der Jahresemissionsgesamtmengen in dem Zeitraum von 2021 bis 2030 mit einem Puffer von insgesamt 47 Mt CO₂-Äq. unterschritten würde. In seiner Stellungnahme (ERK 2024a) teilt der Expertenrat dieses Ergebnis jedoch nicht: „[der Expertenrat für Klimafragen kommt] zu der Bewertung, dass die Projektionsdaten 2024 die THG-Emissionen in den Sektoren Energie, Gebäude und Verkehr sowie – mit Einschränkungen – der Industrie im Vergleich zu einem 50/50-Emissionspfad unterschätzen“. Bei Betrachtung der unterschiedlichen Handlungsfelder (Aktivitäten, Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks sowie dem Aufbau des nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks) zeigt sich, dass sich in den Jahren seit 2021 zwar der Aufbau des neuen nicht-fossilen/emissionsarmen Kapitalstocks in einigen Bereichen entsprechend der politischen Ziele entwickelt hat (so z. B. der Zubau von Photovoltaik in der Energiewirtschaft). Der Rückbau des fossilen/emissionsintensiven Kapitalstocks verläuft jedoch sektorenübergreifend eher schleppend (siehe Kapitel 2.9). Der festgestellte Rückgang der Aktivitäten kann neben einer günstigen Temperaturentwicklung und den Auswirkungen der Covid-19-Pandemie vor allem auf konjunkturelle und strukturelle Probleme der deutschen Volkswirtschaft zurückgeführt werden (SVR Wirtschaft 2024b). Letztere ist teilweise von äußeren Ereignissen, wie insbesondere dem Krieg in der Ukraine, verstärkt worden.

4.1 Methodische Einordnung zur Projektion von Investitionsvolumina

- 192 Der Expertenrat hat in einer **umfassenden Literaturanalyse** 13 Studien identifiziert, die in Gänze oder in Teilen den Umfang der Investitionsvolumina abschätzen, die für die Transformation hin zu einem klimaneutralen Kapitalstock in Deutschland bis zum Jahr 2030 notwendig sind.¹¹⁶ Die in das Gutachten einbezogenen Studien zeigen, dass für die Transformation unter den getroffenen Annahmen erhebliche Investitionsvolumina projiziert werden. Für die Gegenüberstellung der projizierten Investitionsvolumina wurde zur Vergleichbarkeit eine Preisbereinigung mit Hilfe des BIP-Deflators mit dem Basisjahr 2023 durchgeführt.¹¹⁷
- 193 Der Expertenrat stellt fest, dass sich die **Herangehensweisen** sowohl hinsichtlich der Annahmen als auch hinsichtlich der Methodik **zwischen den betrachteten Studien teils deutlich unterscheiden**.¹¹⁸ Insgesamt sind die Ergebnisse verschiedener Studien daher nicht unmittelbar miteinander vergleichbar. Zum einen liegen den Projektionen unterschiedliche **Annahmen** zum Erhalt der sozialen, ökonomischen und ökologischen Leistungsfähigkeit der Gesellschaft sowie der Struktur des zukünftigen Kapitalstocks zugrunde. Die nachfolgend untersuchten Projektionen von Investitionsvolumina basieren in den analysierten Studien oftmals auf sogenannten Klimaneutralitätsszenarien, welche analytisches Orientierungswissen für eine mögliche techno-ökonomische klimazielkompatible Ausgestaltung des Energiesystems¹¹⁹ bereitstellen. In acht Fällen beruhen die hier berücksichtigten Studien zur Abschätzung der Transformationsinvestitionen auf den „Big 5“-Klimaneutralitätsszenarien.¹²⁰ Eine Zuordnung zwischen der jeweiligen Klimaneutralitätsstudie und den berücksichtigten Studien zur Ermittlung der Transformationsinvestitionen zeigt Tabelle A 14 im Anhang.
- 194 Zum anderen gibt es vielfältige **methodische Differenzen** zwischen den Studien. Ein wichtiger methodischer Unterschied der untersuchten Studien liegt im betrachteten Investitionsaggregat. Die Studien beziehen sich auf Gesamtinvestitionen, Transformationsinvestitionen oder Mehrinvestitionen (siehe Abbildung 28). Unter **Gesamtinvestitionen** wird die Gesamtsumme der in einer Volkswirtschaft

¹¹⁶ Kriterien für die Auswahl der einzubeziehenden Studien waren quantifizierte oder nachträglich quantifizierbare Investitionsvolumina, eine zeitliche Abdeckung bis mindestens 2030 bzw. 2030 als Stützjahr, sektorenübergreifende oder sektorale Abdeckung (analog zum Bundes-Klimaschutzgesetz, mindestens ein Sektor) und eine originäre Quantifizierung (d. h. keine Mittelung dritter Studien). Für eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens und einen Überblick über die berücksichtigten Studien siehe Kapitel A.6. Studien, die nach Oktober 2024 veröffentlicht wurden, konnten mit Ausnahme der sozio-ökonomischen Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2024 (UBA 2024I) nicht mehr berücksichtigt werden.

¹¹⁷ Die Daten für den BIP-Deflator stammen aus Destatis (2024k). Wie bei Heilmann et al. (2024) erläutert, ist aufgrund dieses Vorgehens eine Unterschätzung der Investitions- bzw. Finanzierungsvolumina möglich. Der Grund hierfür ist, dass die Baukosten einen bedeutenden Anteil der Investitionen ausmachen können, und diese stärker angestiegen sind als der BIP-Deflator. Zusätzlicher Hinweis: Wo kein Preisbasisjahr angegeben war, wurde das Veröffentlichungsjahr der Studie verwendet.

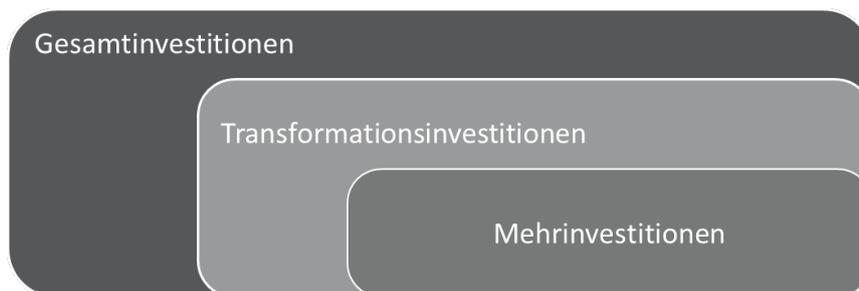
¹¹⁸ Die Stichhaltigkeit der Abschätzungen und Annahmen konnte der Expertenrat im Rahmen dieses Gutachtens nicht im Einzelnen überprüfen.

¹¹⁹ Der Fokus der Studien ist meist auf der Energiebereitstellungs- und Verwendungsseite. Die Sektoren Landwirtschaft, LULUCF und Abfallwirtschaft und Sonstige werden meist nicht modellendogen berücksichtigt, sondern über exogene Annahmen.

¹²⁰ Die Studien finden in den Untersuchungen des Expertenrats als Benchmark für die Indikatoren Anwendung (siehe Kapitel 2). Die Szenarien bilden mittels mathematischer Modelle unter Berücksichtigung der Treibhausgasminderungsziele und/oder Budgets meist techno-ökonomische, kostenoptimale Transformationspfade ab, die eine Zukunft unter vielen möglichen darstellen. Einen besonderen Stellenwert innerhalb der Klimaneutralitätsszenarien haben die Langfristszenarien, die von der Bundesregierung beauftragt werden, und als Grundlage der Systementwicklungsstrategie dienen. Mit der Systementwicklungsstrategie wird laut BMWK ein sektorenübergreifendes Leitbild und eine robuste Strategie für die Transformation des Energiesystems entwickelt (BMWK 2024e).

getätigten Bruttoanlageinvestitionen verstanden. Die **Transformationsinvestitionen** sind die Teilmenge der Gesamtinvestitionen, die zur Realisierung eines zukünftigen, klimaneutralen Kapitalstocks projiziert werden.¹²¹ Diese lassen sich wiederum aufteilen in Investitionen, die laut der Modellierung ohnehin getätigt werden würden (**Ohnehin-Investitionen**) und Investitionen, die über dieses Maß hinausgehen (**Mehrinvestitionen**). Unter die Transformationsinvestitionen fallen zum Beispiel die gesamten Kosten einer in der Modellierung enthaltenen neuen Wärmepumpe. Mehrinvestitionen enthalten demgegenüber nur die Differenz zwischen den Investitionskosten in eine Wärmepumpe und den Investitionskosten in eine (zum Beispiel aus Altersgründen) ohnehin notwendig werdende neue fossile Heizung.

Abbildung 28: Qualitativer Überblick über die Investitionsaggregate



Eigene Darstellung basierend auf Burret et al. (2021).

195 Die **Abgrenzung zwischen den verschiedenen Investitionsaggregaten** gemäß Abbildung 28 ist nicht immer eindeutig und kann sich daher zwischen den Studien unterscheiden. Bei der Abgrenzung zwischen Gesamtinvestitionen und Transformationsinvestitionen ist maßgeblich, welche Investitionstätigkeiten dem Ziel der Transformation als dienlich zugeschrieben werden (siehe auch Fluchs et al. 2022, für eine Begriffsdiskussion). Bei der Abgrenzung zwischen Transformationsinvestitionen und Mehrinvestitionen spielen Annahmen darüber, welche Investitionen ohnehin getätigt würden, eine entscheidende Rolle. Oft wird dieses mithilfe eines Business-As-Usual-Szenarios abgeschätzt.

196 Bei der Einordnung der Auswirkungen der Transformationsinvestitionen auf die wirtschaftliche Entwicklung ist zwischen **Brutto- und Nettoanlageinvestitionen** zu unterscheiden (siehe auch SVR Wirtschaft 2024b). Die einbezogenen Studien betrachten explizit Bruttoanlageinvestitionen. Bruttoanlageinvestitionen enthalten alle Investitionen in Sachanlagen, immaterielle Vermögenswerte und Infrastrukturprojekte und dabei sowohl Erweiterungsinvestitionen als auch Ersatzinvestitionen für vorhandene Infrastruktur und Anlagen. Abschreibungen werden in den Bruttoanlageinvestitionen nicht berücksichtigt. Für den Wertzuwachs der Volkswirtschaft sind dagegen die Nettoanlageinvestitionen entscheidend, die sich aus den Bruttoanlageinvestitionen abzüglich der Abschreibungen berechnen. Diese schwankten in den letzten zwei Jahrzehnten um null (SVR Wirtschaft 2024b; Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose 2024). Im Rahmen der Transformation hin zu einem klimaneutralen Kapitalstock kann es vermehrt zu vorzeitigen Ersatzinvestitionen kommen. Dies kann mit vorzeitigen

¹²¹ Häufig wird der Begriff genutzt, um auch Investitionen in anderen Bereichen, wie Klimafolgenanpassung, Bildung oder (Instandhaltung der) Infrastruktur zu beschreiben. Das ist hier explizit nicht der Fall: lediglich Investitionen zum Erreichen der Klimaneutralität werden betrachtet.

Abschreibungen vor der ursprünglich angesetzten wirtschaftlichen Laufzeit einhergehen. Dabei spielt zum einen eine Rolle, dass sich durch die Internalisierung der externen Effekte aus Anlagen, die THG-Emissionen emittieren, die wirtschaftliche Laufzeit dieser Anlagen verkürzen kann. Eine solche Internalisierung wird beispielsweise durch die CO₂-Bepreisung angestrebt. Zum anderen können vorzeitige Ersatzinvestitionen ordnungspolitisch oder durch Förderungen als Vorzieheffekt (siehe Kapitel 3) herbeigeführt werden.¹²² Im Fall von vorzeitigen Ersatzinvestitionen würden höheren Bruttoanlageinvestitionen nicht zwangsläufig in gleichem Maße höhere Nettoanlageinvestitionen gegenüberstehen. Ob die Umsetzung der projizierten Investitionen zu einer Erhöhung der Nettoanlageinvestitionen führen würde, wird in den betrachteten Studien nicht untersucht.

197 Für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Volkswirtschaft (siehe Kap. 5) ist die **Kapitalproduktivität** des Kapitalstocks von entscheidender Bedeutung. Die Kapitalproduktivität beschreibt die Effizienz des genutzten Kapitalstocks und errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen Produktionsoutput und eingesetztem Kapital. Da neuere Kapitaljahrgänge bedingt durch Innovationen meist eine höhere Produktivität haben, kann eine aufgrund von Ersatzinvestitionen erfolgte schnellere Modernisierung des Kapitalstocks die Nutzung produktiverer Technologien ermöglichen (SVR Wirtschaft 2023). Aus diesem Grund sieht SVR Wirtschaft (2023) in vermehrten vorgezogenen Abschreibungen und daraus resultierenden Ersatzinvestitionen das Potenzial, die Kapitalproduktivität zu erhöhen. Sie weisen zudem darauf hin, dass eine Verzögerung der Transformation zu deutlich mehr vorzeitigen Ersatzinvestitionen und somit insgesamt höheren Investitionsbedarfen führt, da länger in fossilen Kapitalstock investiert wird. In der Energiewirtschaft gehen die Transformationsinvestitionen jedoch in der Regel mit erheblichen Investitionen in die Infrastruktur einher, die nicht unmittelbar eine höhere Kapitalproduktivität aufweist. So steht z. B. den hohen Investitionen in den Ausbau des Netzes in dem bestehenden Energiesystem keine zusätzliche Wertschöpfung gegenüber, zumindest solange die Stromnachfrage bei gegebener Netzinfrastruktur nicht deutlich wächst. Ähnliches gilt für Investitionen in Speicher (z. B. Batterien). Auch bei der Erzeugung gilt nicht zwingend, dass der neuere Kapitalstock (z. B. Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern) eine höhere Kapitalproduktivität aufweist als der alte (z. B. Kohlekraftwerke). Allerdings kann der Ausbau von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der Netzinfrastruktur einen bedeutenden Beitrag zur Standortattraktivität Deutschlands leisten (Fischer et al. 2023). Zudem können Investitionen in die Energiewirtschaft Bruttowertschöpfung in anderen Branchen auslösen (BDEW 2020). Der Effekt auf das BIP kann durch Verdrängungseffekte (crowding-out) gemindert werden. Burret et al. (2021) schätzen die Relevanz dieses Effekts als eher gering ein und kommen basierend auf einem Literaturüberblick zu dem Schluss, dass der Effekt der Transformationsinvestitionen auf das BIP überwiegend als positiv eingeschätzt wird.

198 Eine wichtige Machbarkeitsvoraussetzung für die Validität der in den Studien zugrunde gelegten Annahmen zur Transformation hin zur Klimaneutralität ist die **Fähigkeit der Volkswirtschaft** in Gänze und der jeweils betroffenen Eigentümerschaft im Einzelnen, **die benötigten Investitionen zu realisieren**. Bei den 13 betrachteten Studien steht die Veränderung des Kapitalstocks im Vordergrund der Betrachtung. Wichtig ist dabei zu beachten, dass die höheren Anfangsinvestitionen zur Realisierung der Transformation für Investoren im Vergleich zu einer Investition in fossile Technologien nicht zugleich

¹²² Ein Beispiel für ordnungspolitisch herbeigeführte vorzeitige Ersatzinvestitionen ist das KVBG, das einen Ausstiegspfad aus der Kohleverstromung vorgibt. Allerdings bestehen auch Wechselwirkungen mit dem EU-ETS 1, der die Wirtschaftlichkeit der Kohlekraftwerke beeinflusst. In den Modellierungen von UBA (2024m) gehen bereits im Jahr 2033 die letzten Kohlekraftwerke marktgetrieben vom Netz. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Aurora (2022).

auch Mehrkosten über den gesamten Lebenszyklus hinweg bedeuten, da höheren Anschaffungskosten beispielsweise geringere Betriebskosten gegenüberstehen können. Dieser Aspekt ist vor allen in den Sektoren Energiewirtschaft und Verkehr und eingeschränkt auch Industrie von zentraler Bedeutung, da mit der Einführung eines nachhaltigen Energiesystems in diesen Sektoren eine **Kostenverschiebung von Betriebskosten hin zu Kapitalkosten** stattfindet.¹²³ Dieser dynamische Aspekt der Gesamtkosten über den Lebenszyklus einer Investition wird jedoch in diesem Gutachten nicht weiter analysiert, da der Fokus in diesem Gutachten auf die kapitalintensive Transformation hin zu einem klimaneutralen Kapitalstock und die dafür notwendigen Anfangsinvestitionen gelegt wird. Auch werden Änderungen von Verbrauchsmustern und deren **ökonomische, soziale und ökologische Zusatznutzen (auch bezeichnet als Co-Benefits)** bei der nachfolgenden Betrachtung nicht berücksichtigt.¹²⁴ Generell muss beachtet werden, dass Annahmen zu Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten mit Unsicherheit verbunden sind, da die zukünftige Preisentwicklung von vielen Faktoren abhängt (u. a. Innovationen, Materialkosten, Marktentwicklungen), deren Einfluss nur schwer abzuschätzen ist. Weitere Details zum methodischen Ansatz finden sich im Anhang in Kapitel A.6.

- 199 Bei der Analyse der einbezogenen Studien zeigt sich, dass diese in den ihren Analysen zugrunde gelegten Rahmenbedingungen überwiegend **strukturkonservative** Annahmen treffen (siehe Tabelle A 13). Dezidiert bedeutet dies, dass die in diesem Abschnitt einbezogenen Studien überwiegend von der Annahme ausgehen, dass die wirtschaftliche Struktur und die Aktivitäten im Status Quo verharren und ein Ansatz verfolgt wird, diese mittels techno-ökonomischer Instrumente zu dekarbonisieren. Grundlegende emissionsreduzierende Transformationen in der Wirtschaftsstruktur wie auch im Hinblick auf Konsumgewohnheiten werden bei der Berechnung der Investitionsvolumina überwiegend nicht berücksichtigt.

¹²³ Die in diesem Kapitel dargestellten Investitionsvolumina beziehen sich nur auf Anfangsinvestitionen. Die in einem Total Cost of Ownership-Ansatz (TCO) enthaltenen Betriebs- und Wartungskosten über den gesamten Lebenszyklus sind hier nicht betrachtet. Investitionen in Energieeffizienz und klimaneutrale Technologien reduzieren die Energiekosten, was über die gesamte Lebensdauer betrachtet höhere Investitionen kompensieren oder sogar zu Einsparungen führen kann (PwC 2024; Kemmler et al. 2024; Oehlmann et al. 2019). Ebenso wenig sind vermiedene Kosten für CO₂-Zertifikate berücksichtigt.

¹²⁴ Co-benefits, bezeichnen die über die reine Treibhausgasreduzierung hinausgehenden Wirkungen von klimapolitischen Maßnahmen z. B. auf Energiesicherheit, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit, Gesundheit oder Verringerung der Energiearmut (siehe z. B. ESABCC 2023). Auch ökologische Co-Benefits können sie hergeben, beispielsweise durch Investitionen in den ökologischen Umbau der Landwirtschaft, unter anderem mit Blick auf Artenvielfalt, Bodengesundheit und Gewässerschutz sowie vermindertem Eintrag von Wirkstoffen mit einer potenziell hohen Umwelttoxizität (Hülsbergen et al. 2023).

4.2 Projizierte Investitionsvolumina

200 Der sektorenübergreifende Umfang der gesamten **Transformationsinvestitionen** wird in vier der betrachteten Studien abgeschätzt, die sich in ihrer methodischen Herangehensweise jedoch stark unterscheiden.¹²⁵ Laut dieser Studien liegt das projizierte Investitionsvolumen in einem Bereich von **135 bis 255 Mrd. Euro pro Jahr**.¹²⁶ Diese Bandbreite entspricht 3,2 bis 6 % des BIP oder 15 bis 28 % der gesamten Bruttoanlageinvestitionen (BAI)¹²⁷ in Deutschland im Jahr 2023. Unabhängig von den Unterschieden im Detail deuten diese Studien also auf eine volkswirtschaftlich relevante Größenordnung der Transformationsinvestitionen hin. Dies wird durch die betrachteten Studien gestützt, die sich auch auf einzelne Sektoren fokussieren.¹²⁸ Abbildung 29 fasst die Ergebnisse des Studienvergleichs auf Ebene der Sektoren zusammen.

201 Im Sektor **Energiewirtschaft** liegen die gesamten geschätzten Transformationsinvestitionen je nach Studie zwischen 37 und 90 Mrd. Euro pro Jahr (0,9 – 2,2 % des BIP oder 4,1 – 10 % der BAI im Jahr 2023). Die großen Investitionsblöcke werden dabei im Ausbau von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern sowie im Netzausbau gesehen. Laut dem Netzentwicklungsplan Strom 2023 sind für den Ausbau der Stromübertragungsnetze bis zum Jahr 2037 durchschnittlich jährlich 20 Mrd. Euro an Investitionen notwendig (Deutscher Bundestag 2024). Damit müssten allein für diesen Zweck 0,5 % des deutschen BIP (oder gut 2 % der BAI) aufgewendet werden. Im Sektor **Industrie** werden verglichen mit den anderen Sektoren eher geringere Werte für die Transformationsinvestitionen geschätzt (1 bis 7 Mrd. Euro pro Jahr, das entspricht 0,03 – 0,2 % des BIP oder 0,2 – 0,8 % der BAI im Jahr 2023). Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass hier nur Investitionen betrachtet werden, die bis zum Jahr 2030 anfallen. Ob darin Investitionen für Anlagen enthalten sind, deren Fertigstellung erst für nach dem Jahr 2030 projiziert ist, kann nicht immer festgestellt werden. Burret et al. (2021) weist beispielsweise erheblich höhere projizierte Investitionsvolumina für die nachfolgenden Jahrzehnte aus, die u. a. auf lange Vorlaufzeiten beim Bau zurückgeführt werden. Darüber hinaus ist die Abgrenzung zwischen Transformationsinvestitionen und Gesamtinvestitionen in der Industrie besonders schwierig und damit kritisch für die Höhe der verschiedenen Investitionsaggregate. In Burret et al. (2021) sind die ausgewiesenen Gesamtinvestitionen etwa 7-mal so hoch wie die Transformationsinvestitionen, da ein Großteil der Investitionen nicht als Transformationsinvestition betrachtet wird. Im Sektor **Gebäude** werden im Vergleich zu den anderen Sektoren die höchsten Transformationsinvestitionen geschätzt, allerdings mit deutlichen Unterschieden zwischen den Studien (55 bis 139 Mrd. Euro pro Jahr, das entspricht 1,3 bis 3,3 % des BIP oder 6,1 bis 15,4 % der BAI im Jahr 2023). Die Höhe der Transformationsinvestitionen wird auch hier durch Annahmen zur Abgrenzung zwischen den Investitionsaggregaten mitbestimmt. Dies ist z. B. relevant beim Heizungstausch von alten Ölheizungen

¹²⁵ Schnaars et al. (2023); EWI und ef.Ruhr (2021); Kemmler et al. (2024); PwC (2024); siehe auch Tabelle A 14.

¹²⁶ Beim höchsten Schätzwert von Schnaars et al. (2023) ist der Sektor Industrie nicht enthalten und auch Teilmengen der anderen Sektoren sind nicht berücksichtigt.

¹²⁷ Die Bruttoanlageinvestitionen (BAI) sind die Summe von Neuinvestitionen in Anlagen sowie die Differenz aus Käufen und Verkäufen von existierenden Anlagen (Destatis 2024a, 1533). Die Bruttoanlageinvestitionen untergliedern sich in Ausrüstungen einschließlich militärischer Waffensysteme (Fahrzeuge, IKT sowie sonstige Maschinen und Geräte), Bauten (Wohnbauten, Nichtwohnbauten einschließlich Bodenverbesserungen und Grundstücksübertragungskosten) und sonstige Anlagen. Zu den sonstigen Anlagen zählen das geistige Eigentum einer Volkswirtschaft sowie Nutztiere und Nutzpflanzen. Im Jahr 2023 betragen die Bruttoanlageinvestitionen knapp 900 Mrd. Euro oder 21,5 % des BIP (Destatis 2024j).

¹²⁸ EY und BDEW (2024); Burchardt et al. (2024); McKinsey & Company (2024); Agora Think Tanks (2024); Schnaars et al. (2023); EWI und ef.Ruhr (2021); McKinsey & Company (2024); Kemmler et al. (2024); PwC (2024).

hin zu effizienteren Gasheizungen, die zwar emissionsärmer sind, aber nicht den fossil-freien Kapitalstock aufbauen (siehe z. B. Burret et al. 2021). Im Sektor **Verkehr** wird eine Bandbreite der Transformationsinvestitionen zwischen 17 und 101 Mrd. Euro pro Jahr geschätzt (0,4 – 2,4 % des BIP oder 1,9 – 11,2 % der BAI im Jahr 2023).

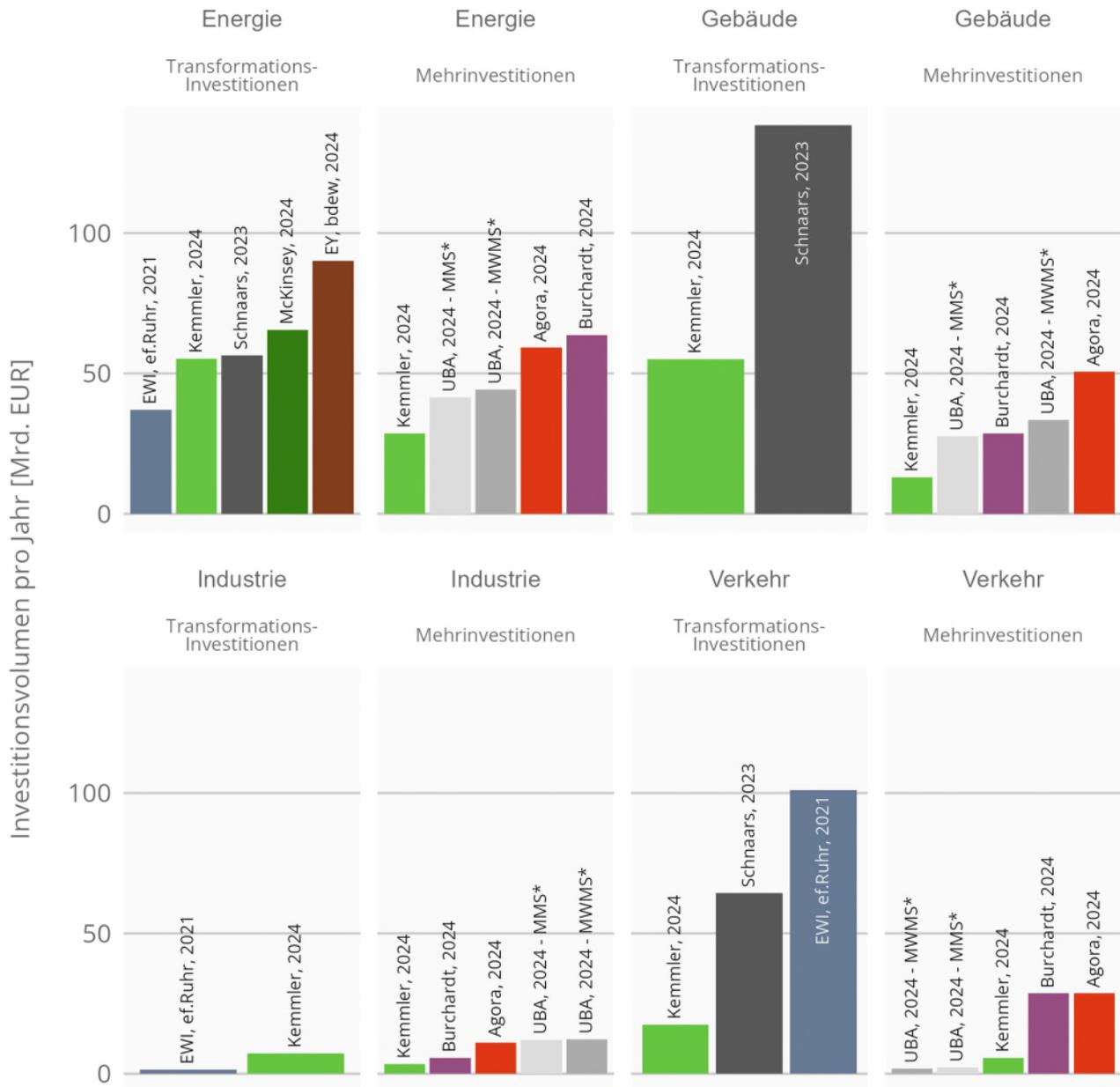
- 202 Der Umfang an **Mehrinvestitionen**, die zusätzlich zu Ohnehin-Investitionen getätigt werden müssen, wird in vier Studien abgeschätzt.¹²⁹ Laut diesen vier Studien liegt er in der Summe sektorenübergreifend zwischen **51 und 150 Mrd. Euro** pro Jahr (1,2 – 3,6 % des BIP oder 5,6 – 16,7 % der BAI im Jahr 2023). Allerdings gibt es dabei wie erwähnt viele Abgrenzungsherausforderungen, die die Interpretation und den Vergleich dieser Schätzungen erschweren. UBA (2024I) beispielsweise berücksichtigt nur Investitionen, die durch Klimaschutzinstrumente direkt angeregt werden. Infrastrukturinvestitionen sind in den ausgewiesenen Werten daher nicht enthalten.
- 203 Im Sektor **Energiewirtschaft** kann man davon ausgehen, dass nur ein geringer Anteil der Transformationsinvestitionen Ohnehin-Investitionen darstellt, so dass hier der Unterschied zwischen Mehrinvestitionen und Transformationsinvestitionen gering ist. Im Sektor **Industrie** muss sich jede Transformationsinvestition als international wettbewerbsfähige Investition erweisen. Der Unterschied zwischen Ohnehin- und Transformationsinvestitionen ist vor diesem Hintergrund kaum zu greifen, da durchaus Neuinvestitionen aus wettbewerblichen Gründen vorgezogen werden. Dahingegen kann man im Sektor **Gebäude** davon ausgehen, dass nur ein Teil der Transformationsinvestitionen Mehrinvestitionen sind, insbesondere wenn man Neubauten als Ohnehin-Investitionen auffasst. Ähnliches gilt im Sektor **Verkehr**, da insbesondere gewerbliche Pkw (z. B. Dienstfahrzeuge) häufig ohnehin nach vergleichsweise kurzer Zeit ersetzt werden. Hinzu kommen die Transformationsinvestitionen in die benötigte Infrastruktur für Elektrofahrzeuge und wasserstoffbetriebene Fahrzeuge.
- 204 Eng verbunden mit der Frage nach den Mehrinvestitionen innerhalb der Transformationsinvestitionen ist die Frage nach der Höhe der **Investitionslücke** – also der Differenz zwischen den jährlichen Investitionen in der Vergangenheit und den projizierten jährlichen Investitionsvolumina für die Zukunft. Eine umfassende Erhebung zum Umfang von Transformationsinvestitionen in der Vergangenheit gibt es bislang nicht (Fluchs et al. 2022).¹³⁰ Wie hoch ihr Anteil an den gesamten Bruttoanlageinvestitionen war, lässt sich daher nicht ohne weiteres beziffern.
- 205 Die Bereiche, für die Daten vorliegen, zeigen allerdings deutliche Lücken. So lagen die Investitionen im Sektor **Energiewirtschaft** im Jahr 2022 bei knapp 31 Mrd. Euro (Schnaars et al. 2023). Je nach Studie müssten sich die durchschnittlichen jährlichen Investitionen somit im Vergleich zum Jahr 2022 um den Faktor 2 bis 3 erhöhen. Bei einem Investitionsverzug müssten die Investitionen zum Ende der Dekade hin noch deutlich stärker steigen. So zeigt sich unter anderem beim Stromnetz bereits heute ein deutlicher Verzug beim Ausbau (siehe Kapitel 2.2). Zwar sind die Investitionen in Stromnetzinfrastruktur in den vergangenen zehn Jahren bereits um den Faktor 5 gestiegen, dennoch müssten sich die durchschnittlichen jährlichen Investitionen noch mehr als verdoppeln, um die laut Netzentwicklungsplan Strom notwendigen Investitionen bis zum Jahr 2037 zu erreichen (Deutscher Bundestag 2024). Beim

¹²⁹ Kemmler et al. (2024); Agora Think Tanks (2024); Burchardt et al. (2024); UBA (2024I); siehe auch Tabelle A 14.

¹³⁰ Für private Unternehmen wird beispielsweise in Brüggemann et al. (2023) die Höhe von Klimaschutzinvestitionen anhand einer Umfrage erhoben. Demnach lagen die Klimaschutzinvestitionen von Unternehmen im Jahr 2022 bei 72 Mrd. Euro, was einem Anstieg gegenüber dem Vorjahr um 18 % entspricht.

Ausbau von Windenergieanlagen müssten sich die Investitionen laut Schnaars et al. (2023) sogar fast vervierfachen.

Abbildung 29: Jährliche projizierte Investitionsvolumina bis zum Jahr 2030 nach Investitionsaggregat und Sektoren (in EUR₂₀₂₃), basierend auf Daten unterschiedlicher Modelle und Annahmen



Eigene Darstellung. Die Werte entstammen den angegebenen Studien und haben die Preisbasis 2023.

* Die Szenarien, die UBA (2024) zugrunde liegen, modellieren die Wirkung von Klimaschutzinstrumenten und sind nicht an der Zielerreichung der KSG-Ziele ausgerichtet. Zudem werden in UBA (2024) keine Infrastrukturinvestitionen berücksichtigt.

- 206 Die Höhe der Investitionsvolumina, wie sie in den berücksichtigten Studien abgeschätzt werden, beruht wie oben dargelegt (siehe Kapitel 4.1) auf einer weitgehend **strukturkonservativen Fortschreibung der Wirtschaftsleistung und -struktur**, z. B. durch eine angenommene Dekarbonisierung der bestehenden Anlagen der Grundstoffindustrie in Deutschland. Durch Veränderungen in den Aktivitäten aufgrund von strukturellen Veränderungen im Kapitalstock oder Verhaltensänderungen könnten die Klimaziele allerdings auch mit geringeren Investitionsvolumina erreicht werden. In den Modellierungen von Brandes et al. (2021) würden Verhaltensänderungen den Umfang der projizierten Transformationsinvestitionen etwa halbieren. Durch die Verhaltensänderungen würde die Energienachfrage sinken, beispielsweise aufgrund von weniger Verkehr, einer geringeren Wohnfläche und einer geringeren Stromlast. Dies würde zu einem signifikant geringeren Bedarf an technischen Anlagen im Energiesystem führen. Zudem gäbe es einen deutlich geringeren Bedarf am Import synthetischer Energieträger und einen geringeren Flächenbedarf für den Ausbau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger.
- 207 In den ausgewerteten Studien ergibt sich das Bild, dass die projizierten (und politisch erwarteten) Investitionen wegen ihres Umfangs volkswirtschaftlich ins Gewicht fallen. Vor diesem Hintergrund sieht es der Expertenrat als zentral an, dass die Bundesregierung in ihrer Systementwicklungsstrategie die **wirtschaftlichen Herausforderungen durch die projizierten Investitionsvolumina** aktiv in den Blick nimmt. Hierbei wäre beispielsweise zu prüfen, unter welchen Rentabilitätsabwägungen und mit welchen innovativen Finanzierungskonzepten die jeweiligen Investoren bereit sein würden, entsprechende Investitionen zu tätigen, und ob das entsprechend erforderliche Eigenkapital als vorhanden angenommen werden kann. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass politische Unsicherheit zur Zurückhaltung von Investitionen führt (Kölschbach Ortego et al. 2023; Michelsen und Junker 2024). Die aktuelle Debatte um eine Verschiebung des deutschen Klimaneutralitätsziels ist daher auch im Hinblick auf die notwendige Planungssicherheit von Unternehmen und Gesellschaft zusätzlich hinderlich. Darüber hinaus wäre auch eine Abschätzung der finanziellen staatlichen Unterstützungsmaßnahmen vorzunehmen, um zu prüfen, ob und gegebenenfalls wie die hierbei unterstellten finanziellen Mittel überhaupt im staatlichen Zugriff verfügbar sind und sein werden (siehe Kapitel 4.3).
- 208 Bei der Einordnung der ausgewiesenen Investitionsvolumina für die Transformation in Deutschland müssen auch die zukünftigen durch den Klimawandel zu erwartenden **volkswirtschaftlichen Folgekosten** berücksichtigt werden. Diese werden in Flaute et al. (2022) auf durchschnittlich knapp 10 Mrd. Euro pro Jahr in einem Szenario mit schwachem Klimawandel und auf durchschnittlich 31 Mrd. Euro pro Jahr in einem Szenario mit starkem Klimawandel abgeschätzt. Zwar hängt das Ausmaß des Klimawandels und damit auch die Höhe der Folgekosten von den globalen Fortschritten bei der Begrenzung der Treibhausgasemissionen ab. Wenn Deutschland aber seine Klimaziele durch eine ambitionierte Klimaschutzpolitik erreicht, so ist dies vor allem für die Verlässlichkeit wichtig. Nur bei Einhaltung der eigenen Ziele kann Deutschland auch im internationalen Rahmen glaubwürdig für ambitionierten Klimaschutz werben.
- 209 Insgesamt stellt der Expertenrat fest, dass der Forschungsstand über die Höhe der Transformationsinvestitionen und die damit verbundenen Herausforderungen bei der Umsetzung uneinheitlich und nur fragmentarisch vorliegt. Da diese Investitionsvolumina finanziert werden müssen, stellen sich wichtige Folgefragen hinsichtlich der Rentabilität und damit verbunden der künftigen Entwicklung der Kosten und Preise von Energieträgern, insbesondere Strom und Wasserstoff, sowie weiterer relevanter Produkte und Dienstleistungen (siehe Bettzüge 2024). Um eine fundierte Abschätzung der volkswirtschaftlichen Tragfähigkeit des Transformationsprozesses vornehmen zu können, sollte die **Bundesregierung in ihrer mehrjährigen Finanz- und Wirtschaftsplanung die**

Transformationsinvestitionen und deren Auswirkungen ausdrücklich berücksichtigen. Besonders relevant bei diesen Überlegungen erscheinen dem Expertenrat Fragen zum Verhältnis von Brutto- und Nettoanlageinvestitionen (siehe RZ 196), zur Kapitalproduktivität sowie zu möglichen Verschiebungen in der Verwendungsstruktur des Bruttoinlandsprodukts einschließlich möglichem Crowding-out und induzierter Veränderungen in der Zahlungs- und Leistungsbilanz. Aus Sicht des Expertenrats sind entsprechende wissenschaftliche Forschungsarbeiten zu diesen Fragen dringend erforderlich.¹³¹

- 210 Analog sieht der Expertenrat auch die Notwendigkeit, die **Arbeitskräfteanforderungen, die sich für die Umsetzung der Transformation** ergeben, zu adressieren. Der steigende Bedarf an Fachkräften für die Transformation kann bereits bestehende Engpässe¹³² weiter verschärfen und aufgrund der Konkurrenz zwischen Branchen um Fachkräfte mit ähnlichen Qualifikationen zu Zielkonflikten führen (siehe auch Malin et al. 2022). Zudem erwarten Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung und Erwerbsbeteiligung ein sinkendes Erwerbspersonenpotenzial (Hellwagner et al. 2023). Auch hier besteht, wie bei den Investitionen, ein potenzielles Crowding-out-Problem, dessen mögliche Folgen für das Wachstumspotenzial nach Wissen des Expertenrats bislang kaum belastbar quantifiziert worden sind. Lediglich eine Studie von Burstedde und Kolev-Schaefer (2024) errechnet, dass das BIP ohne einen bestehenden Fachkräftemangel um 1,1 % höher liegen könnte.

4.3 Rolle der öffentlichen Haushalte bei den Transformationsinvestitionen

- 211 Die gesamten Bruttoanlageinvestitionen setzen sich aus den **privaten und öffentlichen Investitionen** zusammen.¹³³ Nach der Diskussion der gesamten Bruttoanlageinvestitionen wird im Folgenden das sich aus Studien ergebende öffentliche Investitionsvolumen eingeordnet.
- 212 Die **öffentliche Hand** ist durch die von der Politik angestoßenen und gewünschten Transformationsinvestitionen direkt und indirekt gefordert: Zum einen ist die öffentliche Hand unmittelbar für einen Teil der projizierten Investitionen verantwortlich, wenn es sich um den Kapitalstock des Staates bzw. staatlich kontrollierter Unternehmen wie der Deutsche Bahn AG oder der vielen kommunalen Energieversorgungsunternehmen handelt (direkte Rolle). Zum anderen wird die öffentliche Hand an vielen Stellen intervenieren müssen, um Investitionsanreize zu schaffen bzw. bestehende Hemmnisse zum Beispiel im Markthochlauf zu überwinden (indirekte Rolle) wenn die projizierten und teilweise von ihr eingeplanten Investitionen tatsächlich realisiert werden sollen.
- 213 Daher sind die Transformationsinvestitionen zu ihrer Umsetzung in zweierlei Richtung mit einem öffentlichen **Finanzierungsvolumen** verbunden. Neben den Abschätzungen zum direkten

¹³¹ Das aktuell laufende Forschungsprojekt zur Gesamtwirkung von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung auf die deutsche Wirtschaft (Prognos. GWS) im Auftrag des BMWK wird vor diesem Hintergrund begrüßt.

¹³² Aktuell fehlen in Deutschland bereits 470 000 Fach- und Arbeitskräfte (KoKa 2024, Stand März 2024). Der Anteil der Stellen, der rechnerisch nicht mit einer passenden Fachkraft besetzt werden kann, liegt bei knapp 38 %. Laut Müller (2024) sehen 32 % der Unternehmen ihre Tätigkeit durch den Fachkräftemangel behindert. Dieser Anteil hat sich in den letzten 15 Jahre deutlich erhöht. In den Bereichen Photovoltaik, Windenergie und Wasserstoffindustrie, die für die Transformation des Energiesystems zentral sind, wird die Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit der Betriebe bereits heute beeinträchtigt (Prognos 2024). Bis zum Jahr 2030 werden laut der Studie in diesen Bereichen zusätzlich 35 0000 Fachkräfte gebraucht.

¹³³ Im Jahr 2023 haben die Bruttoanlageinvestitionen des Staates 13 % der gesamten Bruttoanlageinvestitionen ausgemacht (Destatis 2024j). Investitionen des Staates können aber auch private Investitionen anregen. Belitz et al. (2020) weist aus, dass 1 Euro an staatlichen Investitionen durchschnittlich 1,5 Euro an privaten Investitionen nach sich zieht. Laut einer Meta-Studie von HBS (2014) liegt der Multiplikatoreffekt von staatlichen Investitionen auf das BIP bei einem Faktor von 1,3–1,8.

transformationsbedingten Finanzierungsvolumen, also den Finanzmitteln, die in den gesamten staatlichen Transformationsinvestitionen erfasst sind, müssen auch die indirekten Finanzmittel betrachtet werden, wie Ausgaben zur Förderung privater Investitionen.

- 214 Das **gesamte direkte und indirekte öffentliche Finanzierungsvolumen für die Umsetzung** des Transformationsprozesses wird nur in einer der einbezogenen Studien (Heilmann et al. 2024) projiziert (siehe Abbildung 30 und Tabelle A 15). Bis zum Jahr 2030 wird das Finanzierungsvolumen in dieser Studie auf **100 Mrd. Euro pro Jahr** geschätzt. Dieser Wert umfasst direkte öffentliche Investitionen, Ausgaben zur Förderung privater Investitionen und öffentliche Betriebskostenzuschüsse. Darin enthalten sind knapp 50 Mrd. Euro pro Jahr für ÖPNV/Bahn¹³⁴, die auf Ebene der Länder und Kommunen anfallen.¹³⁵ Allerdings liegen beim Datenpunkt EEG-Differenzkosten die Angaben von Heilmann et al. (2024) um etwa 5 bis 7 Mrd. Euro unter den Werten der aktuellen EEG-Mittelfristprognose (EWI 2024b). Auch wird in dieser Studie das öffentliche Finanzierungsvolumen für den Ausbau von Stromnetzen mit null angesetzt, was sowohl wegen der erheblichen Finanzierungsvolumina in kommunalen Energieversorgungsunternehmen als auch wegen der absehbar weiter steigenden Netzentgelte (siehe EWI 2024b) und den daraus resultierenden Rufen nach staatlich geförderten Industriestrompreisen optimistisch erscheint. Der Ausbau der Fahrradinfrastruktur scheint in der Studie jenseits des Förderprogramms „Fahrradparkhäuser an Bahnhöfen“ ebenfalls nicht berücksichtigt worden zu sein.¹³⁶
- 215 **Öffentliche Mehrinvestitionen** werden in Krebs und Steitz (2021) und Agora Think Tanks (2024) ausgewiesen (siehe Abbildung 30 und Tabelle A 15). Diese belaufen sich auf 37 bis 52 Mrd. Euro pro Jahr. Die projizierten Finanzierungsvolumina aus Krebs und Steitz (2021) enthalten neben öffentlichen Investitionen des Bundes und der Kommunen auch Ausgaben zur Förderung privater Investitionen. Investitionen in Bahn (knapp 6 Mrd. Euro pro Jahr) und ÖPNV (11 Mrd. Euro pro Jahr) werden berücksichtigt. Beim ÖPNV und der Bahn zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den geschätzten gesamten Transformationsinvestitionen und den Mehrinvestitionen. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass ein Großteil der Gesamtinvestitionen lediglich Ersatzinvestitionen, also Ohnehin-Investitionen, zum Erhalt der Infrastruktur sind. Krebs und Steitz (2021) stellen auch fest, dass die Industrie das drittgrößte projizierte öffentliche Finanzierungsvolumen der betrachteten Sektoren hat.

¹³⁴ In den „Big 5“-Klimaneutralitätsstudien wird die Schieneninfrastruktur und ÖPNV-Verfügbarkeit ebenfalls thematisiert. Fast alle Studien nehmen eine Verbesserung der Schieneninfrastruktur durch zusätzliche Förderung des Bundes an (Gnann et al. 2024; dena 2021; Burchardt et al. 2021; Agora Think Tanks 2024). Außerdem wird eine leichte Beschleunigung der Reisezeiten (PIK et al. 2021), eine Verringerung der Preise der Bahnfahrkarten (Gnann et al. 2024; Agora Think Tanks 2024), eine verbesserte Taktung (PIK et al. 2021), eine Reduktion der Trassenpreise (Gnann et al. 2024) und eine steigende Nachfrage nach ÖPNV (dena 2021) angenommen.

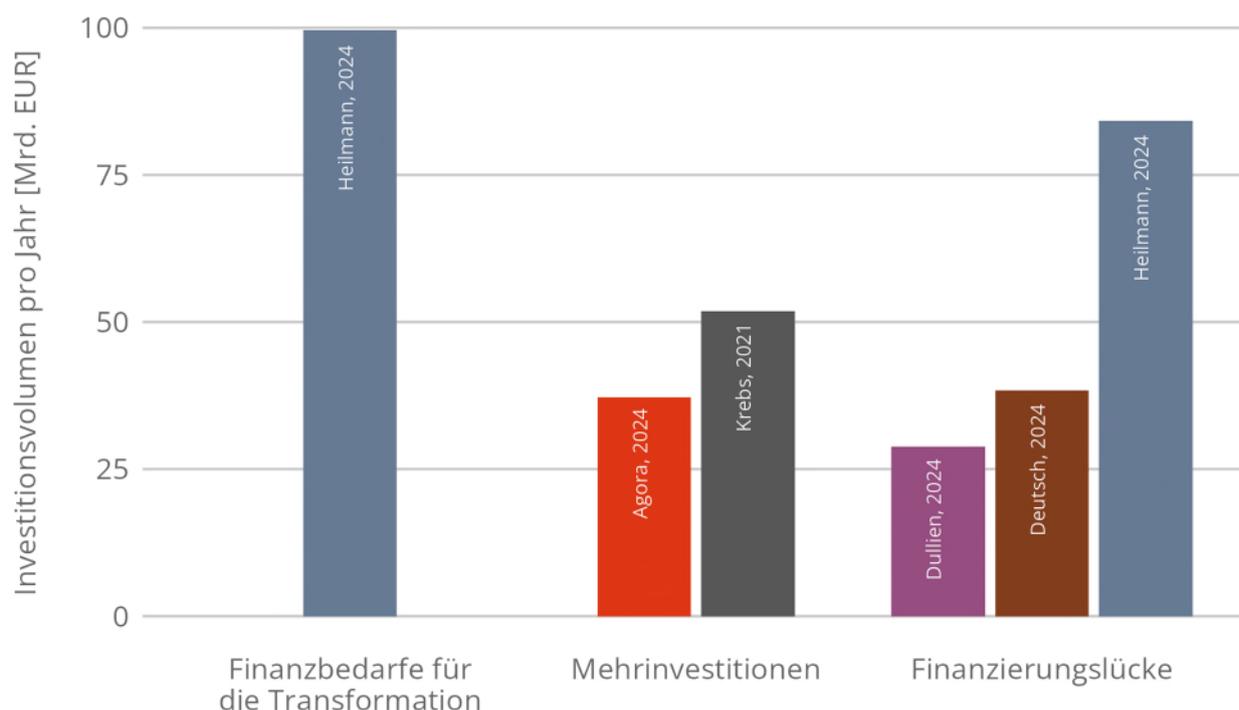
¹³⁵ Zusätzlich fallen auf Ebene der Länder und Kommunen weitere Finanzierungsvolumina an, die in der Studie aber nur indikativ für einzelne Bereiche abgeschätzt wurden.

¹³⁶ Weder die Bundesregierung noch das BMDV oder der Radverkehrsplan treffen Aussagen zur Länge des geplanten Ausbaus der Radinfrastruktur. Dies wird von einigen Umweltorganisationen bemängelt (BUND 2021). Im Radverkehrsplan 3.0 heißt es, dass die Anzahl der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege von rund 120 im Jahr 2017 auf 180 Wege je Person und Jahr im Jahr 2030 wachsen soll. Die durchschnittliche Länge der mit dem Rad zurückgelegten Wege soll sich von 3,7 Kilometern auf 6,0 Kilometer erhöhen (Mobilitätsforum Bund 2023). In den „Big 5“-Klimaneutralitätsstudien wird die Fahrradinfrastruktur ebenfalls thematisiert. Diese folgten teils den Annahmen, dass es zusätzliche Investitionen in Infrastruktur (Gnann et al. 2024; Burchardt et al. 2021; Agora Think Tanks 2024) und einen kontinuierlich wachsenden Anteil der Fahrradmobilität (dena 2021; Burchardt et al. 2021) geben wird.

Agora Think Tanks (2024) berücksichtigt nur direkte öffentliche Investitionsvolumina, Ausgaben zur Förderung privater Investitionen sind nicht enthalten.

216 Drei der betrachteten Studien zum öffentlichen Finanzierungsvolumen weisen eine projizierte **Finanzierungslücke** aus, die in der Größenordnung von **29 bis 84 Mrd. Euro pro Jahr** liegt (siehe Abbildung 30). Dies entspricht ca. **0,7 bis 2 % des BIP oder 3,1 bis 9,4 % der BAI**.¹³⁷ Die Finanzierungslücke ist derjenige Teil des öffentlichen transformationsbezogenen Finanzierungsvolumens, der nicht durch öffentliche Mittel für die modellierten Transformationsvolumina gedeckt ist. Die Abschätzung der Finanzierungslücke beruht zusätzlich zu den Annahmen für die Abschätzung der Investitionsvolumina auch auf Annahmen über zukünftig verfügbare Mittel für die Finanzierung. Eine Erhöhung der Ausgaben in Höhe von 0,7–2 % des BIP entspricht einem relevanten Anstieg, wenn man berücksichtigt, dass sich die gesamten öffentlichen BAI im Jahr 2023 auf 2,8 % des BIP (118 Mrd. Euro) beliefen (Destatis 2024j).

Abbildung 30: Jährliche projizierte Finanzierungsvolumina der öffentlichen Hand bis 2030 (in EUR₂₀₂₃), basierend auf Daten unterschiedlicher Modelle und Annahmen



Eigene Darstellung. Die Werte entstammen den angegebenen Studien und haben die Preisbasis 2023.

¹³⁷ Deutsch et al. (2024) zieht zur Abschätzung der Finanzierungslücke vorhandene Verpflichtungsermächtigungen im Bundeshaushalt und Mittel aus dem Klima- und Transformationsfonds (KTF) heran. Dullien et al. (2024) nimmt Ausgaben des KTF bzw. des Energie- und Klimafonds als Grundlage. Heilmann et al. (2024) berechnet die Lücke als Differenz des projizierten Gesamtfinanzierungsvolumens und den erwartbaren Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung.

217 Neben dem projizierten Finanzierungsvolumen für die Transformation hin zu Klimaneutralität sind in den nächsten Jahren **umfassende Finanzierungsvolumina in andere Politikfeldern** zu erwarten (siehe Kapitel 5 und (SVR Wirtschaft 2024b, Kapitel 2)). Diese könnten die Finanzierbarkeit der öffentlichen Förderung privater Investitionen zusätzlich deutlich erschweren. Dazu zählen Investitionen für Klimaanpassung und negative Emissionen¹³⁸, aber auch zu erwartende höhere Finanzierungsanforderungen für die Verteidigung¹³⁹, Bildung und zur Sanierung der Infrastruktur in Bereichen, die nicht primär dem Klimaschutz dienen (z. B. Deutsch et al. 2024). Zudem gibt es zwar Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung, es gibt aber unterschiedliche Vorstellungen, wofür sie genutzt werden sollen. Vor dem Hintergrund von begrenzten öffentlichen Finanzmitteln besteht das Risiko, dass Zielkonflikte zwischen Politikfeldern entstehen (siehe Kapitel 5.2 sowie Knopf und Illenseer (2023)).

4.4 Zusammenfassende Einordnung der projizierten Investitionsvolumina

218 Die Analysen in den Kapiteln 2 und 3 weisen darauf hin, dass der Transformationsprozess beschleunigt werden müsste, um die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes zu erreichen. Verschiedene Studien schätzen Investitionsvolumina für zielkompatible Transformationspfade ab. Bei der Einschätzung der Investitionsvolumina ist zwischen den Gesamt-, den Transformations- und den Mehrinvestitionen zu unterscheiden.

219 In den einbezogenen Studien liegen die **Transformationsinvestitionen** über alle Sektoren hinweg je nach Studie bei einem Volumen von 135 Mrd. bis 255 Mrd. Euro pro Jahr. Die Transformationsinvestitionen weisen also mit einer Bandbreite zwischen 3,2 % und 6 % des jährlichen BIP einen relevanten Anteil an der erwarteten Wirtschaftsleistung Deutschlands auf.

220 Die **Mehrinvestitionen** liegen je nach Studie in der Bandbreite zwischen 51 Mrd. und 150 Mrd. Euro pro Jahr. In den einzelnen Sektoren zeigen sich deutliche Unterschiede. In allen Sektoren machen jedoch Ohnehin-Investitionen einen relevanten Anteil der gesamten Transformationsinvestitionen aus. Dies gilt besonders für den Gebäudesektor, wenn dort die Investitionen in Neubauten als Ohnehin-Investitionen betrachtet werden.

221 Die **Auswirkungen der Transformationsinvestitionen** auf die zukünftige Wirtschaftsleistung Deutschlands hängen dabei unter anderem von der damit verbundenen Entwicklung der Kapitalproduktivität ab. Durch umfassende Anreize und Nutzung von Innovationen kann die Produktivität des eingesetzten Kapitals im Vergleich zu einer innovationsärmeren neuen Kapitalstruktur gestärkt werden, zum Beispiel durch die umfassende Integration von KI-gestützten innovativen Steuerungselementen beim Aufbau des neuen Energiesystems.

222 Die einbezogenen Studien legen nahe, dass der Staat für **Mehrinvestitionen in öffentliche oder in öffentlichem Besitz befindliche Einheiten** und zur Schaffung von Investitionsanreizen privater Akteure ein Finanzierungsvolumen von 37 bis 52 Mrd. Euro pro Jahr zu stemmen hat. Davon werden in den

¹³⁸ Brand und Römer (2022) schätzt, dass im Zeitraum von 2021 bis 2045 Investitionsvolumina in Höhe von insgesamt 471 Mrd. Euro für negative Emissionen anfallen (d. h. durchschnittlich über den gesamten Zeitraum 19 Mrd. Euro pro Jahr), die allerdings nur teilweise auf die öffentliche Hand entfallen. Edenhofer et al. (2024) berechnen in einer Übersichtsrechnung globale Kosten für Carbon Dioxide Removal (CDR) in einer Größenordnung von 0,3 bis 3 % des weltweiten BIP pro Jahr ab Mitte des Jahrhunderts, um Klimaneutralität zu erlangen.

¹³⁹ Heilmann et al. (2024) schätzt ein öffentliches Finanzierungsvolumen in Höhe von 17 Mrd. Euro pro Jahr zusätzlich zu bestehenden Ausgaben für Verteidigung.

Studien allein etwa 17 Mrd. Euro pro Jahr für Mehrinvestitionen in ÖPNV und Bahn gesehen. Laut Abschätzungen in den Studien liegt die staatliche Finanzierungslücke bis 2030 in der Bandbreite von 29 Mrd. bis 84 Mrd. Euro pro Jahr. Hinzu kommen die zusätzlichen Investitionsanforderungen aus anderen Politikfeldern wie z. B. der Verteidigungs-, der Bildungs-, der Klimaanpassungs- und der Sozialpolitik.

- 223 Die projizierten durch den Staat zu tätigen Investitionsvolumina in Verbindung mit den knappen zur Verfügung stehenden Mitteln lassen vermuten, dass für die entsprechenden Mehrinvestitionen eine **Priorisierung der Ausgaben** der öffentlichen Hand in anderen Politikfeldern notwendig ist.¹⁴⁰ Darüber hinaus könnte eine Erhöhung der öffentlichen Finanzmittel Spielräume für Investitionen erweitern und mögliche Kürzungen bei konkurrierenden Ausgabepositionen abmildern. Zudem müssten alle durch diese Mittel zu finanzierenden Ausgaben im Rahmen einer konsistenten finanziellen Mittelfristplanung im Einklang mit der Erreichung der Klimaziele bis 2030 sein. Entsprechend zentral ist es aus Sicht des Expertenrats, dass die Bundesregierung in der Systementwicklungsstrategie die wirtschaftlichen Herausforderungen durch projizierte Investitionsvolumina unter Berücksichtigung der finanziellen Anforderungen aller Politikfelder aktiv in den Blick nimmt. Dabei sollten auch private Investitionsvolumina in die Betrachtung einbezogen werden. Hinsichtlich der erwarteten privaten Investitionsvolumina sollte insbesondere nachvollzogen werden, welche Rentabilitätsbewertungen für Investoren gesehen werden, damit diese die Finanzierungsanteile an den Mehrinvestitionen bereitstellen. Darüber hinaus sollten auch die Wachstumspotenziale für die deutsche Volkswirtschaft aus den Transformationsinvestitionen ausdrücklich bei der Strategieentwicklung einbezogen werden. Schließlich sollte auch berücksichtigt werden, ob die deutsche Volkswirtschaft überhaupt über die benötigten Personalressourcen verfügt, um die Volumina der Transformationsinvestitionen zu realisieren bzw. was eine Nutzung der vorhandenen Ressourcen für die Realisierung der hier betrachteten Transformationsinvestitionen für das Wachstumspotenzial der deutschen Volkswirtschaft bedeuten würde (crowding-out). Der Knappheitsindikator Fachkräfte zeigt heute schon den Mangel an qualifizierten Fachkräften auf. Studien zur Entwicklung des Arbeitskräfteangebots gehen davon aus, dass sich dieser Mangel in den folgenden Jahren verschärfen dürfte.

¹⁴⁰ Thöne (2022) sieht darüber hinaus den Bedarf einer Modernisierung des öffentlichen Sektors, um dessen Effizienz zu steigern und dadurch staatliche Ausgaben zu reduzieren.

5 Klimaschutzpolitik umfassend einbetten

224 In § 9 Absatz 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) ist festgelegt, dass „die Bundesregierung [...] spätestens zwölf Kalendermonate nach Beginn einer Legislaturperiode ein Klimaschutzprogramm [beschließt]“.¹⁴¹ § 12 Absatz 5 KSG besagt: „Der Expertenrat für Klimafragen kann Gutachten zur Weiterentwicklung geeigneter Klimaschutzmaßnahmen auf Basis der Emissions- sowie Projektionsdaten erstellen. [...] Die Bundesregierung berücksichtigt diese bei der Entscheidung über Maßnahmen nach den §§ 8 und 9.“ Vor dem Hintergrund der vorgezogenen Neuwahl des Deutschen Bundestags und der damit gegebenen Notwendigkeit des Beschlusses eines neuen Klimaschutzprogramms liefert der Expertenrat eine Einordnung zur **Ausrichtung der zukünftigen Klimaschutzpolitik Deutschlands** und formuliert dabei Anforderungen an das Klimaschutzprogramm, das von der neuen Regierung innerhalb des ersten Jahres der Legislatur vorzulegen ist.

5.1 Ausgangslage und neue Rahmenbedingungen

225 In Kapitel 2 dieses Gutachtens wurden die aktuellen **Trends der Emissionsentwicklung** insgesamt und in den einzelnen Sektoren detailliert analysiert. Daraus resultiert zusammengefasst die Einschätzung, dass ein Erreichen der im Bundes-Klimaschutzgesetz für das Jahr 2030 festgelegten Ziele auf Basis der geplanten Maßnahmen fraglich erscheint. Diese Einschätzung deckt sich mit dem Ergebnis der Prüfung des Projektionsberichts 2024, die der Expertenrat im Mai 2024 veröffentlicht hat (ERK 2024a) und in der er zum Ergebnis kam, dass die „Überschreitung [...] in Summe so groß [wäre], dass das gesetzliche Ziel der Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für den Zeitraum von 2021 bis 2030 insgesamt vermutlich nicht eingehalten werden würde.“ Zudem wurde im gleichen Gutachten berichtet, dass die Projektionsdaten 2024 ab dem Jahr 2031 substantielle Überschreitungen der Ziele aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz aufweisen und „das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 [...] sehr deutlich verfehlt und auch bis 2050 nicht erreicht [würde]“.

226 Die Analyse der Maßnahmen der **Klimapolitik** in Kapitel 3 dieses Gutachtens zeigt auf, dass gegenüber dem Zweijahresgutachten 2022 des Expertenrats (ERK 2022c) keine wesentlichen Änderungen in der Zusammensetzung und Ausgestaltung der Maßnahmen erfolgt sind. Weiterhin dominieren fiskalische und regulatorische Instrumente, und Verschiebungen im Instrumentenmix sind kaum zu beobachten. Zudem stand weiterhin eine technologiezentrierte (und weniger verhaltens- und systemfokussierte) strukturkonservative Strategie im Vordergrund mit dem Schwerpunkt auf Maßnahmen, um nicht-fossilen Kapitalstock aufzubauen und teilweise damit bestehenden fossilen Kapitalstock zu ersetzen. Die im Zweijahresgutachten 2022 angesprochene Lücke von Politikmaßnahmen, die die Reduzierung und Verlagerung von Aktivitäten sowie den ausreichenden Rückbau des fossilen Kapitalstocks adressieren, wurde nur teilweise gefüllt.

227 Die in Kapitel 4 dieses Gutachtens durchgeführte Analyse belegt die volkswirtschaftlich relevanten **Investitionsvolumina**, die bis zum Jahr 2030 für die Transformation der Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr und Industrie zum Erreichen der Klimaneutralität erforderlich sind. Hinzu kommen

¹⁴¹ Sollte der Expertenrat in seiner Prüfung der Projektionsdaten 2025 zum Ergebnis gelangen, dass „bei aggregierter Betrachtung aller Sektoren die Summe der THG-Emissionen in den Jahren 2021 bis einschließlich 2030 die Summe der Jahresemissionsgesamtmengen nach Anlage 2 [...] für diese Jahre überschreitet“, so müsste die Bundesregierung wegen Überschreitung im zweiten Jahr in Folge bereits bis zum Ende des Jahres 2025 Maßnahmen beschließen, „die die Einhaltung der Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für diese Jahre sicherstellen.“ (§ 8 Absätze 1 und 2 KSG).

weitere Investitionsaufwände zur Umsetzung klimaschutzpolitischer Maßnahmen für die Zielerreichung in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF, die in diesem Gutachten jedoch nicht untersucht wurden.

- 228 Führt man die Ergebnisse dieser Analysen zusammen, so zeigt dies einerseits das hohe Ambitionsniveau der im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebenen politischen Ziele. Andererseits erscheint vor diesem Hintergrund noch fraglicher, ob das Erreichen dieser Ziele ohne wesentliche Anpassungen in der Ausrichtung der Klimaschutzpolitik zu erwarten ist. Hinzu kommt, dass sich wesentliche **Rahmenbedingungen** in den vergangenen Jahren erheblich geändert haben. Hier sind geopolitische und geoökonomische Entwicklungen ebenso wie Entwicklungen innerhalb Deutschlands zu nennen. Zugleich sind mittlerweile sechs von neun planetaren Grenzen für den Umfang menschlicher Aktivitäten auf der Erde überschritten (Richardson et al. 2023) – mit zunehmend dramatischen Folgen und Auswirkungen, die gleichermaßen politisches Handeln erfordern.
- 229 Die Welt ist in den vergangenen Jahren von einer beschleunigten **geopolitischen und geoökonomischen Dynamik** erfasst worden. Der Krieg in der Ukraine wird mit unverminderter Härte fortgeführt, weitere militärische Konflikte sind hinzugekommen.¹⁴² Daraus ergeben sich neue, deutlich erhöhte Anforderungen an die Verteidigungsfähigkeit und damit einhergehende Mittelbedarfe für die öffentliche Hand. Zeitgleich finden rasche strukturelle Verschiebungen in den wirtschaftlichen Beziehungen zwischen Deutschland und der EU einerseits und Russland, China sowie den USA andererseits statt. Diese gehen einher mit einer wachsenden Konsolidierung anti-westlicher Bündnisse, und neue Handelshemmnisse beschränken zunehmend den freien Welthandel. Deutschland und Europa sind in vielfältiger Weise von diesen tiefgreifenden Veränderungen in der Welt betroffen. Im Verhältnis zu anderen Weltregionen sind die EU und insbesondere Deutschland in erheblich höherem Maße vom internationalen Handel abhängig. Gemessen am Anteil des Außenhandels (Importe plus Exporte) am Bruttoinlandsprodukt (BIP) lag die EU im Jahr 2023 mit 97 % weit über den vergleichbaren Werten für Indien (46 %), Russland (42 %), China (37 %) oder den USA (25 %) (Weltbank 2024). Zwar ist dieser Wert in der EU nach einem Rekord im Jahr 2022 (106 %) gesunken, aber diese Anpassung ging mit spürbar negativen wirtschaftlichen Folgen einher, vor allem auch in Deutschland. Insgesamt zeigt dies, dass Europa viel stärkere Anpassungen vornehmen müsste als andere Weltregionen, um seine ökonomische Interdependenz vor dem Hintergrund steigender globaler Konfliktpotenziale zu reduzieren.
- 230 Auch **Entwicklungen innerhalb Deutschlands** führen zu veränderten Randbedingungen für die zukünftige Klimapolitik. Die Situation der deutschen Wirtschaft hat sich in den vergangenen Jahren zunehmend verschlechtert und das preis-, saison- und kalenderbereinigte BIP lag in den Jahren 2023 und 2024 (Werte bis einschließlich des dritten Quartals) mit leichten Schwankungen auf nahezu konstantem Niveau (Destatis 2025f). Auch für das Jahr 2025 wird mit keiner nennenswerten Erholung gerechnet (siehe z. B. Bardt et al. 2024). Darüber hinaus kommen zunehmend Meldungen hinzu über eine strukturelle Schwäche wesentlicher Branchen der deutschen Wirtschaft wie die Automobilwirtschaft oder die Chemieindustrie (Hohlfeld und Theobald 2024; Theobald und Hohlfeld 2022; Müller 2025; Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE 2021). Während die schwache Konjunktur die öffentlichen Einnahmen dämpft, stehen auf der anderen Seite erhebliche Investitionen in die vorhandene Infrastruktur an, insbesondere in den Bereichen Verteidigung, Bildung und Verkehr (siehe Kapitel 4 und SVR Wirtschaft (2024b)). Vor dem Hintergrund der geopolitischen und geoökonomischen Entwicklungen und der – damit in Wechselwirkung stehenden – wirtschaftlichen Entwicklung in

¹⁴² Hinzu kommt, dass kriegerische Auseinandersetzung selbst nicht unerheblich zu Emission von Treibhausgasen beitragen. In den ersten zwei Jahren des Krieges in der Ukraine sind nach Schätzungen 150 Mt CO₂-Äq. durch den Krieg zusätzlich emittiert worden (Weikard 2023).

Deutschland gewinnen in Gesellschaft und Politik Stimmen an Bedeutung, die klimapolitischen Maßnahmen und dem damit verbundenen Strukturwandel kritisch gegenüberstehen.

- 231 Das **Überschreiten von sechs der neun planetaren Grenzen** erzeugt nicht nur Druck auf die Ökosysteme (Richardson et al. 2023), sondern erfordert in wachsendem Maße auch **Anpassungsmaßnahmen**, um mit den immer stärker auftretenden Folgen zurechtzukommen (Rockström et al. 2024; PIK 2024). Auch hier sind zunehmend öffentliche Haushalte auf allen Ebenen (Bund, Länder, Kommunen) betroffen, um insbesondere Maßnahmen im Bereich des Hochwasserschutzes, aber z.B. auch der Frischwasserversorgung und der Bekämpfung von Trockenheit und Waldbrandgefahren zu ergreifen und überwiegend auch zu finanzieren.
- 232 Die dargestellte Situation erfordert aus Sicht des Expertenrates eine erheblich stärkere **Einbettung klimapolitischer Maßnahmen in eine politische Gesamtstrategie**, die sämtliche relevanten Politikfelder umfasst. Diese Strategie muss anschlussfähig an die übergreifende Strategie der EU sein und die Anforderungen an diese Strategie aus deutscher Sicht benennen. Der Expertenrat hat bereits in früheren Dokumenten darauf hingewiesen, dass Klimaschutzpolitik in enger Wechselwirkung mit anderen Politikfeldern steht, und ein konsistentes Gesamtkonzept für die deutsche Klimaschutzpolitik angemahnt (ERK 2022c). Aus Sicht des Expertenrates haben Dringlichkeit und Relevanz dieser Überlegungen durch die skizzierten Veränderungen und die neuen Herausforderungen für Deutschland und die EU erheblich zugenommen.

5.2 Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern

- 233 Maßnahmen der Klimaschutzpolitik stehen in vielfältigen **Wechselwirkungen mit einer Vielzahl anderer Politikfelder**, insbesondere der allgemeinen Wirtschaftspolitik und darunter liegenden Feldern wie Finanzpolitik, Arbeitsmarktpolitik und Industriepolitik. Daneben ist auch die Wechselwirkung zur Sozialpolitik oder Sicherheitspolitik zu beachten. Gleichzeitig ist über die Notwendigkeit zum Aufbau neuen Kapitalstocks, insbesondere im Bereich der Energieversorgung und der damit verbundenen Nutzung von Flächen, sowie über Maßnahmen in der Landwirtschaft und im Sektor LULUCF auch die Umweltpolitik betroffen. Generell können Wechselwirkungen sowohl fördernde Effekte – im Sinne von Synergien oder Co-Benefits – als auch hemmende Effekte – im Sinne von Zielkonflikten – auf die Erreichung der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes aufweisen.
- 234 In Kapitel 4 wurden verschiedene Studien analysiert, die bis zum Jahr 2030 im Ergebnis erhebliche Investitionsvolumina für die Transformation zur Erreichung der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes ausweisen. Besonders offensichtlich scheinen dem Expertenrat vor diesem Hintergrund Zielkonflikte in der **Finanzpolitik**, wo die steigenden Anforderungen an die **öffentlichen Haushalte** aufgrund von Klimaschutzpolitik zunehmend mit vielfältigen anderen zusätzlichen Anforderungen in Konflikt geraten, insbesondere den zuvor genannten wachsenden Aufwendungen im Bereich der Verteidigung, Sozialausgaben, Bildung, Verkehrsinfrastruktur und Klimafolge- und -anpassungskosten. Ohne Erhöhung der öffentlichen Finanzmittel stehen diese (und weitere) Ausgabenforderungen in Konkurrenz zueinander und zu den bestehenden Staatsausgaben, so dass eine übergreifende Priorisierung im Kontext gesamtpolitischer Entscheidungen erforderlich ist. Grundsätzlich könnten Kürzungen bei einzelnen Ausgabepositionen durch eine Erhöhung der öffentlichen Finanzmittel abgemildert werden. Eine solche Ausweitung ist prinzipiell auf drei verschiedenen Wegen erreichbar: durch Steuererhöhungen, durch zusätzliche Kreditaufnahme oder in Folge von wirtschaftlichem Wachstum. Angesichts der demografischen Entwicklung in Deutschland würde Letzteres vor allem eine rasche Verbesserung der Arbeitsproduktivität in Deutschland erfordern (SVR Wirtschaft 2023).

Auf die zunehmenden Zielkonflikte bei den staatlichen Ausgaben kann die Klimaschutzpolitik einerseits mit einer Verschiebung von fiskalischen zu regulatorischen und ökonomischen Instrumenten antworten, die nicht auf staatliche Ausgaben angewiesen sind. Andererseits kann bei den fiskalischen Maßnahmen konsequent die Fördereffizienz im Sinne der THG-Minderungskosten erhöht und auf finanziell selbst tragende Maßnahmen gesetzt werden. Dazu gehört beispielsweise ein Bonus-Malus-System für Pkw, wie es bereits in Frankreich, den Niederlanden, Portugal oder Schweden implementiert ist (siehe Kapitel 3.2). Auch ein Energieeffizienzverpflichtungssystem (Weiße Zertifikate), wie es mittlerweile in rund 20 Mitgliedstaaten der EU zur Umsetzung der Energieeinsparverpflichtung nach Artikel 8 der EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) oder auch in rund der Hälfte der US-Bundesstaaten etabliert wurde, gehört zur Gruppe von Instrumenten, mit denen die finanzielle Förderung von Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen in privaten Haushalten und Unternehmen unabhängig von öffentlichen Haushalten erfolgen könnte. Die Finanzierung erfolgt hier üblicherweise über eine Umlage der Kosten der verpflichteten Unternehmen (in der Regel Energieversorger oder Netzbetreiber) auf die Energiepreise (siehe z. B. Schlomann et al. 2021). Eine Quantifizierung des Finanzbedarfs des Bundes für die Realisierung der projizierten Transformationsinvestitionen ist bislang nur vereinzelt erfolgt (siehe Kapitel 4.2). Angesichts der voraussichtlich volkswirtschaftlich relevanten Volumina, der sich abzeichnenden, nennenswerten Finanzierungslücke und der zunehmenden Zielkonflikte zu Investitionen in anderen Politikfeldern, empfiehlt der Expertenrat der Bundesregierung, eine entsprechende Abschätzung bereits in die Erstellung des nächsten Klimaschutzprogramms aufzunehmen.

- 235 Die **Finanzierung** des neuen, klimaneutralen Kapitalstocks muss sowohl durch öffentliche als auch private Investitionen erfolgen. Grundsätzlich erfordert die Mobilisierung privaten Kapitals geeignete Marktbedingungen. Neben rein privaten Finanzierungen, die ggf. durch öffentliche Förderprogramme – z. B. zur Stärkung der Versorgungssicherheit oder in frühen Phasen der Marktimplementierung – angereizt werden können, sind hierbei auch innovative Finanzierungskonzepte zwischen Bund, Ländern und privaten Geldgebern denkbar, insbesondere im Bereich von Infrastrukturen wie beispielsweise Strom-, Wärme- und Wasserstoffnetzen. Dafür benötigt es geregelte Verfahren für die Einbindung privater Investoren, die entsprechende Geschäftsmodelle ermöglichen. Insgesamt erschweren allerdings maßgebliche Hemmnisse Investitionen generell, aber insbesondere solche für die Transformation in Richtung Klimaneutralität; Einschätzungen dazu werden in Infokasten 10 vertieft dargestellt.

Infokasten 10: Ausgewählte Investitionshemmnisse in den Sektoren (außer LULUCF)

Die sektoralen Trends (siehe Kapitel 2) zeigen, dass mit den derzeitigen Zubauraten des klimaneutralen Kapitalstocks die politischen, teilweise in Gesetzen fixierten Ausbauziele für das Jahr 2030 nur in wenigen Bereichen erreicht werden können. Und auch in diesen Bereichen gilt dies nur, wenn die Zubauraten bis zum Ende des Jahrzehnts mindestens in jetziger Höhe fortgeführt werden. Ein Beispiel hierfür ist der Ausbau von Photovoltaik (siehe Kapitel 2.2) oder der Ausbau von öffentlichen Ladepunkten (siehe Kapitel 2.5). In den meisten anderen Bereichen dagegen würde eine Fortschreibung aktueller Zubauraten die politischen Ziele bis zum Jahr 2030 verfehlen, teilweise weit. Zu nennen ist dabei beispielsweise der Ausbau der Stromnetze in der Energiewirtschaft (siehe Kapitel 2.2), der Zubau von Wärmepumpen im Gebäudesektor (siehe Kapitel 2.4) sowie die Diffusion der Elektromobilität im Verkehrssektor (siehe Kapitel 2.5). In diesen Bereichen müsste die

Ausbaugeschwindigkeit, und damit auch die Investitionen, deutlich erhöht werden, um die politischen Ziele bis zum Jahr 2030 zu erreichen.

Insgesamt nimmt die Attraktivität Deutschlands als Investitionsstandort seit einigen Jahren ab (siehe z. B. Schmidt 2023). Als mögliche Gründe werden u. a. die Schwäche der deutschen Automobilindustrie, der Fachkräftemangel (EIB 2023; SVR Wirtschaft 2023), hohe Energiepreise, Demografie-bedingt niedriges Wachstumspotenzial, andere regionale Schwerpunkte von EU-Großprogrammen wie z. B. NextGen-Europe sowie zunehmende Handelshemmnisse und damit verbundene regionale Verschiebungen von Wertschöpfungsketten genannt (siehe Rusche 2023). Auch dürften weitere allgemein anerkannte Schwächen des Investitionsstandorts Deutschland hierbei eine Rolle spielen wie z. B. geringes Produktivitätswachstum, Rückstände beim Ausbau digitaler Kompetenzen und Infrastruktur, eine fordernde Bürokratie oder Defizite im Kapitalmarkt (siehe u. a. SVR Wirtschaft 2023).

Es ist davon auszugehen, dass solche allgemeinen Investitionshemmnisse auch auf die Transformationsinvestitionen dämpfend wirken.

Weitere Gründe für die bislang in weiten Teilen unter dem Ziel der Bundesregierung liegende Realisierung von Transformationsinvestitionen sind diverse, spezifische Hemmnisse in den einzelnen Sektoren. Der Expertenrat identifiziert vier wesentliche Kategorien solcher Hemmnisse: Investitionsbereitschaft, Investitionsfähigkeit, Genehmigungen und andere administrative Investitionshemmnisse sowie die mangelnde Verfügbarkeit von Inputs (z. B. Vorprodukte und Arbeitskräfte) (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Ausgewählte spezifische Investitionshemmnisse nach Kategorie und Sektor (ohne LULUCF)

Sektor	Investitionsbereitschaft	Investitionsfähigkeit	Genehmigungen/ Administratives	Verfügbarkeit von Inputs
Energiewirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffkosten Henne/Ei-Problematik bei der Wasserstoff-einführung Renditeerwartung bei Netzinvestitionen (Strom, Wärme, Wasserstoff) Unsicherheit bezüglich zukünftiger Strompreise 	<ul style="list-style-type: none"> Unzureichende Finanzkraft bei betroffenen Energie-versorgungsunter-nehmen 	<ul style="list-style-type: none"> EE-Anlagen, v. a. Wind an Land Stromnetz, v. a. im Übertra-gungsbereich 	<ul style="list-style-type: none"> Weltweite Knappheit von elektrischen Anlagen, u. a. Trafos Ressourcen, insbesondere für Tiefbau (siehe Abbildung 49 SVR Wirtschaft 2024a)
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> Kapital steht im weltweiten Wettbewerb Unsicherheit bezüglich zukünftiger Strompreise 	<ul style="list-style-type: none"> Deutsche Unternehmen im geo-ökonomischen Strukturwandel erheblich unter Druck 	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Investitions-schwächen des Standorts 	<ul style="list-style-type: none"> Im Weltvergleich teurer Strom und teure EU-ETS-Zertifikate Höhere Gaspreise als z. B. in den USA Wasserstoff und Derivate nicht (in großem Maßstab) verfügbar
Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige, aktuell sogar sinkende Sanierungsrate 	<ul style="list-style-type: none"> Eigenkapital-Reserven vieler Gebäudebesitzer begrenzt 	<ul style="list-style-type: none"> Prozess der kommunalen Wärmeplanun-gen läuft 	<ul style="list-style-type: none"> Steigende Kosten für Baustoffe

Sektor	Investitionsbereitschaft	Investitionsfähigkeit	Genehmigungen/ Administratives	Verfügbarkeit von Inputs
	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgeprägtes Mieter-Vermieter-Dilemma (Mietquote DE: 58 %) • Hohe Unsicherheit über politischen Rahmen (Bund, kommunale Wärmeplanung) 		teilweise noch bis 2028	<ul style="list-style-type: none"> • Fachkräftemangel, v. a. in transformations-relevanten Gewerken (siehe ERK 2024a)
Verkehr (BEV)	<ul style="list-style-type: none"> • Wegfall Umweltbonus • Wiederverkaufswerte • Geringes Angebot an BEV im Bereich von Kleinwagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringes Angebot an BEV mit niedrigen Kaufpreisen 	–	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Ladeinfrastruktur • Hohe Ladepreise
Verkehr (Güterverkehr)	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrkosten durch Umstieg 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Margen in der Güterlogistik 	–	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Ladeinfrastruktur • Hohe Ladepreise • Wasserstoffverfügbarkeit und -preise • Hohe Mehrinvestitionen

Eigene Darstellung.

236 Von grundlegender Bedeutung ist die Wechselwirkung zwischen Klimaschutzpolitik und **Industriepolitik**. Hier geht es einerseits um die Chancen und Risiken, die sich mit Strukturveränderungen im Zusammenhang mit dem Abbau alten und dem Aufbau neuen Kapitalstocks ergeben, z. B. im Bereich der Automobilbranche. So könnten innovative Technologien, beispielsweise im Bereich neuer Antriebstechnologien im Verkehr, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilwirtschaft und vorgelagerter Branchen stärken. Zugleich birgt dies die Gefahr des Verlustes von Wirtschaftskraft in bewährten Technologiefeldern, wie im Beispiel des Verkehrs bei Verbrennungsmotoren, in denen die deutsche Industrie eine international starke Stellung innehat. Andererseits stellt sich die Frage nach der grundlegenden Verlagerung von Wertschöpfung. So könnte es für Deutschland und die EU langfristig sinnvoll sein, sich vorrangig auf nachgelagerte Wertschöpfungsschritte zu konzentrieren und die dafür notwendigen Vorprodukte aus Drittländern zu importieren, beispielsweise durch den Aufbau von Technologiepartnerschaften mit ausgewählten Partnerländern. Die vorgelagerten Wertschöpfungsschritte, beispielsweise zur Herstellung von Eisenschwamm, Roheisen, Ammoniak oder Methanol könnten vorteilhaft und kostengünstiger in Ländern mit hohen Ressourcen erneuerbarer Energieträger erfolgen (Verpoort et al. 2024a; Verpoort et al. 2024b). Deren Import wäre zugleich erheblich weniger aufwändig als der Import von Energieträgern wie Strom oder Wasserstoff. Zugleich zeigen die genannten Untersuchungen aus dem Ariadne-Projekt (Verpoort et al. 2024a; Verpoort et al. 2024b), dass die Wertschöpfungsanteile der nachgelagerten Produktion einen deutlich höheren Anteil an der Wirtschaftsleistung ausmachen. Allerdings müssten die wegfallenden Wertschöpfungsanteile rasch durch den Aufbau neuer Wertschöpfung ersetzt werden, was entsprechende Bedingungen für den Investitionsstandort Deutschland voraussetzt.

237 Sowohl die genannten finanzpolitischen Zielkonflikte als auch die Fragen der zukünftigen Wirtschafts- und Industriepolitik sind nicht von Verteilungs- und Teilhabefragen zu trennen und haben damit

unmittelbare Auswirkungen auf die **Sozialpolitik und den Arbeitsmarkt**. Auch hier stellt sich die Frage nach Chancen, die sich im Kontext des Aufbaus neuen Kapitalstocks ergeben auf der einen Seite und den Risiken durch den Wegfall fossilen Kapitalstocks, der damit verbundenen Geschäftsmodelle sowie der entsprechenden Arbeitsplätze andererseits. Daneben stellt sich die Frage, wie die Teilhabe an der Transformation und die soziale Abfederung von privaten Haushalten mit unteren und mittleren Einkommen gestaltet werden kann, vor allem angesichts der hohen Belastung öffentlicher Haushalte.

- 238 Relevante Wechselwirkungen der **Umweltpolitik** mit Maßnahmen der Klimaschutzpolitik ergeben sich einerseits aus dem Ausbau von Wandlern zur Nutzung erneuerbarer Energieträger und deren Einfluss auf die Nutzung von Landflächen. Dies gilt sowohl für Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Windenergieanlagen als auch für die Nutzung von Anbaubiomasse für energetische Zwecke. Dabei sind auch Naturschutzbelange betroffen, insbesondere bei der Windenergie (Vögel, Fledermäuse) und bei der Biomassenutzung (Artenvielfalt, Insekten). Andererseits bestehen zahlreiche Wechselwirkungen zwischen klimapolitischen Maßnahmen und Umweltaspekten in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF.
- 239 Während bis dato insbesondere der Aufbau neuen Kapitalstocks im Vordergrund klimapolitischer Maßnahmen stand, hat der Expertenrat bereits in seinem Zweijahresgutachten aus dem Jahr 2022 die **Adressierung aller Handlungsfelder** und insbesondere die notwendige stärkere Implementierung von Maßnahmen zur Reduktion bzw. Verlagerung von Aktivitäten angemahnt (ERK 2022c). Um die Klimaschutzziele zu erreichen, müssten daher auch solche Maßnahmen in den Blick genommen werden, die **Konsumgewohnheiten im privaten Bereich** hinterfragen – und hätten damit Auswirkungen auf etliche Politikfelder wie Wirtschaft, Finanzen oder Umwelt. Das hier diskutierte Handlungsfeld der Reduktion von Aktivitäten und der Ausschöpfung verhaltensbedingter Potenziale der THG-Minderung wird in der internationalen Literatur auch unter dem Begriff der **Suffizienz** diskutiert (siehe Infokasten 11).

Infokasten 11: Suffizienz

Im März des Jahres 2022 hat das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in seinem Klimaschutzbericht erstmals die Bedeutung von **Suffizienz** zusätzlich zu Effizienz und der Nutzung erneuerbarer Energieträger für das Erreichen der Klimaschutzziele hervorgehoben. Der Begriff Suffizienzpolitik wurde in dem Bericht definiert als „ein Bündel von Maßnahmen und Alltagspraktiken, die die Nachfrage nach Energie, Materialien, Land und Wasser vermeiden und gleichzeitig menschliches Wohlergehen für alle innerhalb der planetaren Grenzen ermöglichen“ (IPCC 2022). Solche Politiken wirken sich folglich auf soziale Praktiken und individuelles Verhalten aus und tragen zur Vermeidung, Substitution oder Reduzierung energie- und ressourcenintensiver Nachfrage bei.

Dieses Konzept reduzierten und veränderten Konsums von Ressourcen und Energie (Aktivitäten) ist unter anderem deshalb umstritten, da in der individuellen Wahrnehmung die Befürchtung entstehen kann, dass der persönliche Konsum reguliert und übermäßig stark eingeschränkt wird (Flipo et al. 2024). Dies gilt insbesondere im Zusammenhang mit einem hohen Konsum energieintensiver Güter und Dienstleistungen. Über die individuelle Ebene des Verzichts hinaus sollen Suffizienzpolitiken jedoch vor allem **Rahmenbedingungen** schaffen, die **suffiziente Lebensstile ermöglichen** und fördern, während ressourcenintensiveres Verhalten erschwert würde (SRU 2024; Spengler 2018; Flipo et al. 2024).

Suffizienz als Reduzierung oder Veränderung von Aktivitäten, Effizienz bei Umwandlung und Nutzung sowie der Aufbau eines klimaneutralen Kapitalstocks sind komplementäre Strategien mit dem Ziel, Klimaneutralität zu erreichen (Fischer et al. 2013; Leuser und Pellerin-Carlin 2022). Suffizienz setzt dabei allerdings auf einer tieferliegenden Ebene an als Effizienz oder der Aufbau eines neuen, klimaneutralen Kapitalstocks. Als quantitative Größe ist Energieeffizienz das Verhältnis von Output zum Input an Energie, wobei Outputs physische Erzeugnisse oder Energiedienstleistungen sind (Hirzel 2020). Energieeffizienz geht dabei über eine rein technologische Perspektive hinaus und kann auch verhaltensbasierte Aspekte beinhalten. Effizienz bedeutet, dass weiterhin gleichermaßen oder mehr produziert und konsumiert werden könnte, dabei aber weniger Energie und Ressourcen verbraucht würden. Rebound- und Wohlstandseffekte reduzieren jedoch häufig diese möglichen Einsparungen (siehe auch ERK 2022c), weshalb Suffizienz als weitere elementare Säule für Klima- und Umweltschutz betrachtet werden kann (SRU 2024). Suffizienz, die auf der Veränderung von Wertesystemen und Verhaltensweisen basiert, beinhaltet auch, dass die Gesellschaft höhere THG-Minderungen akzeptiert, ohne dass investiert werden muss. So kann Rebound- und Wohlstandseffekten entgegengewirkt werden. Suffizienz kann so ein wichtiger Treiber für Klimaneutralität sein, ist allerdings deutlich schwieriger politisch zu adressieren.

Neben dem IPCC hat auch die Internationale Energie-Agentur (IEA) die Notwendigkeit von Verhaltensänderungen und verringerten Konsums für das Erreichen der Klimaziele betont (IPCC 2022; IEA 2023b). Im deutschen und europäischen Kontext sind überdies die absoluten Einsparziele zu bedenken, die in Artikel 4 der novellierten EED (siehe Kapitel 2.1) vorgegeben sind (Europäische Kommission 2023b). Aktuell ist vor allem in den Sektoren Gebäude und Verkehr nicht zu erwarten, dass diese Energieeinsparungen nur mithilfe von Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energieträger erreicht werden können. Dem liegen verschiedene Aspekte zugrunde, wie beispielsweise Rebound-Effekte, nicht ausreichenden Kapazitäten zur Energiebereitstellung auf Basis erneuerbarer Energieträger oder die Wirtschaftsentwicklung (ERK 2024a).

In verschiedenen Ländern ist Suffizienz als energiepolitische Strategie bereits verankert, so beispielsweise in Frankreich (Gouvernement de la République française 2023; SRU 2024). Die Energiesuffizienz-Politikdatenbank¹⁴³ bietet eine breite Übersicht über mögliche Maßnahmen in den verschiedenen Sektoren (Zell-Ziegler et al. 2022). Auch gibt es Hinweise, dass politische Empfehlungen, die im Rahmen von Bürgerdeliberationen getroffen werden, einen deutlich höheren Anteil an Suffizienz-Maßnahmen enthalten als die Maßnahmen der nationalen Energie- und Klimapläne (National Energy and Climate Plans - NECPS) (Lage et al. 2023).

240 Tabelle 22 fasst ausgewählte **Politikfelder und Wechselwirkungen** – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – zusammen. Dabei wird deutlich, dass die Wirkung von Klimaschutzpolitik fördernd oder hemmend auf andere Politikfelder ausfallen kann. Dies unterstreicht einerseits die Notwendigkeit einer möglichst wissenschafts-basierten Analyse von Wechselwirkungen als Basis für den notwendigen politisch-gesellschaftlichen Diskurs und politische Entscheidungen. Andererseits zeigt sich daran die Möglichkeit von Gestaltungsspielräumen, die es zu erkennen und zu nutzen gilt.

¹⁴³ <https://energysufficiency.de/policy-database/>

Tabelle 22: Ausgewählte Wechselwirkungen von Klimaschutzpolitik und weiteren Politikfeldern

Politikfeld	Beispiele für Wechselwirkungen mit Klimaschutzpolitik	Potenzielle Synergieeffekte	Potenzielle Zielkonflikte
Allgemeine Wirtschaftspolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau des nicht-fossilen Kapitalstocks und Bepreisung von THG-Emissionen können zu Verlust von Bruttowertschöpfung sowie zu preislichen Anpassungen und inflationären Prozessen führen¹⁴⁴ • Investitionen in neuen Kapitalstock können zu Crowding-out führen (v. a. Finanzmittel, Arbeitskräfte (siehe Kapitel 4.2)) • Wirtschaftliche Schwäche verringert den Spielraum für Investitionen in und Anreize zu neuem Kapitalstock¹⁴⁵ 	<ul style="list-style-type: none"> • Durch Investitionen in neuen Kapitalstock können Innovationen angereizt werden, die im Weltmarkt werthaltig sind • Es können neue Wirtschaftsbereiche entstehen • Importabhängigkeiten bei fossilen Energieträgern können reduziert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeines Wirtschaftswachstum kann schwächer ausfallen als ohne Klimaschutzpolitik • Inflation kann stärker ausfallen • Importabhängigkeiten (z. B. bei Rohstoffen für Energietechnologien oder neuen Energieträgern wie Wasserstoff) können sich vergrößern bzw. geschaffen werden
Industriepolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Der Aufbau des neuen Kapitalstocks bewirkt/beschleunigt Strukturwandel in zahlreichen Sektoren mit Auswirkungen auf zahlreiche andere Politikfelder 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftliche Stärkung von Unternehmen in transformationsrelevante n Märkten • Zusätzlicher Spielraum der Politik, sofern das Wachstumspotenzial durch den Strukturwandel tatsächlich erweitert wird 	<ul style="list-style-type: none"> • Industriestruktur kann sich stärker und ggf. in politisch unerwünschte Richtung verändern als ohnehin schon, einschließlich Verlagerungen von Wertschöpfung ins Ausland • Erhöhung des Imports von transformationsrelevanten Produkten aus dem Ausland, v. a. aus China • Zeitliche Asynchronität zwischen Abbau alter und Aufbau neuer Industrien, die das Wachstumspotenzial beeinträchtigen und den politischen Spielraum damit einschränken
Finanzpolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau neuen Kapitalstocks erfordert zusätzliche 	<ul style="list-style-type: none"> • Staatseinnahmen können durch THG-Steuern und - 	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des allgemeinen Wirtschaftswachstums kann

¹⁴⁴ Gemäß einer Studie des Instituts für Wirtschaft (Bolwin et al. 2024) gehen 88,6 % der dort befragten Unternehmen davon aus, dass die Verfolgung der THG-Minderungsziele die Produktionskosten steigern werden. 61,6 % gehen davon aus, dass ihr Geschäftsmodell durch die Kostensteigerungen gefährdet ist und sich die Wettbewerbsfähigkeit reduziert (53,1 %).

¹⁴⁵ Siehe zu den wirtschaftspolitischen Herausforderungen durch ambitionierte Klimaschutzpolitik ausführlich z. B. (Pisani-Ferry und Mahfouz 2023, v.a. Kapitel 6 bis 12), projizierte Investitionsvolumina (siehe Kapitel 4), Makroökonomische Wechselwirkungen (siehe Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2.2), Fairness (siehe Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2.2), Beanspruchung öffentlicher Haushalte (siehe Kapitel 4.4), Inflationsdruck sowie internationale Wettbewerbsfähigkeit.

Politikfeld	Beispiele für Wechselwirkungen mit Klimaschutzpolitik	Potenzielle Synergieeffekte	Potenzielle Zielkonflikte
	<p>Staatsausgaben (siehe Kapitel 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Staatseinnahmen können wegen der Effekte auf die Wirtschaft reduziert werden 	<p>Abgaben kurzfristig erhöht werden</p>	<p>Staatseinnahmen perspektivisch senken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auf der Ausgabenseite entstehen Konflikte zu anderen Politikfeldern (siehe Kapitel 4.3) • Akzeptanz der zusätzlichen Belastungen durch CO₂-Bepreisung erfordert ggf. zusätzliche Ausgaben (z.B. Klimageld)
Sozialpolitik	<ul style="list-style-type: none"> • THG-Minderung häufig regressiv (z. B. BEHG/EU-ETS 2, siehe Kapitel 3.2, sowie auch durch allgemeine Inflation) • Grundsätzlich haben einkommensarme Haushalte geringere Anpassungsmöglichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine sozial gerechte Gestaltung kann Chancen für mehr Lebensqualität heben, v. a. im Bereich der Wohnungs- und Verkehrspolitik 	<ul style="list-style-type: none"> • In der Regel vor allem bei Instrumenten, die die ökonomische Leistungsfähigkeit Einzelner nicht berücksichtigen • Die Ausgestaltung von Maßnahmen ist entscheidend dafür, wie stark die sozialpolitischen Auswirkungen sind
Arbeitsmarktpolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturwandel in der Industrie führt zu Veränderung in der Beschäftigungsstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturwandel kann zu neuen, gut bezahlten Arbeitsplätzen führen • Zukunftsfähige neue Berufsfelder können entstehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplätze können wegfallen bzw. sich strukturell verschieben • Abbau von alten fossilen Strukturen kann (zumindest temporär und/oder regional) Arbeitslosigkeit verursachen
Sicherheitspolitik	<ul style="list-style-type: none"> • THG-Minderung verringert Nutzung von (heimischen und importierten) fossilen Brennstoffen • THG-Minderung fördert Nutzung von (heimisch gewonnenen) erneuerbaren Energieträgern • Wirtschafts-, Industrie- und Finanzpolitische Wechselwirkungen wirken auch auf Verteidigungsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Sofern der Anteil heimischer, speicherbarer Energieträger erhöht wird, könnte Verteidigungsfähigkeit gestärkt werden. • Umbau des Energiesystems eröffnet Chancen, Resilienz in der neuen Architektur zu berücksichtigen (z. B. zelluläre Strukturen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Zunehmende Abhängigkeit von wetterbasierten Ressourcen kann energetische Leistungsfähigkeit verringern • Strukturwandel kann verteidigungsrelevante Grundstoffindustrien aus Deutschland verdrängen • Das angestrebte neue Energiesystem könnte wegen der hohen Anzahl aktiv am Strommarkt Beteiligter höhere Gefahr für digitale Angriffe von außen bieten

Politikfeld	Beispiele für Wechselwirkungen mit Klimaschutzpolitik	Potenzielle Synergieeffekte	Potenzielle Zielkonflikte
Umweltpolitik	<ul style="list-style-type: none"> Aufbau von neuem, emissionsarmen Kapitalstock beeinflusst Landnutzung 	<ul style="list-style-type: none"> Agri-PV kann bei geeigneter Konzeption höhere landwirtschaftliche Erträge ermöglichen (verminderte Austrocknung, Hagelschutz) Freiflächen-PV kann bei entsprechender Umsetzung zur Biodiversität beitragen 	<ul style="list-style-type: none"> Potenzielle Konflikte zum Naturschutz, v. a. zu den Biodiversitätszielen (z. B. Windenergie an Land und Vogelschutz).

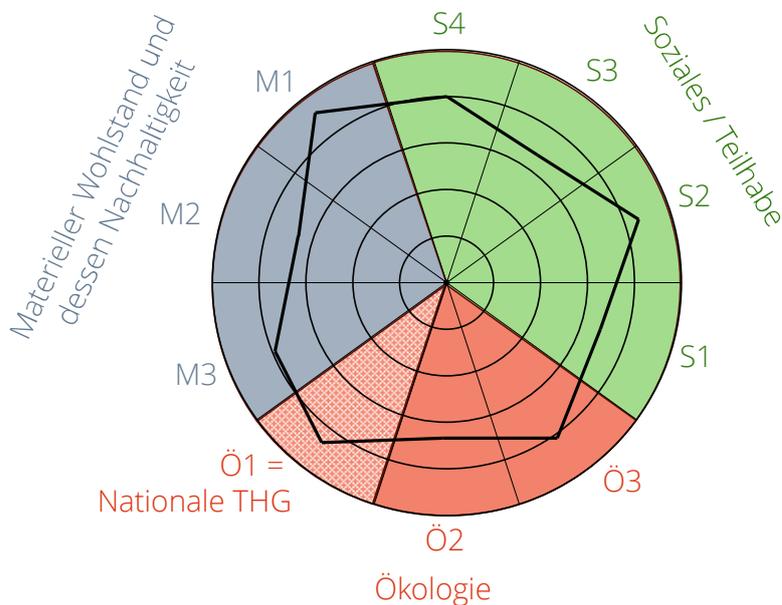
Eigene Darstellung.

5.3 Anforderungen an die künftige Klimaschutzpolitik

241 Vor dem Hintergrund der in den vorherigen Kapiteln dargestellten aktuellen Situation und der herausfordernden Randbedingungen hält der Expertenrat eine **umfassende Einbettung der Klimaschutzpolitik in eine politische Gesamtstrategie** für eine notwendige Voraussetzung, um die Chance auf ein Erreichen der THG-Minderungsziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes zu wahren. Diese breitere Einbettung bedeutet vor allem, dass zukünftige Klimaschutzprogramme und die darin enthaltenen Maßnahmen unter wesentlich stärkerer Einbeziehung von Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern gestaltet werden müssen, um unerwünschte oder schädliche Auswirkungen in anderen Politikfeldern zu minimieren, Synergien und Co-Benefits zu maximieren und somit letztlich ihre Umsetzbarkeit und Akzeptanz im größeren Kontext sicherzustellen.

242 Für die Umsetzung einer Klimapolitik, die in eine Gesamtstrategie unter Einbeziehung aller relevanten Politikfelder eingebettet ist, wird ein **umfassendes Zielsystem** benötigt. Während für die Teilstrategie zur THG-Minderung bereits explizite, quantitative Zielvorgaben festgelegt wurden, insbesondere im Bundes-Klimaschutzgesetz sowie im Weiteren durch die Einbettung dieser Ziele in das europäische Emissions-Zielsystem, sind die Ziele in den anderen relevanten Politikbereichen in der Regel weniger klar und eindeutig formuliert. Zudem gibt es aus Sicht des Expertenrats bislang keine Überprüfung, ob die Ziele in den unterschiedlichen Politikfeldern im Zeitverlauf miteinander konsistent sind, d. h. ob es unter realistischen Annahmen überhaupt möglich sein kann, diese Ziele zugleich zu erreichen. Wenn das nicht der Fall ist, stellt sich die Frage, welchen Zielen höhere Priorität eingeräumt wird oder wie ein Prozess für eine möglichst gleichmäßige Verfolgung der einzelnen Zieldimensionen aufgesetzt werden kann. Denkbar wäre für diesen Zweck beispielsweise die regelmäßige Erstellung einer übergreifenden Mittelfristplanung (typischerweise für Legislaturperioden) unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Politikfeldern als transparente Leitlinie politischen Handelns. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung, das nächste Klimaschutzprogramm anhand von Szenarien mit der Prüfung zu verknüpfen, ob die politischen Ziele mit Zielen in anderen Politikfeldern kompatibel sind.

Abbildung 31: Exemplarische Darstellung eines Multi-Zielsystems und Visualisierung im Hinblick auf Zielerreichung (unter beispielhafter Verwendung der Dimensionen aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“)



Eigene Darstellung unter Verwendung von Dimensionen aus Enquete-Kommission (2013).

243 Für die Entwicklung eines umfassenden Zielsystems benötigt es eine Verständigung auf ein **System geeigneter Indikatoren**, das dieses Zielsystem möglichst vollständig und zugleich handhabbar abbildet und eine Überprüfung im Hinblick auf die Zielerreichung ermöglicht. Ein Indikatorensystem, welches der Expertenrat als möglichen Ausgangspunkt hierfür erachtet, ist das Indikatorensystem, das im Jahr 2013 durch die Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität – Wege zu nachhaltigem Wirtschaften und gesellschaftlichem Fortschritt in der Sozialen Marktwirtschaft“ entwickelt wurde (Enquete-Kommission 2013). Dieses besteht aus zehn Leitindikatoren, neun Warnlampen und einer Hinweislampe, mit denen die drei als grundsätzlich relevant erachteten Dimensionen „Materieller Wohlstand“, „Soziales/Teilhabe“ und „Ökologie“ erfasst werden.¹⁴⁶ Eine Darstellung zur Visualisierung im Hinblick auf das Messen der Zielerreichung, die sich beispielhaft an den zehn zuvor genannten Leitindikatoren orientiert, zeigt Abbildung 31.

244 Ausgehend von formulierten Zielen, von deren Konkretisierung in geeigneten Indikatoren sowie der Formulierung von Zielwerten für diese Indikatoren innerhalb einer politischen Gesamtstrategie scheint

¹⁴⁶ Konkret wurden folgende Indikatoren vorgeschlagen: i) für die Dimension „Materieller Wohlstand“ und dessen Nachhaltigkeit: BIP pro Kopf, Einkommensverteilung, Staatsschulden, ii) für die Dimension „Soziales/Teilhabe“: Beschäftigung, Bildung, Gesundheit und Freiheit, iii) für die Dimension „Ökologie“: Treibhausgase, Stickstoff und Artenvielfalt. Darüber hinaus wurden weitere Indikatoren, so genannte Warnlampen, definiert, die im Hintergrund wirken. In der Zusammenfassung des Endberichts der Enquete-Kommission heißt es hierzu: „Diese Indikatoren stehen für zusätzliche wichtige Informationen in den jeweiligen Wohlstandsbereichen. Sie ergänzen die Leitindikatoren und werden nur dann sichtbar und analysiert, wenn sie sich negativ entwickeln beziehungsweise gewisse Grenzwerte überschreiten. So soll die Aufmerksamkeit gezielt auf Fehlentwicklungen gelenkt werden, die die Leitindikatoren nicht ausreichend abbilden beziehungsweise deren positive Entwicklung gefährden.“ (Enquete-Kommission 2013) Für den Bereich Ökologie wurde die Entwicklung der globalen THG-Emissionen als ein solcher zusätzlicher Indikator ausgewählt.

– analog zum heute etablierten Prozess zur Minderung der THG-Emissionen – ein **Gesamtprozess der Umsetzung** sinnvoll, der zumindest die drei nachfolgend genannten Schritte umfasst:

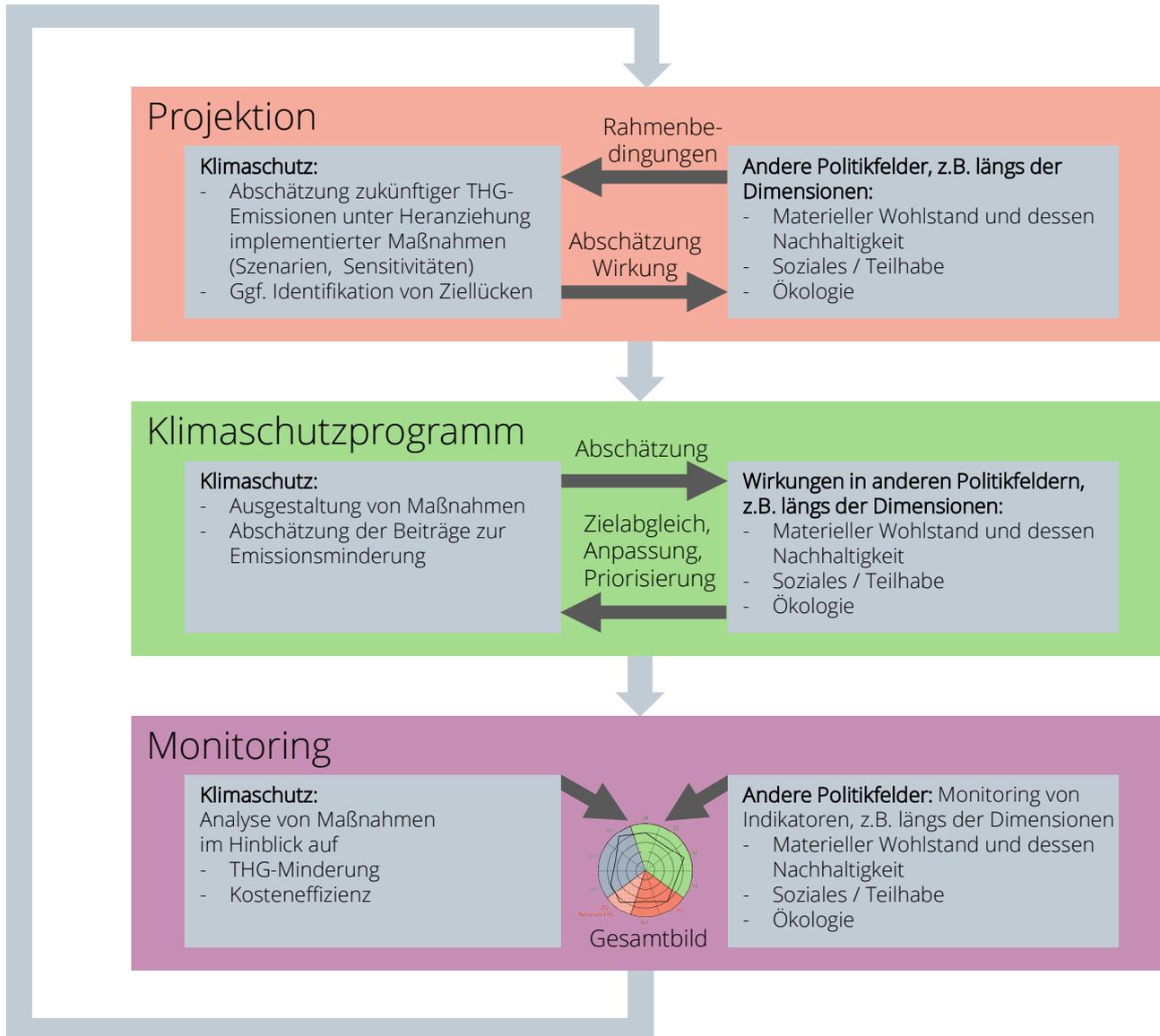
- i) die regelmäßige Überprüfung der Ziele mit dem Ergebnis der Identifikation möglicher Lücken zur Zielerreichung;
- ii) die Auswahl, Ausgestaltung und Umsetzung neuer oder die substanzielle Novellierung bestehender Maßnahmen;
- iii) das Monitoring der Umsetzung der beschlossenen Maßnahmen und ihrer Wirksamkeit hinsichtlich der Zielerreichung.

245 Klimaschutzpolitik wird mit einem solchen Vorgehen integraler Bestandteil der Umsetzung einer politischen Gesamtstrategie. Auch im **heutigen Bundes-Klimaschutzgesetz** wird zwar schon auf Querverbindungen zu anderen Politikfeldern Bezug genommen. So sollen im Zusammenhang mit der Erstellung von Klimaschutzprogrammen die Maßnahmenvorschläge nach § 9 Abs. 2 KSG „neben wissenschaftlichen Abschätzungen zu den voraussichtlichen Treibhausgasminderungswirkungen auch wissenschaftliche Abschätzungen zu möglichen ökonomischen, sozialen und weiteren ökologischen Folgen“ enthalten und dabei „soweit möglich auch Auswirkungen auf die Beschäftigungsentwicklung, die Wirtschaftsstruktur, die Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse auch im ländlichen Raum sowie die Effizienz des Einsatzes von natürlichen Ressourcen“ einschließen. Allerdings ist diese Anforderung im Gesetz bereits einschränkend formuliert und wurde bisher nur unzureichend erfüllt. Und zu keinem Zeitpunkt erfolgte eine breite Einbettung in die politische Gesamtstrategie unter weitgehender Einbeziehung maßgeblicher Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern.

246 Für die künftige Klimaschutzpolitik bedeutet dies, dass die umfassende Einbettung bei der **Ausgestaltung und Implementierung von Klimaschutzprogrammen** wie auch für vor- und nachgelagerte Prozessschritte ihren Niederschlag finden muss. Sowohl im Kontext der **Projektionsmodellierung** zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der THG-Emissionen bedarf es einer dezidierten Einbeziehung der genannten Wechselwirkungen als auch für das **Monitoring**, bei dem gleichrangig neben den Zielen für die Entwicklung der THG-Emissionen weitere wichtige gesamtwirtschaftliche und gesamtgesellschaftliche Ziele und deren Wechselwirkung mit der Klimapolitik erfasst werden sollten. In Abbildung 32 ist ein möglicher erweiterter, umfassend angelegter **Gesamtprozess der Klimaschutzpolitik** mit den drei genannten Kernelementen im Sinne einer breiteren Einbettung von Klimaschutzpolitik dargestellt.

247 Treten aufgrund der umfassenden Analyse **Zielkonflikte** zu Tage, ist ein politischer Aushandlungsprozess erforderlich. Dabei sind die THG-Minderungsziele durch das Bundes-Klimaschutzgesetz und den zugrunde liegenden Beschluss des Bundesverfassungsgerichts im Jahr 2021 sowie durch europäische Vorgaben gehärtet. Daraus folgt, dass sich die Kompromissfindung zunächst aus und in den verbleibenden Politikfeldern ergeben muss. Umso wichtiger erscheint dem Expertenrat die umfassendere Einbettung der Klimaschutzpolitik in den gesamtpolitischen Kontext. Denn aus Sicht des Expertenrats sollten etwaige Zielkonflikte transparent benannt und offengelegt und damit dem gesellschaftlich-politischen Diskurs zugeführt werden. Andernfalls würde die durch die Realität eintretende Manifestierung der Zielkonflikte die Akzeptanz der zum Erreichen der gesetzten Klimaschutzziele notwendigen Maßnahmen gefährden, womit dem Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes vermutlich deutlich weniger gedient wäre.

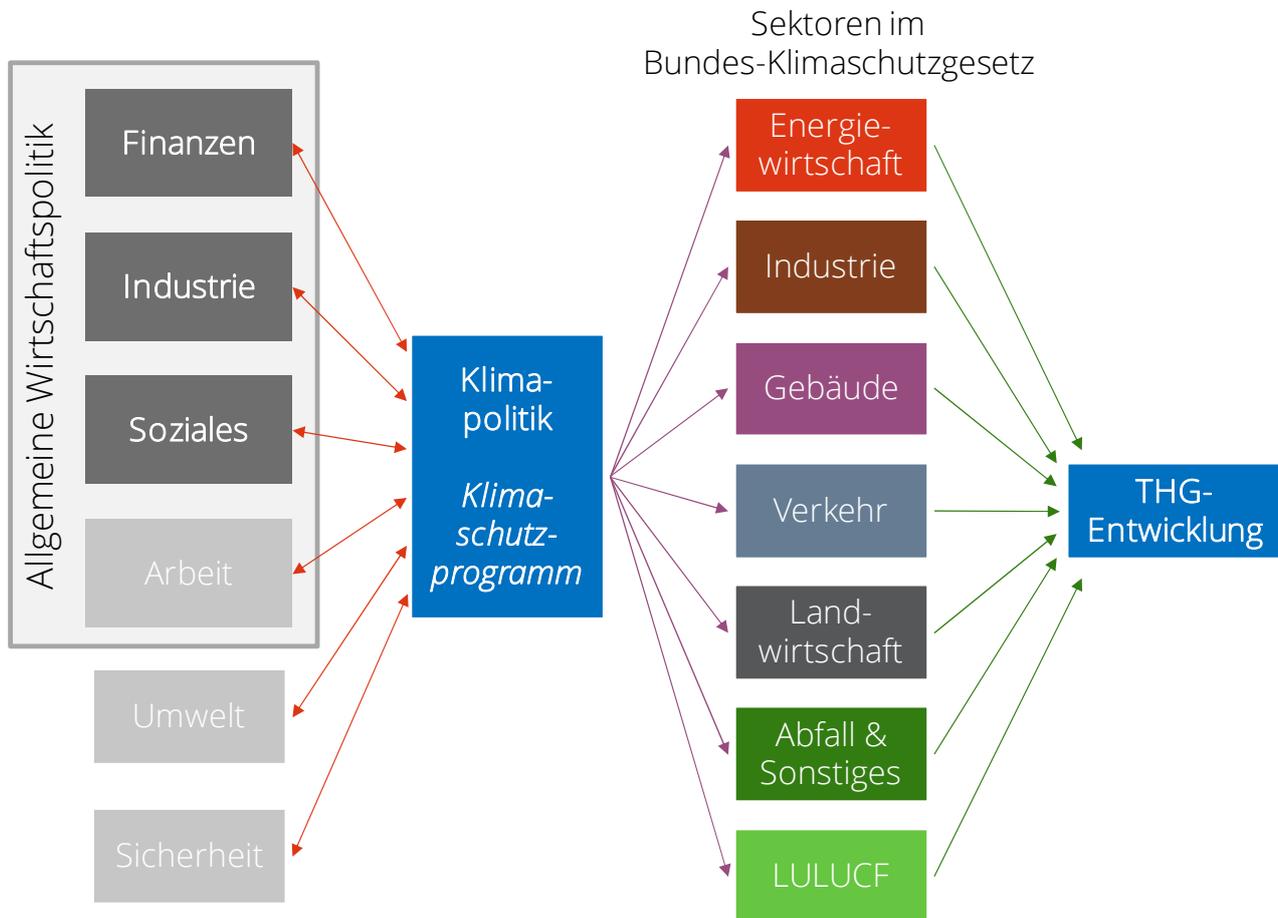
Abbildung 32: Umsetzung zukünftiger Klimaschutzpolitik mit umfassender Einbettung in eine politische Gesamtstrategie (unter beispielhafter Verwendung der Dimensionen aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“)



Eigene Darstellung unter Verwendung von Dimensionen aus Enquete-Kommission (2013).

248 Nachfolgend werden Anforderungen an künftige Klimaschutzprogramme im Zusammenspiel mit **wichtigen Politikfeldern**, die eine starke Wechselwirkung zur Klimapolitik aufweisen (siehe Abbildung 33), diskutiert und wesentliche Fragestellungen zusammengefasst, die bei der Erstellung von Klimaschutzprogrammen einbezogen werden sollten (siehe Tabelle 23).

Abbildung 33: Wichtige Politikfelder mit starker Wechselwirkung zur Klimaschutzpolitik



Eigene Darstellung.

249 Grundsätzlich gilt es, im Vorfeld der Verabschiedung klimapolitischer Maßnahmen deren Implikationen auf das Wirtschaftsgeschehen abzuschätzen. Eine Ausrichtung klimapolitischer Maßnahmen in Korrespondenz mit der **allgemeinen Wirtschaftspolitik** setzt voraus, dass von der Regierung wirtschaftspolitische Ziele formuliert sind, so dass eine Gesamtbewertung vorgenommen werden kann. Dafür gilt es, mögliche Zielkonflikte ebenso wie mögliche Synergien oder Co-Benefits zu identifizieren und zu benennen, um diese dann in eine Priorisierung und die Ausgestaltung klimapolitischer Maßnahmen einzubeziehen oder ggf. auch flankierende wirtschaftspolitische Maßnahmen zu benennen, die zur Dämpfung oder Kompensation einer möglicherweise negativen Wirkung beitragen. Insbesondere bei der allgemeinen Wirtschaftspolitik wird es nicht reichen, derartige Gesamtbetrachtungen jeweils für ein einzelnes Klimaschutzprogramm vorzunehmen, sondern hier bedarf es einer längerfristig angelegten Vorstellung zur Entwicklung des Wirtschaftsstandorts Deutschland im internationalen Kontext.

250 In Wechselwirkung mit der **Finanzpolitik** ergibt sich zuvorderst die Anforderung, dass bei der Erstellung eines Klimaschutzprogramms nicht nur eine Priorisierung der klimaschutzpolitischen Maßnahmen untereinander, sondern zunächst auch im größeren Kontext mit anderen Finanzierungsverpflichtungen des Staates zu erfolgen hat. Daraus ergibt sich, welches Budget für die Ausgestaltung und Begleitung klimapolitischer Maßnahmen zur Verfügung steht. Innerhalb eines Klimaschutzprogramms sollten

Zuwendungen durch die öffentliche Hand (Zuschüsse, Förderung, Subventionen) möglichst kosteneffizient ausgestaltet und nach Kosteneffizienz priorisiert werden. Dort, wo sie dennoch sinnvoll oder notwendig erscheinen, sollten sie Verteilungsfragen berücksichtigen und so ausgestaltet werden, dass Mitnahmeeffekte möglichst vermieden werden. Vor dem Hintergrund der begrenzten zur Verfügung stehenden Mittel bedarf es grundsätzlich einer konsequenten Priorisierung im Hinblick auf deren Verwendung. Dabei sind Risiken in der Finanzierung nach Möglichkeit zu antizipieren, um eine solide Finanzierung auch in Folgejahren sicherzustellen. Wo möglich, gilt es Rahmenbedingungen zu schaffen, die auch innovative Finanzierungskonzepte für das Zusammenspiel öffentlicher und privater Investitionen in Bereichen der Infrastrukturen ermöglichen, wie z. B. dem Ausbau von Strom- und Wärmenetzen oder auch Netzen für Wasserstoff. Derartige Konzepte werden aktuell unter anderem verstärkt im Bereich der kommunalen Wärmeplanung verfolgt (WPG 2023). Wichtig ist hier eine hohe Verlässlichkeit (solide Konzeption mit realistischer Zeitplanung) und eine hohe Effizienz in der Umsetzung (schlanke bürokratische Prozesse mit möglichst hohem Grad der Digitalisierung). Dabei wird regelmäßig das Spannungsfeld zwischen angemessener Rentabilität zum Anreiz der privaten Investitionen und das wirtschafts- und verteilungspolitische Ziel möglichst geringer Steigerungen bei den Energiekosten sorgfältig betrachtet und zu einem angemessenen Ausgleich gebracht werden müssen.

- 251 Die Minderung von THG-Emissionen in der Industrie erweist sich in den Projektionen dann als besonders anspruchsvoll, wenn keine wesentlichen Änderungen in der Struktur der deutschen Industrie durch innovative Konzepte und Strukturwandel mitgedacht werden. Die Aufrechterhaltung bestehender Strukturen unter den Bedingungen der Klimaneutralität würde nämlich erhebliche Mengen klimaneutral hergestellter Sekundärenergieträger (z. B. Strom, Wasserstoff) erfordern, um die heute genutzten fossilen Energieträger zu ersetzen. Die Verfügbarmachung solcher Mengen in Deutschland zu wettbewerbsfähigen Konditionen stellt voraussichtlich eine große Herausforderung dar. Eine wichtige Fragestellung der **Industriepolitik** ist deshalb, welche Wertschöpfungsbereiche vor dem Hintergrund von Emissionszielen, aber auch der unabhängig davon stattfindenden geopolitischen und geoökonomischen Einflüsse auf Deutschland, aktiv, d. h. unter dem Eingriff politischer Gestaltung und Aufwendung staatlicher Finanzmittel, gehalten und weiterentwickelt werden sollen. Wesentliche dabei zu berücksichtigende Gesichtspunkte betreffen auch neu entstehende Branchen und Geschäftsmodelle, insbesondere im Bereich der Digitalisierung und Künstlichen Intelligenz. Wirtschafts- und Industriepolitik ist deshalb eng verknüpft mit Forschungs- und Innovationspolitik (Burchardt et al. 2024). Für die Ausgestaltung von Klimaschutzprogrammen ist die Einbeziehung derartiger Fragestellungen von grundlegender Bedeutung.
- 252 Nahezu alle klimapolitischen Maßnahmen haben entweder unmittelbare oder zumindest mittelbare Auswirkungen auf Verteilungsfragen und erfordern deshalb zum einen Antworten darauf, wie die Teilhabe aller an der Transformation ermöglicht werden kann, und darüber hinaus auch eine Abstimmung mit der **Sozialpolitik**. Auch hier gilt es zunächst eine Abschätzung von angedachten klimapolitischen Maßnahmen im Hinblick auf Verteilungswirkungen durchzuführen, um im Anschluss einen Abgleich mit sozialpolitischen Zielen vornehmen zu können. Dabei müssen Zielkonflikte identifiziert und benannt werden, um im nächsten Schritt die Maßnahmen anzupassen und zu priorisieren. Wo Co-Benefits möglich sind, gilt es diese ebenfalls zu benennen und bei der Ausgestaltung nach Möglichkeit gezielt zu verstärken. Ähnlich wie bei der Wirtschaftspolitik gilt auch für die Sozialpolitik, dass es einer längerfristig angelegten Ausrichtung bedarf, um die Ausgestaltung von Klimapolitik in Wechselwirkung dazu zu gestalten. Diese Ausrichtung betrifft einerseits Ziele im Hinblick auf die Verteilung gesellschaftlichen Vermögens und andererseits auch Vorstellungen zur Entwicklung von Möglichkeiten der Lebensgestaltung, z. B. im Hinblick auf Stadt-Land-Beziehungen, Mobilitätssysteme,

die Entwicklung urbaner Räume und vieles mehr. Hinsichtlich der Verteilungsfragen gilt es, klimapolitische Instrumente so zu gestalten, dass Belastungen fair verteilt und insbesondere vulnerable Gruppen geschützt werden (siehe Kapitel 3). Die längerfristig angelegte Entwicklung von Möglichkeiten der Lebensgestaltung hat direkte Auswirkungen auf das Verhalten der Menschen, z. B. im Hinblick auf Mobilität und Konsum, und somit auch Auswirkungen auf THG-Emissionen.

- 253 Die Entwicklung des Arbeitsmarktes hängt einerseits unmittelbar mit der allgemeinen Wirtschaftspolitik und dabei speziell der Industriepolitik zusammen. Andererseits ergeben sich auch aus klimapolitischen Zielen und Maßnahmen Anforderungen an die **Arbeitsmarktpolitik**, da insbesondere für den Aufbau eines neuen, klimaneutralen Kapitalstocks ausreichend Arbeitskräfte mit spezifischen Kompetenzen und Kenntnissen benötigt werden. Beide Aspekte sind im Kontext der Entwicklung klimapolitischer Programme einzubeziehen und bei der Gestaltung und Priorisierung von klimapolitischen Maßnahmen zu berücksichtigen.
- 254 Die Anforderungen bei der **Umweltpolitik** sind ähnlich gelagert wie diejenigen bei der Industriepolitik und der Sozialpolitik. Einer Abschätzung der Wirkungen klimapolitischer Maßnahmen auf umweltpolitische Belange sollte ein Zielabgleich, die Identifikation und Benennung von Zielkonflikten und Synergien sowie im Anschluss die entsprechende Anpassung und Priorisierung folgen. Auch hier könnten ggf. flankierende Maßnahmen angezeigt sein, wie z. B. die gezielte Implementierung von Maßnahmen des Vogelschutzes bei der Installation von Windenergieanlagen, um negative Wirkungen abzdämpfen.
- 255 Neben der grundlegenden Frage der Verteilung von begrenzt verfügbaren Mitteln im Bundeshaushalt, wo sich vor dem Hintergrund der stark gestiegenen Anforderungen an den Schutz der inneren und äußeren Sicherheit neue Priorisierungsnotwendigkeiten ergeben, gibt es weitere Wechselwirkungen zwischen **Sicherheitspolitik** und Klimapolitik. Beispielsweise können zunehmende Bedrohungen durch hybride Kriegsführung kritische Infrastrukturen wie die Energieversorgung in Angriff nehmen. Hier stellt sich die Frage, welche Gefahren sich aus der Transformation des Energiesystems ergeben und wie diese abgewendet werden können. Auch die Verlagerung von Wertschöpfung, z. B. im Bereich der Stahlproduktion könnte problematische Auswirkungen auf die Landesverteidigung haben.

Tabelle 23: Frageliste für die Erarbeitung umfassend eingebetteter Klimaschutzprogramme (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Politikfeld	Fragestellung
Datengrundlage	Entwicklung von Investitionen, De-Investitionen und veränderten Aktivitäten im Energiesystem i. w. S. bei unterstellten Maßnahmen realistisch und konsistent abgeschätzt (vgl. ERK 2024b, Tabelle 10)?
	<p>Dabei insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkung mit dem allgemeinen Wirtschaftsgeschehen (einschließlich wirtschaftlicher Strukturveränderungen bei Kapital, Bruttowertschöpfung und Arbeitsvolumen sowie Auswirkungen auf Zins und Inflation) explizit und konsistent erfasst und dabei Klimafolgekosten und Klimaanpassungsaufwand zumindest überschlägig erfasst (makro-ökonomische Kopplung)? • Investitionskalkül der unterstellten Investitionen explizit und konsistent erfasst (mikro-ökonomische Konsistenzprüfung)? • Verteilungswirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen, einschließlich vorgesehener Ausgleichsmaßnahmen, explizit und konsistent abgeschätzt und ausgewiesen (verteilungspolitische Kopplung)? • Verfügbarkeit der für die verschiedenen Zwecke (v. a. direkte Investitionen, Förderung von Investitionen, Lastenausgleich) eingeplanten Bundesfinanzmittel sowie (überschlägig) der eingeplanten Landes- und kommunalen Finanzmittel explizit und konsistent aus Budgetüberlegungen hergeleitet, welche mit den Erkenntnissen zum Wirtschaftsgeschehen konsistent sind (finanzpolitische Kopplung)?
Allgemeine Wirtschaftspolitik	Wirtschaftspolitische Ziele mit Datengrundlage für Klimaschutzprogramm abgeglichen?
	Mögliche Zielkonflikte identifiziert und benannt?
	Mögliche Synergien und Co-Benefits identifiziert und benannt?
	Kosteneffizienz der Maßnahmen (zur Minimierung der wirtschaftlichen Lasten) flächendeckend nachgewiesen bzw. bei Nicht-Nachweis angemessen begründet?
	Ggf. flankierende wirtschaftspolitische Maßnahmen jenseits der Klimaschutzpolitik und des Klimaschutzprogramms benannt und Rückwirkungen zumindest überschlägig in die Abschätzungen integriert?
Industriepolitik	Industriepolitische Ziele mit Datengrundlage für Klimaschutzprogramm abgeglichen?
	Mögliche Zielkonflikte identifiziert und benannt?
	Mögliche Synergien und Co-Benefits identifiziert und benannt?
	Ggf. flankierende industriepolitische Maßnahmen jenseits der Klimaschutzpolitik und des Klimaschutzprogramms benannt und Rückwirkungen zumindest überschlägig abgeschätzt?
Finanzpolitik	Maßnahmen, die öffentliche Mittel erfordern, minimiert und konsequent priorisiert?
	Solide Finanzierung unter Einbeziehung zukünftiger Risiken einschließlich einer realistischen Bewertung der Klimaanpassungsausgaben sichergestellt?
	Optionen für private Investitionen geprüft? Rahmenbedingungen für Einbeziehung privater Investitionen geschaffen?

Politikfeld	Fragestellung
Sozialpolitik	Sozialpolitische Ziele mit Datengrundlage für Klimaschutzprogramm abgeglichen?
	Mögliche Zielkonflikte identifiziert und benannt?
	Mögliche Synergien und Co-Benefits identifiziert und benannt?
	Klimaschutzpolitische Maßnahmen im Kontext sozialpolitischer Wirkungen angepasst und priorisiert?
	Ggf. flankierende verteilungspolitische Maßnahmen jenseits der Klimaschutzpolitik und des Klimaschutzprogramms benannt und Rückwirkungen zumindest überschlägig in die Abschätzungen integriert?
Arbeitsmarktpolitik	Annahmen in der Datengrundlage zur Entwicklung des Arbeitsmarkts und zu notwendigen Fachkräften (quantitativ und qualitativ) auf (bildungs-)demografische Plausibilität geprüft?
	Arbeitsmarktpolitische Ziele mit Datengrundlage für Klimaschutzprogramm abgeglichen?
	Klimaschutzpolitische Maßnahmen im Hinblick auf arbeitsmarktpolitische Implikationen angepasst und priorisiert?
	Ggf. flankierende arbeitsmarkt- und bildungspolitische Maßnahmen jenseits der Klimaschutzpolitik und des Klimaschutzprogramms benannt und Rückwirkungen zumindest überschlägig in die Abschätzungen integriert?
Umweltpolitik	Abschätzungen zu Auswirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen auf die Umwelt vorgenommen?
	Umweltpolitische Ziele mit Datengrundlage für Klimaschutzprogramm abgeglichen?
	Mögliche Zielkonflikte identifiziert und benannt?
	Mögliche Synergien und Co-Benefits identifiziert und benannt?
	Klimaschutzpolitische Maßnahmen im Kontext umweltpolitischer Wirkungen angepasst und priorisiert?
	Ggf. flankierende umweltpolitische Maßnahmen jenseits der Klimaschutzpolitik und des Klimaschutzprogramms benannt und Rückwirkungen zumindest überschlägig in die Abschätzungen integriert?
Sicherheitspolitik	Abschätzungen zu Auswirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen auf die Sicherheitspolitik vorgenommen, insbesondere bezüglich der Resilienz der Energieversorgung und der Industriestruktur?
	Sicherheitspolitische Ziele (einschließlich Resilienzziele) mit Datengrundlage für Klimaschutzprogramm abgeglichen?
	Klimaschutzpolitische Maßnahmen im Hinblick auf sicherheitspolitische Implikationen angepasst und priorisiert?
	Ggf. flankierende sicherheitspolitische Maßnahmen jenseits der Klimaschutzpolitik und des Klimaschutzprogramms benannt und Rückwirkungen zumindest überschlägig in die Abschätzungen integriert?

Eigene Darstellung.

256 Zur regelmäßigen Überprüfung im Hinblick auf den Grad der Zielerreichung ist ein **systematisches und standardisiertes Monitoring** erforderlich. Hierfür könnte – wie oben dargestellt – auf bestehende Indikatorensysteme aufgesetzt werden. Für viele politische Handlungsfelder sind zudem bereits qualitative und quantitative Daten vorhanden, die für eine konkrete Umsetzung eines umfassend angelegten Monitorings genutzt werden könnten. Regelmäßig erstellte Berichte verschiedener Gremien wie z. B. die jährlichen Berichte des Sachverständigenrates für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung, der alle vier Jahre erscheinende Sozialbericht, die Berichte des Sachverständigenrates für Umweltfragen und die Berichte des Expertenrates für Klimafragen (hier insbesondere das Zweijahresgutachten) könnten hierfür genutzt werden. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Wechselwirkungen hält der Expertenrat auf alle Fälle eine geeignete Zusammenführung für erforderlich, um über isolierte Betrachtungen hinauszukommen. Der Expertenrat hat in seinem Sondergutachten zu den Projektionsdaten 2024 (ERK 2024a, RZ 162) im Kontext von Konsistenzanforderungen für die Modellierung der Projektionsdaten „die angemessene Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkungen der verschiedenen Sektoren, die im Bundes-Klimaschutzgesetz genannten werden, mit der wirtschaftlichen Entwicklung als Ganzes“ angemahnt. Weiter heißt es dort: „Für eine konsistente Abbildung des Emissionsgeschehens scheint es [...] wichtig, volkswirtschaftliche Zusammenhänge modellendogen zu erfassen einschließlich deren Rückwirkungen auf die Investitionen und damit die Transformationsgeschwindigkeit. Der ermittelte Projektionspfad sollte daher wesentliche Wirkzusammenhänge wie Nachfrageentwicklung, Beschäftigungsimplicationen (Stichwort Fachkräftemangel), Budgets privater Haushalte und Staatsfinanzen sowie Änderungen relevanter Wertschöpfungsketten ausdrücklich erfassen.“ Diese Anforderungen lassen sich sinngemäß auf die Anforderungen an ein Monitoringsystem übertragen.

257 Unabhängig vom oben beschriebenen Monitoring im breiteren Sinne, das die Wechselwirkung mit anderen Politikfeldern in den Fokus nimmt, ist separat davon die Umsetzungs-Governance und das **Monitoring zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen** wichtig. Schon bisher ist diese Aufgabe nur unzureichend gelöst, wie der Expertenrat in seiner Stellungnahme zum Klimaschutzprogramm 2023 festgestellt hat (ERK 2023c). Dazu würde ein systematisches Monitoring und ein Umsetzungs-Controlling gehören, das aus Sicht des Expertenrats mindestens folgende Elemente enthält (siehe ERK 2023c):

- i) Ein Umsetzungs-Controlling, welches überprüft, ob die Bundesregierung das umgesetzt hat, was sie sich in dem Programm vorgenommen hat inklusive einer Betrachtung des Grades der Umsetzung im Zeitverlauf.
- ii) Ein Abgleich, ob die Basis für die Wirkabschätzung der Maßnahmen zur Umsetzung bzw. dem Umsetzungsgrad des Programms passt und
- iii) eine Wirkabschätzung mit einem Abgleich, ob die Projektion und die anvisierten Minderungsmengen übereinstimmen.¹⁴⁷

Zudem sollten die Wirkabschätzungen der Maßnahmen – wie im Bundes-Klimaschutzgesetz beschrieben – nicht nur die Emissionsminderung, sondern auch die ökonomischen, sozialen und weiteren ökologischen Folgen betrachten.

¹⁴⁷ Eine solche Art von Wirkabschätzung wurde für frühere Programme, beispielsweise für das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IKEP) 2007 und das Aktionsprogramm Klimaschutz (APK) im Jahr 2020 schon erfolgreich durchgeführt (Doll et al. 2012; Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017-2021). Dagegen wurde eine solche Analyse bei den letzten beiden Klimaschutzprogrammen von 2019 und 2023 nur unzureichend umgesetzt, siehe auch ERK (2022c, RZ 263 ff. und Abbildung 108).

258 Um in diesem Zusammenhang Trends systematisch abzuschätzen und Regierungshandeln auf Basis umfassender und besser abgesicherter Informationen aufzubauen, hatte der Expertenrat in seinem letzten Zweijahresgutachten bereits darauf hingewiesen, dass für ein besseres Monitoring auch geeignete **Detail- und Frühindikatoren** sinnvoll sind, die einen wichtigen Beitrag zur Transparenz sowie frühzeitigem und zielgerichtetem Nachsteuern leisten können (ERK 2022c, Kapitel 5.1). Die Erstellung der Indikatoren könnte auf Best-Practice Ansätzen aus anderen Ländern und auf bestehenden Monitoring-Systemen aufbauen. In Deutschland wurde beispielsweise bereits ein Monitoringsystem von der Expertenkommission Energiewende-Monitoring etabliert und auch der Klimaschutzbericht 2024 der Bundesregierung enthält ein umfassendes Set an Indikatoren, die den Entwicklungsstand in den verschiedenen KSG-Sektoren mit Blick auf die Dekarbonisierung näher beleuchten sollen (Bundesregierung 2024b). Ebenso sind in dem vorliegenden Gutachten Indikatoren zur Nachverfolgung der sektoralen Entwicklungen und der Implementierung von Maßnahmen genutzt worden, auf denen aufgebaut werden könnte und die als Basis für eine Nachsteuerung dienen könnten (siehe Kapitel 2 und Anhang A.3).

5.4 Integrative Governance

259 Der beschriebene Ansatz einer in eine Gesamtstrategie eingebetteten Klimaschutzpolitik stellt hohe Anforderungen an die **Governance für den Prozess der Auswahl, Implementierung und Monitoring von klimaschutzpolitischen Maßnahmen**. In der aktuellen Bundesregierung ist die Zuständigkeit für die THG-Minderung im Ressort des Ministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) verankert. Gerade hinsichtlich der Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern sowie dem Aufbau des neuen Kapitalstocks liegen viele für erfolgreiche THG-Minderung relevante Zuständigkeiten jedoch auch in anderen Ressorts. Diese Fragmentierung und eine dezentrale Zuordnung von Kompetenzen auf verschiedene Ministerien bilden Hürden im Transformationsprozess, wenn keine übergreifende, koordinierende, mit Gestaltungsrechten versehene Instanz vorhanden ist. Bei Prozessen der Ressortabstimmung bleibt am Ende häufig nur ein Minimalkonsens (siehe Flachsland et al. 2021).

260 Eine Lösungsoption der **staatlichen Governance** wäre ein starkes Klimaschutzministerium. Diese Option wurde von der jetzigen Bundesregierung mit der Aufstellung des BMWK verfolgt. Es stellt sich allerdings heraus, dass die erforderliche Konsolidierung bei der Strategie- und Konzeptentwicklung immer noch nicht befriedigend gelöst zu sein scheint. Insbesondere die THG-Minderung in wichtigen Bereichen wie Gebäude, Verkehr oder Landwirtschaft werden nach wie vor teilweise von anderen Ressorts (BMWSB, BMDV, BMEL) verantwortet, so dass offene Schnittstellen verbleiben. Aus Sicht des Expertenrats zeigen die Erfahrungen der laufenden Bundesregierung, dass die Option der Integration der Klimaschutzpolitik in einem Ministerium, offensichtlich an Grenzen stößt. Daher ist eine weitergehende Integration von Kompetenzen in das BMWK fraglich. Zudem haben die Ausführungen weiter oben gezeigt, dass es weitere Schnittstellen zu wichtigen Fragen bspw. mit dem Bundesministerium der Finanzen (BMF) oder dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gibt, und dass Fragen der Klimaschutzpolitik nicht mehr getrennt von Wirtschafts-, Sozial- oder Finanzpolitik betrachtet werden können. Die Breite und Tiefe der Wechselwirkungen von Klimaschutzpolitik mit nahezu allen anderen Politikfeldern, so wie sie oben dargestellt wurden, scheint auszuschließen, dass alle THG-relevante Entscheidungskompetenz in einem Haus konzentriert wird. Zudem ist eine offene Frage, ob im Sinne der Governance Zielkonflikte eher innerhalb von Bundesministerien angesiedelt sein sollten, oder ob es besser ist, diese in unterschiedlichen Ressorts zu verankern, so dass sie über die institutionelle Repräsentation von Zielkonflikten offen benannt und ausgehandelt werden können. Letzteres erfordert dann eine starke Koordination und Moderation des Prozesses zur Aushandlung der Zielkonflikte.

261 Für die **zukünftige Governance der Klimaschutzpolitik** ist daher die Koordination über die Wiedereinführung des Klimakabinetts eine aus Sicht des Expertenrats vielversprechende Option. Dafür braucht es eine zentrale Koordinierungs- und Integrationsstelle z. B. im Bundeskanzleramt, die ggf. darüber hinaus auch eine strategische Rolle einnimmt. Ausgangspunkt ist die Verantwortung für einzelne Teilziele in spezifischen Ressorts, um auf dieser Basis im Klimakabinetts die Zielkonflikte auszuhandeln. Dies würde auch die im Zusammenhang mit der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes besonders herausgehobene Gesamtverantwortung der Bundesregierung für die Umsetzung widerspiegeln, auf die der Expertenrat hingewiesen hatte (ERK 2023c). Die Wiedereinführung, Stärkung und regelmäßige Einberufung des Klimakabinetts sowie die Einrichtung ständiger interministerieller Arbeitsgruppen (siehe Flachsland et al. 2021) könnte die dezentral Verantwortlichen in einem systematischen Prozess interministerieller Zusammenarbeit und Entscheidungsfindung integrieren. Dabei findet über das Klimakabinetts sowohl eine horizontale Koordination auf den verschiedenen Ebenen statt – von Minister-Ebene, über Staatssekretärs-Ebene bis zur Arbeitsebene (oftmals Referatsleitungen) – als auch eine vertikale Koordination in die Ministerien hinein. Das Klimakabinetts sollte sofort nach Beginn der neuen Legislatur eingerichtet werden, um eine zügige und integrierte Erstellung des Klimaschutzprogramms der neuen Regierung zu gewährleisten, das spätestens zwölf Kalendermonate nach Beginn einer Legislaturperiode beschlossen werden muss (§ 9 Abs. 1 KSG). Für den Prozess der Erstellung des Klimaschutzprogramms könnten auch interministerielle Task Forces einen gemeinsamen Plan zur (Weiter-)Entwicklung der deutschen und europäischen Klimapolitik erarbeiten (Flachsland et al. 2024).

262 Schon in seiner Stellungnahme zum Klimaschutzprogramm 2023 hat der Expertenrat betont, dass „angesichts der gesellschaftlichen Bedeutung und der Langfristigkeit der Umsetzungs Herausforderungen, [...] sowohl parteienübergreifende Verständigungen, welche auch über potenzielle Regierungswechsel hinauswirken können, als auch die **Gestaltung eines gesamtgesellschaftlichen Prozesses**, der die Teilhabemöglichkeit an der Transformation zur Treibhausgasneutralität erhöht und die sozialen Aspekte besser [...] integriert, von besonderer Bedeutung [wären]“ (ERK 2023c, RZ 25). Neben der horizontalen Koordination über die Ministerien hinweg und der vertikalen Koordination in die Ministerien hinein ist daher die Einbindung u. a. von Wirtschaftsverbänden und zivilgesellschaftlichen Verbänden in den Prozess an zentraler Stelle wichtig. Dies ist für die Erstellung eines Klimaschutzprogramms auch in § 9 Abs. 3 KSG vorgesehen. Umfassende Erfahrungen gab es dazu beispielsweise bei dem breiten Beteiligungsprozess im Zusammenhang mit der Erstellung des Klimaschutzplans 2050 (BMUB 2017).¹⁴⁸ Anknüpfend an diese Erfahrungen oder solche ähnlicher Prozesse¹⁴⁹ wäre auch die Einbindung der Bevölkerung in den Konsultationsprozess zu prüfen. Damit können deliberative und partizipative Elemente einbezogen werden und bei gesellschaftspolitisch besonders heiklen Feldern, wie z. B. dem Gebäude-, Verkehrs- und

¹⁴⁸ Beteiligt waren neben den klassischen Stakeholdern (Bundesländer, Kommunen und Verbände) auch Bürger*innen in einem eigenen Beteiligungsprozess. Dieser umfasste fünf Bürgerkonferenzen in verschiedenen Städten sowie einem Online-Dialog zur Kommentierung und Einschätzung von Maßnahmenvorschlägen (BMUB 2016). Beide Beteiligungsprozesse wurden von Dialogexperten umgesetzt und wissenschaftlich begleitet (Wuppertal Institut et al. 2016; Faas und Huesmann 2017). Auch die EU Governance-Verordnung verpflichtet in Artikel 10 die Mitgliedsstaaten, der Öffentlichkeit frühzeitig und wirksam Gelegenheit zu geben, an der Ausarbeitung der Entwürfe für den Nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) mitzuwirken und im NECP (Kapitel 1.3) über den Konsultationsprozess zu berichten. Die von der Bundesregierung zum ersten NECP von Juni 2020 und seiner Aktualisierung von August 2024 durchgeführten öffentlichen Konsultationen waren jedoch auf eine begrenzte Zahl an Stakeholdern oder auf Prozesse zu einzelnen Maßnahmen oder Strategien beschränkt.

¹⁴⁹ siehe z. B. den California Scoping Plan (CARB 2022).

Landwirtschaftssektor, angedachte Maßnahmen frühzeitig mit unterschiedlichen Betroffenenengruppen gespiegelt werden.

263 Aus Sicht des Expertenrats sind **wichtige Aufgaben** für eine so definierte Zuständigkeit in der Governance zum Erreichen der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetz unter anderem:

- i) die Entwicklung einer umfassenden, schlüssig in die politische Gesamtstrategie eingebundenen Teil-Strategie für die THG-Minderung einschließlich der Erstellung des entsprechenden Zielkanons für die weiteren Politikfelder und eines Umsetzungskonzepts, das zugleich die Kompatibilität zu anderen Politikfeldern herstellt;
- ii) die aus dieser Strategie abgeleitete und möglichst konkret hinterlegte mittel- und langfristige Planung und zeitnahe Umsetzung;
- iii) ein umfassendes Monitoring der THG-Minderung sowie wichtiger Ziele, die sich aus den beschriebenen Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern ergeben;
- iv) die adaptive Anpassung der Klimaschutzpolitik oder anderer politischer Maßnahmen, sobald absehbar ist, dass THG-Minderungsziele oder andere als wichtig priorisierte politische Ziele verfehlt werden. Dies könnte auch strukturelle Verschiebungen der Ziele in den anderen Politikfeldern implizieren.
- v) die geeignete Einbindung verschiedener Stakeholdergruppen in den Prozess.

264 Flankierend zur Ausgestaltung der Klimaschutzpolitik-Governance innerhalb der Bundesregierung könnte eine **Enquete-Kommission** auf Basis der Expertise verschiedener Wissenschaftsdisziplinen den Diskurs zur Ausrichtung, Priorisierung und Umsetzung der Klimaschutzpolitik, eingebettet in eine politische Gesamtstrategie, begleiten. Allerdings spricht die Dringlichkeit politischen Handelns und die hohe Ambition der Ziele auf der Zeitachse dafür, eine solche Enquete-Kommission für die Prozessbegleitung vorzusehen und nicht auf deren Ergebnisse bis zur Entscheidung über neue Maßnahmen der Klimaschutzpolitik zu warten.

6 Anhang

A.1 Dekompositionsanalyse

A.1.1 Methodik

265 Bei der Indexdekompositionsanalyse (IDA) werden die THG-Emissionen als eine Funktion zentraler, vorab definierter Faktoren ausgedrückt. Beispiele für Faktoren sind die Bevölkerungszahl oder das BIP pro Kopf. Dabei wird die Veränderung der THG-Emissionen der Veränderung der einzelnen Faktoren zugeordnet. Der Beitrag, der jedem Faktor zugeordnet wird, wird dadurch in der gleichen Einheit wie die THG-Emissionen ausgedrückt (Mt CO₂-Äq.). Die Faktoren lassen sich in weitere Unterkategorien (z. B. verschiedene Branchen in der Industrie) aufteilen. Für die Dekomposition gibt es verschiedene Methoden, die sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften unterscheiden (De Boer und Rodrigues 2020). In diesem Gutachten wird die additive Log-Mean-Divisia-Index-Methode (LMDI I) (Ang et al. 1998) angewandt, die aufgrund ihrer positiven Eigenschaften im Vergleich zu anderen Dekompositionsmethoden (Ang 2004) häufig verwendet wird (IEA 2020; Förster et al. 2018; Reuter et al. 2021; Shammugam et al. 2022).

266 Die allgemeine Dekompositionsidentität der THG-Emissionen THG mit n Faktoren wird definiert als

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

wobei i mögliche Unterkategorien definiert. THG_i sind somit die THG-Emissionen der jeweiligen Unterkategorie und $x_{1,i}, \dots, x_{n,i}$ stellen die n Faktoren in der Unterkategorie i dar. Eine detaillierte Darstellung bietet Ang (2005).

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

$$2. \Delta THG = THG^T - THG^0 = \Delta THG_{x_1} + \dots + \Delta THG_{x_n}.$$

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

$$3. \Delta THG_{x_k} = \sum_i \frac{THG_i^T - THG_i^0}{\ln THG_i^T - \ln THG_i^0} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right).$$

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

268 In diesem Gutachten werden die Dekompositions-Ergebnisse anhand von zwei Abbildungen dargestellt. Die erste Abbildung gibt die Dekomposition der THG-Emissionen mit dem Basisjahr 2000 in Form eines Liniendiagramms wieder. Die zweite Abbildung betrachtet den Zeitraum von 2020 bis 2023 und verdeutlicht in Form eines Wasserfalldiagramms die Veränderungen gegenüber dem Vorjahr. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die Dekompositionsmethode zwar nützlich für die Analyse der Veränderung der Faktoren ist, dass daraus jedoch keine Kausalität abgeleitet werden kann. Darüber hinaus ist bei der Interpretation von strukturellen Veränderungen in der Dekompositionsanalyse Vorsicht geboten (Roux und Plank 2022).

A.1.2 Sektorenübergreifende Betrachtung

269 Die Dekomposition der sektorenübergreifenden THG-Emissionen umfasst die gesamten THG-Emissionen ohne den Sektor LULUCF. Um mögliche Witterungseffekte im Gebäudesektor zu berücksichtigen, wurden die Daten zu den THG-Emissionen auf Basis von gewichteten Gradtagszahlen bereinigt (siehe ERK (2022c) für eine Beschreibung des Vorgehens). Die gesamte Emissionsentwicklung wird in der Dekomposition den fünf Faktoren Bevölkerung (BEVÖ), BIP pro Kopf (BIP/BEVÖ), Energieintensität (EEV/BIP), Umwandlungsverluste (PEV/EEV) und Emissionsintensität (THG/PEV) zugeordnet. Die zugrundeliegenden Daten sind in Tabelle A 1 gelistet. Für weitere Details zur Methodik siehe ERK (2022c).

Tabelle A 1: Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Sektorenübergreifend

Daten	Quelle	Details
THG-Emissionen gesamt (ohne LULUCF)	(UBA 2025)	Aus den Trendtabellen
Bevölkerung (BEVÖ)	(Destatis 2024e)	Genesis Datenbank, Tabelle 12111-0001
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	(Destatis 2024i)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0001
Primärenergieverbrauch (PEV)	(AGEB 2024a)	Auswertungstabellen zur Energiebilanz
Endenergieverbrauch (EEV)	(AGEB 2024a)	Auswertungstabellen zur Energiebilanz

Eigene Darstellung.

Tabelle A 2: Entwicklung der zugrundeliegenden Daten und Faktoren der Dekomposition – Sektorenübergreifend

Eingehende Variablen/Komponenten	2020	2021	2022	2023	Veränderung 2021 gegenüber 2020 [%]	Veränderung 2022 gegenüber 2021 [%]	Veränderung 2023 gegenüber 2022 [%]
THG-Emissionen sektorenübergreifend [Mt CO ₂ -Äq.]	741,6	757,8	756,4	681,4	2,2	-0,2	-9,9
Bevölkerung (BEVÖ) [Mio.]	83,2	83,2	84,4	84,7	0,1	1,3	0,4
Bruttoinlandsprodukt (BIP) [2020 = 100]	100	103,7	105,1	104,8	3,7	1,4	-0,3
Primärenergieverbrauch (PEV) [PJ]	11 887	12 443	11 675	10 629	4,7	-6,2	-9
Endenergieverbrauch (EEV) [PJ]	8 471	8 789	8 517	8 163	3,8	-3,1	-4,2
BIP pro Kopf (BIP/BEVÖ)	1,2	1,3	1,3	1,2	3,6	0	-0,6

Eingehende Variablen/Komponenten	2020	2021	2022	2023	Veränderung 2021 gegenüber 2020 [%]	Veränderung 2022 gegenüber 2021 [%]	Veränderung 2023 gegenüber 2022 [%]
Energieintensität (EEV/BIP)	84,7	84,8	81	77,9	0,1	-4,4	-3,9
Umwandlungsverluste (PEV/EEV)	1,4	1,4	1,4	1,3	0,9	-3,2	-5
Emissionsintensität (THG/PEV)	62,4	60,9	64,8	64,1	-2,4	6,4	-1,1

Eigene Darstellung. Die Datenquellen sind in Tabelle A 1 gelistet. Die Faktoren lassen sich direkt aus den zugrundeliegenden Daten berechnen. Etwaige Abweichungen sind auf Rundungen zurückzuführen.

A.1.3 Energiewirtschaft

270 Die Dekomposition der THG-Emissionen der Energiewirtschaft berücksichtigt die THG-Emissionen aus der Erzeugung von Elektrizität und Wärme, von Raffinerien sowie aus der Herstellung fester Brennstoffe und anderer Energieindustrien (CRF-Kategorie 1.A.1.a). Dies deckt insgesamt 86 % der THG-Emissionen des Sektors ab. Die gesamte Emissionsentwicklung wird in der Dekomposition den Faktoren Bevölkerung (BEVÖ), BIP pro Kopf (BIP/BEVÖ), Energieintensität (Aktivitätsdaten¹⁵⁰/BIP) und Emissionsintensität (THG/Aktivitätsdaten) zugeordnet. Die zugrunde liegenden Datenquellen sind in Tabelle A 3 gelistet. Für weitere Details zur Methodik siehe ERK (2022c).

Tabelle A 3: Dekomposition Variablen – Energiewirtschaft

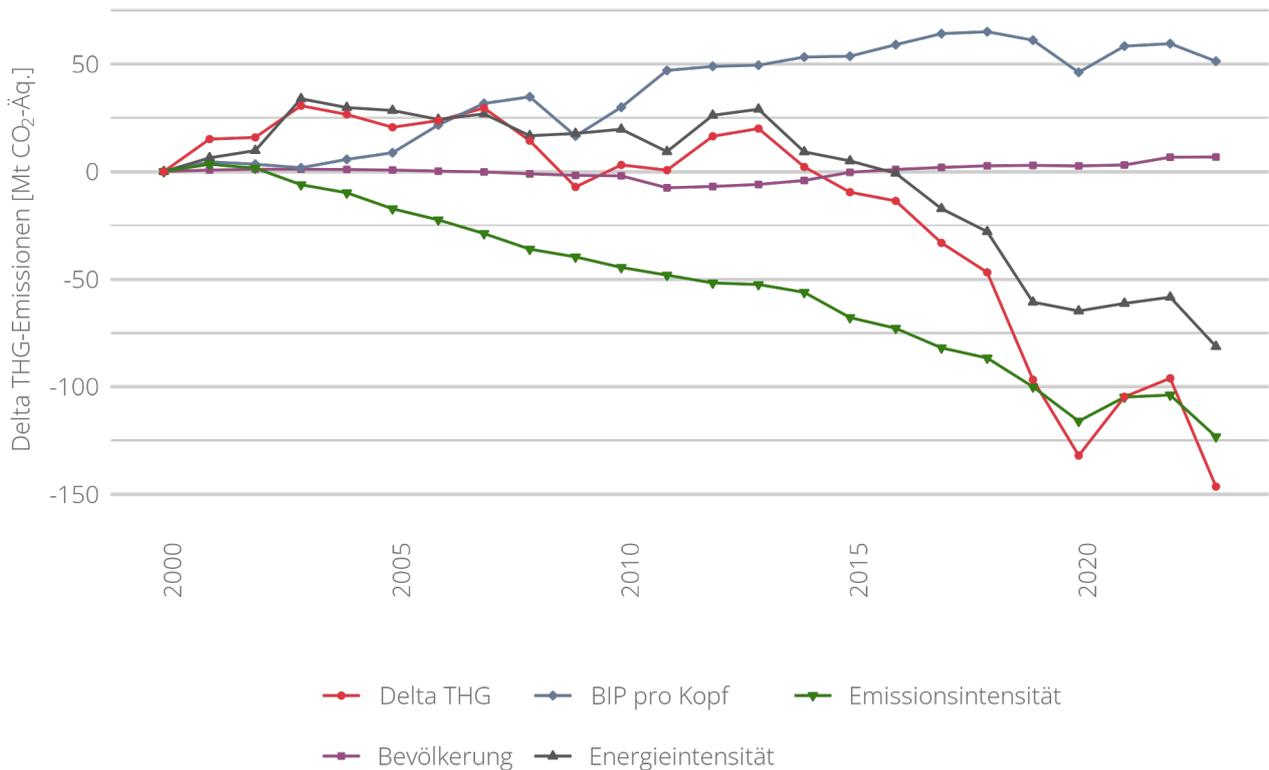
Daten	Quelle	Details
THG-Emissionen Energiewirtschaft (Elektrizität, Wärme)	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.1.a.
Bevölkerung (BEVÖ)	(Destatis 2024e)	Genesis Datenbank, Tabelle 12111-0001
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	(Destatis 2024i)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0001
Aggregierte Aktivitätsdaten	(UBA 2025) (AGEB 2024b)	CRF-Kategorie 1.A.1.a. Aktivitätsdaten für fossile Energieträger aus Inventar. Aktivitätsdaten von Wasserkraftwerken, Windenergieanlagen, und Solarenergieanlagen sind den AGEB-Energiebilanzen entnommen.

Eigene Darstellung.

¹⁵⁰ Die in der Dekomposition verwendeten Aktivitätsdaten werden UBA (2025) entnommen und sind die den THG-Emissionen zugrundeliegenden Energieverbräuche der jeweiligen CRF-Kategorien des Inventars.

271 Abbildung A 1 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor BIP pro Kopf wird rechnerisch über die Zeit der stärkste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag ergibt sich hingegen für die Faktoren Emissionsintensität und Energieintensität. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

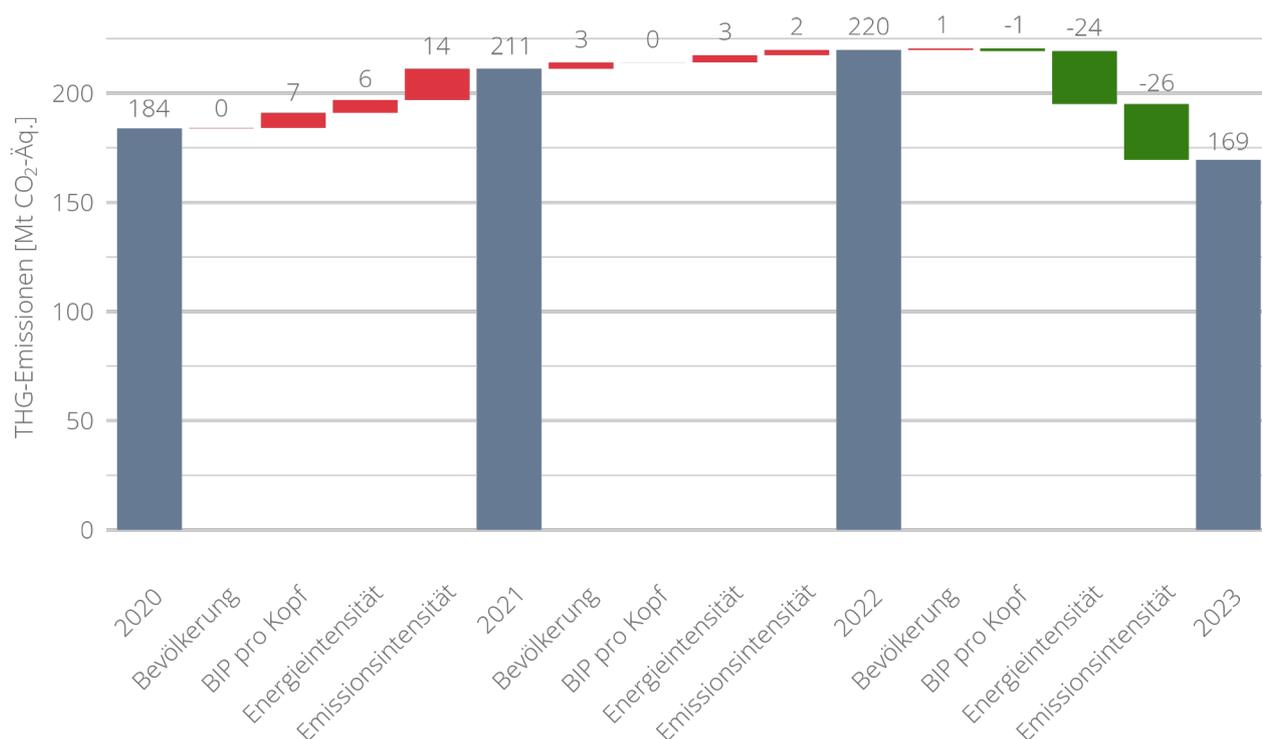
Abbildung A 1: Dekomposition der THG-Emissionen der Energiewirtschaft – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 3. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), BIP pro Kopf (BIP/BEVÖ), Energieintensität (Aktivitätsdaten/BIP) und Emissionsintensität (THG/Aktivitätsdaten).

272 Abbildung A 2 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Das BIP pro Kopf stieg im Jahr 2021 zunächst aufgrund der wirtschaftlichen Erholung nach dem ersten Jahr der Covid-19-Pandemie an. Auch die Energieintensität ist im Jahr 2021 gestiegen. Dies begründet sich in einem Anstieg der Produktion der energieintensiven Industrien, welche eine niedrigere Endenergieproduktivität aufweisen als andere Industriebranchen. Der Emissionsintensität wurde im Zeitraum der Jahre 2020 bis 2022 ebenfalls ein emissionssteigernder Beitrag, aufgrund einer Verschiebung im Strommix, zugewiesen, da diese Verschiebung zu einem insgesamt höheren Emissionsfaktor der Stromerzeugung führte (siehe ERK 2023b). Die Energiekrise und die nachlassende wirtschaftliche Aktivität führten im Jahr 2023 zu einem Rückgang des BIP pro Kopf. In diesem Zuge kam es zu Produktionsrückgängen der energieintensiven Industrie, wodurch die Energieintensität stark sank und ihr ein deutlicher emissionsmindernder Beitrag zugeordnet wird. Auch die Emissionsintensität sank im Jahr 2023 deutlich. Grund dafür waren die gesunkene Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle sowie die gestiegene Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie (siehe ERK 2024b).

Abbildung A 2: Dekomposition der THG-Emissionen der Energiewirtschaft – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 3. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), BIP pro Kopf (BIP/BEVÖ), Energieintensität (Aktivitätsdaten/BIP) und Emissionsintensität (THG/Aktivitätsdaten).

A.1.4 Industrie

273 Die Dekomposition der THG-Emissionen des Industriesektors unterscheidet zwischen THG-Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern (CRF-Kategorie 1.A.2) und prozessbedingten THG-Emissionen (CRF-Kategorie 2). Diese beiden CRF-Kategorien decken die gesamten THG-Emissionen des Sektors Industrie ab. Die THG-Emissionen umfassen folgende Bereiche: Chemische Industrie, Metallindustrie, nicht energetische Produkte von Kraftstoffen und Lösemitteln, Elektroindustrie, Produktnutzungen als Ersatz für die Ozonschicht schädigende Stoffe, andere Produkterzeugnisse und -nutzungen und Sonstige. Die gesamte Emissionsentwicklung aus der Verbrennung von Energieträgern wird in der Dekomposition den Faktoren Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt}), Struktureller Wandel ($BWS_{Industrie}/BWS_{Gesamt}$), Energieintensität (Aktivitätsdaten/ $BWS_{Industrie}$) und Emissionsintensität ($THG_{Verbrennung}/Aktivitätsdaten$) zugeordnet. In der Dekomposition der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen werden die Faktoren Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt}), Struktureller Wandel ($BWS_{Industrie}/BWS_{Gesamt}$), und Emissionsintensität ($THG_{Prozess}/BWS_{Industrie}$) verwendet. Die zugrunde liegenden Datenquellen sind in Tabelle A 4 gelistet. Für weitere Details zur Methodik siehe ERK (2022c).

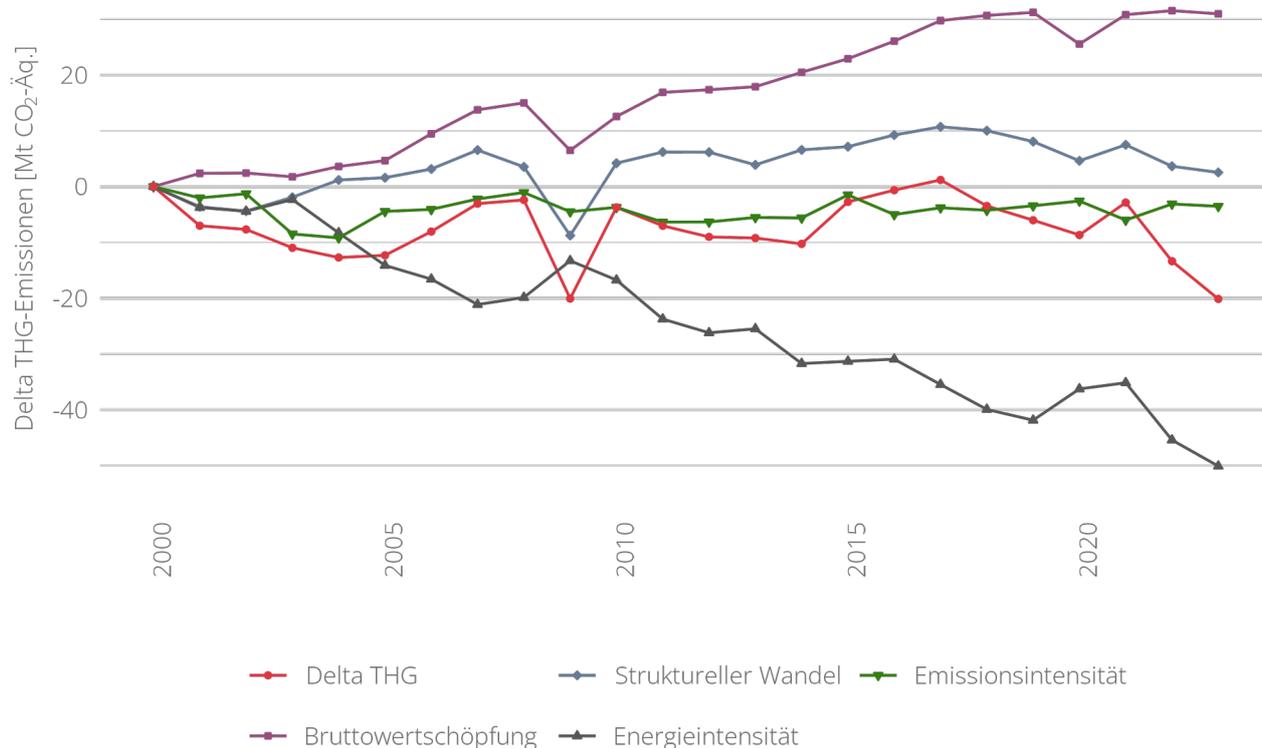
Tabelle A 4: Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Industrie

Dekomposition	Daten	Quelle	Details
Industrie (Verbrennung von Energieträgern)	THG-Emissionen Verbrennung ($THG_{Verbrennung}$)	(UBA 2025)	Table 1.A(a)s2, CRF-Kategorie 1.A.2
Industrie (prozess- und produktbedingte THG-Emissionen)	THG-Emissionen Prozesse ($THG_{Prozesse}$)	(UBA 2025)	Table 1.A(a)s2, (Zusammen mit der Verbrennung von Energieträgern 100 % der Sektoremissionen über den betrachteten Zeitraum)
	Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt})	(Destatis 2024)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0103
	Bruttowertschöpfung Industrie ($BWS_{Industrie}$)	(Destatis 2024)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0103 Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe und WZ08-19
	Aggregierte Aktivitätsdaten	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.2

Eigene Darstellung.

274 Abbildung A 3 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der THG-Emissionen aus der Verbrennung von Kraftstoffen (CRF-Kategorie 1.A.2) im Sektor Industrie für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor Bruttowertschöpfung wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen dem Faktor Energieintensität zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

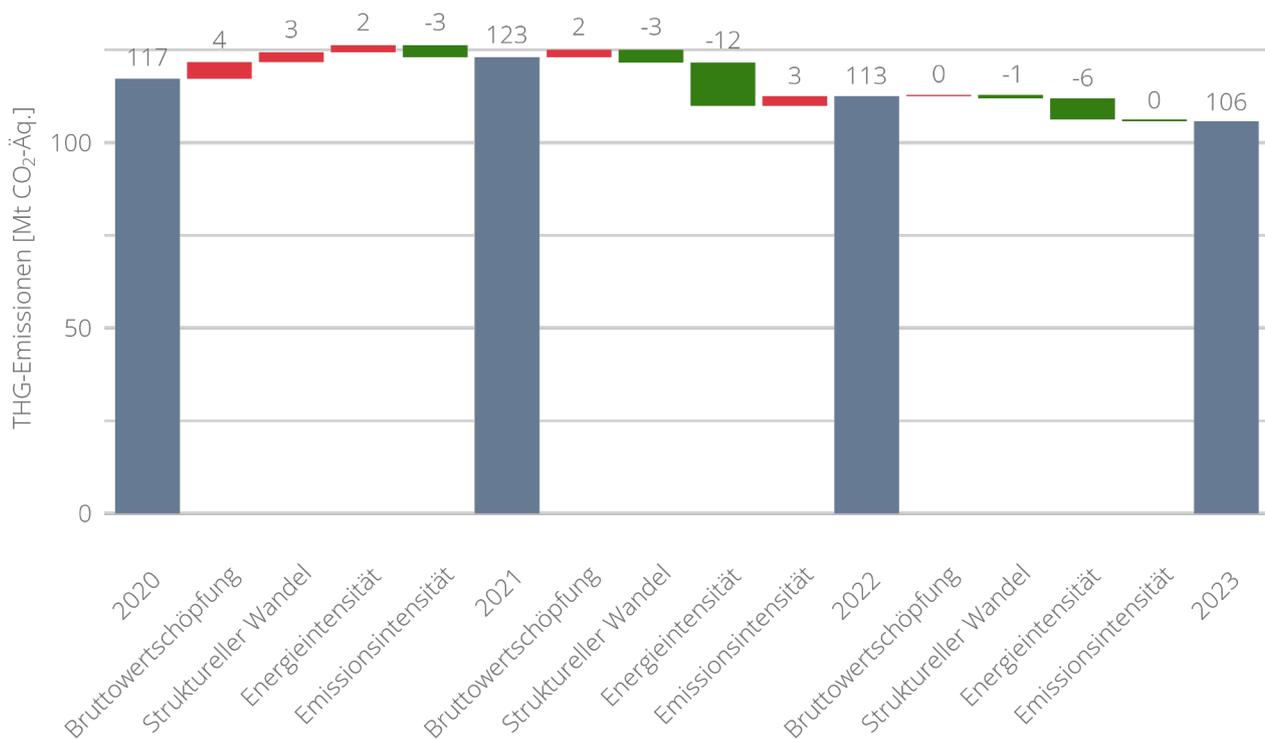
Abbildung A 3: Dekomposition der THG-Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in der Industrie – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 4. Faktoren: Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt}), Struktureller Wandel ($BWS_{\text{Industrie}}/BWS_{\text{Gesamt}}$), Energieintensität ($\text{Aktivitätsdaten}/BWS_{\text{Industrie}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Verbrennung}}/\text{Aktivitätsdaten}$).

275 Abbildung A 4 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der THG-Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern im Sektor Industrie für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils gegenüber dem Vorjahr. Der Faktor Bruttowertschöpfung hatte im Zeitraum von 2020 bis 2022 einen rechnerisch emissionssteigernden Beitrag, was vor allem auf eine wirtschaftliche Erholung nach dem Einbruch zu Beginn der Covid-19-Pandemie zurückzuführen ist. Im Jahr 2023 hatte der Faktor hingegen keinen emissionsverändernden Beitrag, was sich mit einer durch die Energiekrise ausgelösten, stagnierenden Bruttowertschöpfung begründen lässt. Der Faktor Struktureller Wandel hatte nur im Jahr 2021 einen rechnerisch emissionssteigernden Beitrag, während dieser in den Jahren 2022 und 2023 emissionsmindernd war. Gleiches gilt auch für den Faktor Energieintensität. Ihm werden zwischen den Jahren 2021 und 2023 die rechnerisch höchsten emissionsmindernden Beiträge zugeordnet. Grund hierfür ist der starke Produktionsrückgang energieintensiver Industrien und der damit verringerte Energieverbrauch. Die Emissionsintensität hatte im Jahr 2021 rechnerisch einen emissionsmindernden Beitrag und anschließend einen steigernden im Jahr 2022 bzw. keinen im Jahr 2023.

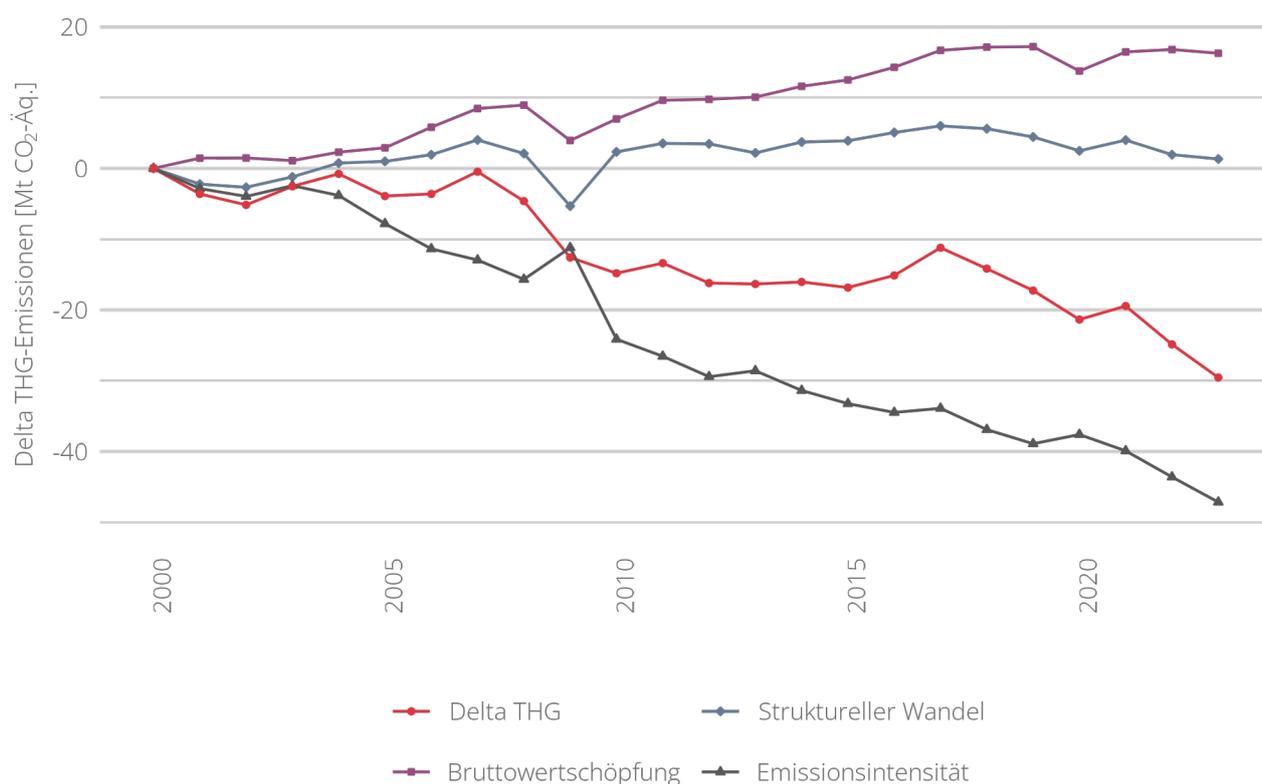
Abbildung A 4: Dekomposition der THG-Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in der Industrie – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 4. Faktoren: Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt}), Struktureller Wandel ($BWS_{Industrie}/BWS_{Gesamt}$), Energieintensität ($Aktivitätsdaten/BWS_{Industrie}$) und Emissionsintensität ($THG_{Verbrennung}/Aktivitätsdaten$).

276 Abbildung A 5 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen im Sektor Industrie für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor Bruttowertschöpfung wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen der Emissionsintensität zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

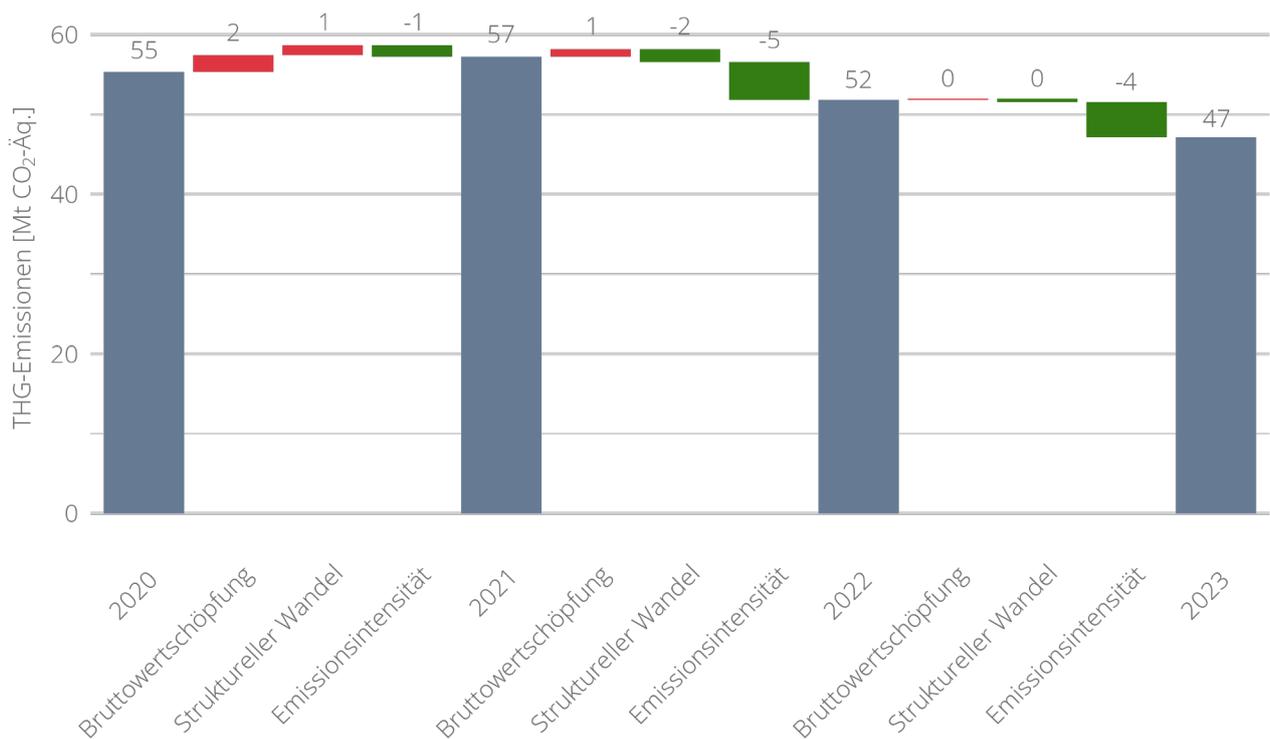
Abbildung A 5: Dekomposition der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen in der Industrie – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 4. Faktoren: Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt}), Struktureller Wandel ($BWS_{Industrie}/BWS_{Gesamt}$), und Emissionsintensität ($THG_{Prozess}/BWS_{Industrie}$).

277 Abbildung A 6 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen der Industrie für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils gegenüber dem Vorjahr. Der Faktor Bruttowertschöpfung stieg zwischen den Jahren 2020 und 2022 und blieb nahezu konstant im Jahr 2023. Dies ist insbesondere auf die Erholung der Produktion nach dem Einbruch zu Beginn der Covid-19-Pandemie zurückzuführen. Im Gegensatz hierzu hatte der Faktor Emissionsintensität im Zeitraum von 2020 bis 2023 durchgängig einen rechnerisch negativen Beitrag an der Emissionsentwicklung und weist insgesamt den größten Beitrag zum gesunkenen Delta der THG-Emissionen auf. Der Grund hierfür ist, dass energieintensive Industrien – gegenüber der restlichen Industriebranchen – nur einen geringen Anteil an der Bruttowertschöpfung der Industrie, aber einen hohen Anteil an den Emissionen haben. Dies führt dazu, dass der Einfluss ihrer in Folge der Energiekrise eingebrochenen Produktionen auf den Faktor Bruttowertschöpfung gering, auf den Faktor Emissionsintensität jedoch hoch ist. Der Faktor struktureller Wandel stieg lediglich im Jahr 2021 leicht und sank im Jahr 2022 wieder, sodass er insgesamt annähernd konstant blieb. Auch rechnerisch ist sein Beitrag gering.

Abbildung A 6: Dekomposition der prozess- und produktbedingten THG-Emissionen in der Industrie – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 4. Faktoren: Bruttowertschöpfung (BWS_{Gesamt}), Struktureller Wandel ($BWS_{Industrie}/BWS_{Gesamt}$), und Emissionsintensität ($THG_{Prozess}/BWS_{Industrie}$).

A.1.5 Gebäude

- 278 Die Dekomposition der THG-Emissionen im Gebäudesektor unterscheidet zwischen THG-Emissionen aus Gebäuden privater Haushalte (CRF-Kategorie 1.A.4.b) und aus Gebäuden des Bereichs GHD (CRF-Kategorie 1.A.4.a). Gebäude privater Haushalte sind hierbei für 76,8 % der Gesamtemissionen im Gebäudesektor verantwortlich, GHD-Gebäude für 22,4 %; die restlichen THG-Emissionen entfallen auf das Militär. Erfasst sind THG-Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern zur Bereitstellung von Wärme. Der Anteil der THG-Emissionen aus mobilen Quellen ist gering und kann als vernachlässigbar angesehen werden. Fernwärme und der Strom für den Betrieb von Wärmepumpen sind nicht enthalten, da diese dem Quellprinzip folgend im Sektor Energiewirtschaft bilanziert werden. Zur Berücksichtigung von Witterungseffekten wurden die Daten zu den THG-Emissionen auf Basis von gewichteten Gradtagszahlen bereinigt. Siehe ERK (2022c) für eine Beschreibung des Vorgehens.
- 279 In der Dekomposition der THG-Emissionen aus Gebäuden privater Haushalte wird die gesamte Emissionsentwicklung den Faktoren Bevölkerung (BEVÖ), durchschnittliche Wohnfläche (Wohnfläche/BEVÖ), Energieintensität (Aktivitätsdaten/Wohnfläche) und Emissionsintensität ($THG_{Wohnungen}/Aktivitätsdaten$) zugeordnet. In der Dekomposition der THG-Emissionen aus Gebäuden des Bereichs GHD wird die gesamte Emissionsentwicklung den Faktoren Bruttoinlandsprodukt (BIP), Energieintensität (Aktivitätsdaten/BIP) und Emissionsintensität ($THG_{GHD}/Aktivitätsdaten$) zugeordnet. Die zugrunde liegenden Datenquellen sind in Tabelle A 5 gelistet. Für weitere Details zur Methodik siehe ERK (2022c).

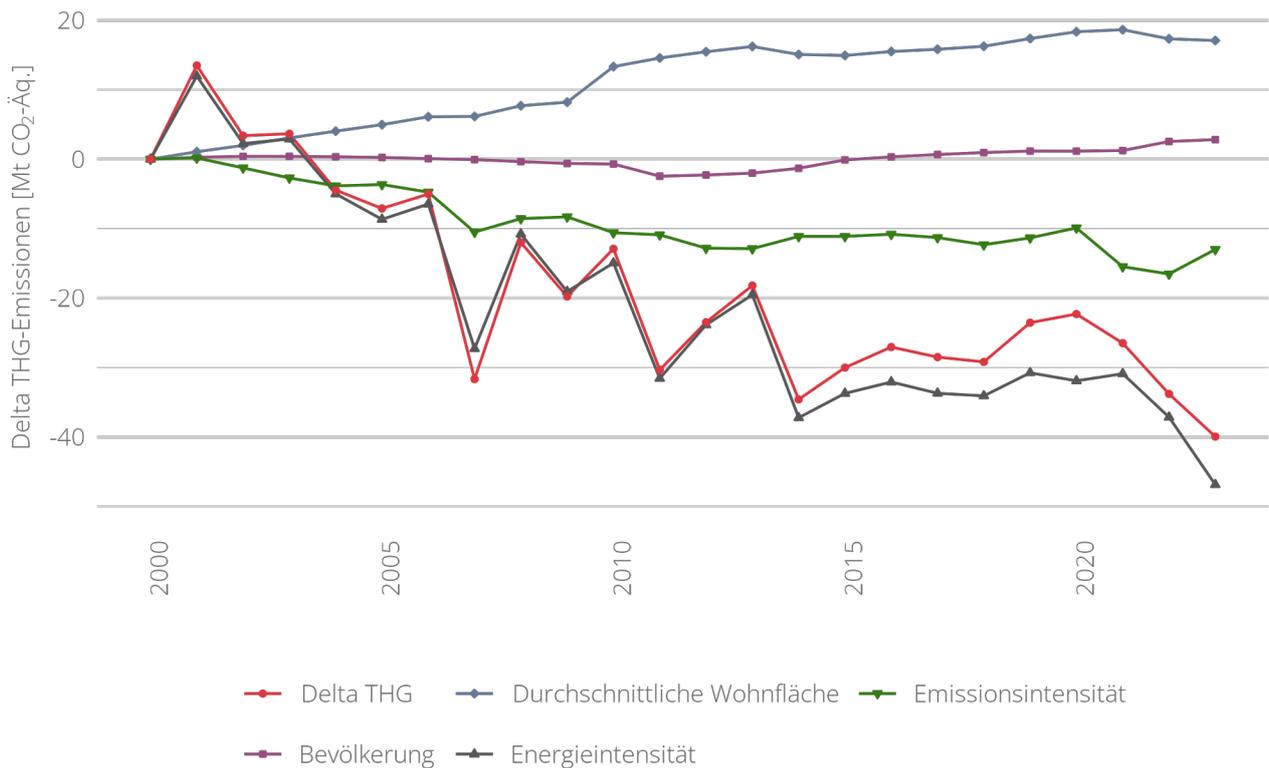
Tabelle A 5: Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Gebäude

Dekomposition	Daten	Quelle	Details
Gebäude (Wohnungen)	Bevölkerung (BEVÖ)	(Destatis 2024e)	Genesis Datenbank, Tabelle 12111-0001
	Wohnfläche	(Destatis 2024f)	Genesis Datenbank, Tabelle 31231-0001
	Aggregierte Aktivitätsdaten	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.4.b
	THG-Emissionen ($THG_{Wohnungen}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.4.b
Gebäude (GHD)	Bruttoinlandsprodukt (BIP)	(Destatis 2024i)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0001
	Aggregierte Aktivitätsdaten	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.4.a
	THG-Emissionen (THG_{GHD})	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.4.a

Eigene Darstellung.

280 Abbildung A 7 stellt die Ergebnisse der Dekomposition der THG-Emissionen der Haushalte im Sektor Gebäude für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor Wohnfläche wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Dem Faktor Energieintensität ist der höchste emissionsmindernde Beitrag zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

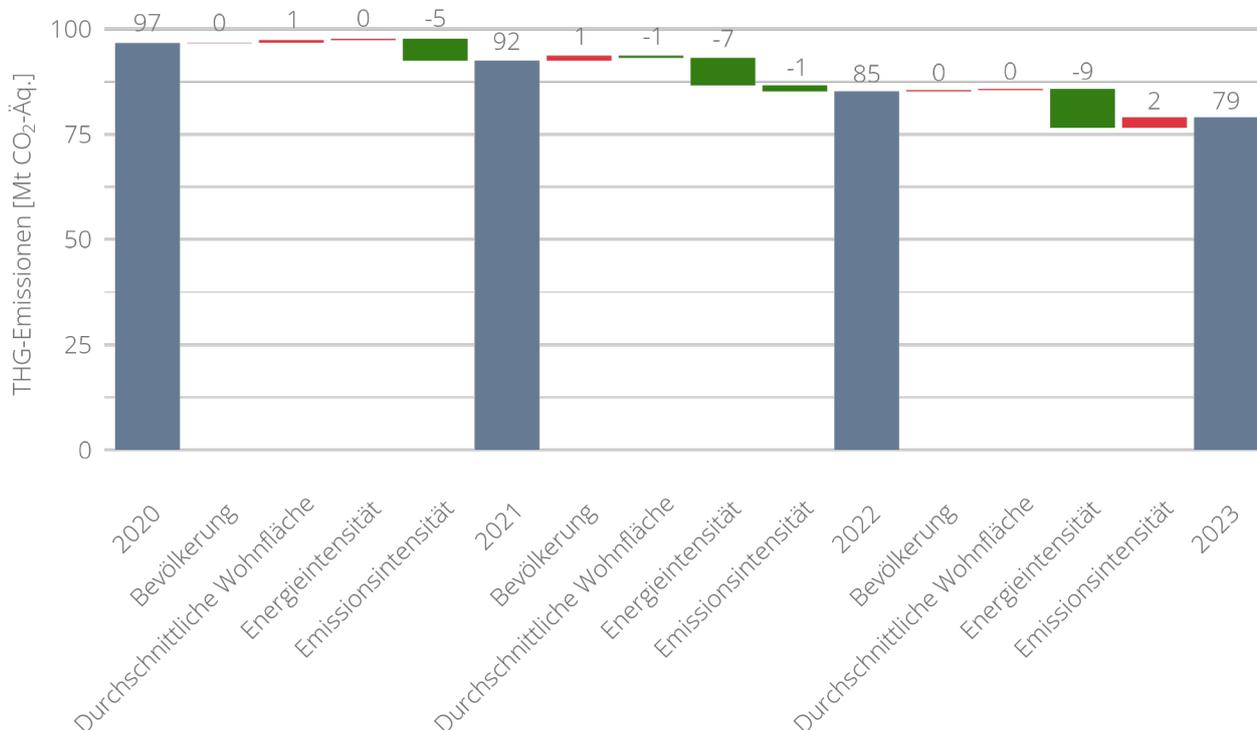
Abbildung A 7: Dekomposition der THG-Emissionen im Gebäudesektor, Haushalte – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 5. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), durchschnittliche Wohnfläche (Wohnfläche/BEVÖ), Energieintensität (Aktivitätsdaten/Wohnfläche) und Emissionsintensität (THG_{Wohnungen}/Aktivitätsdaten).

281 Abbildung A 8 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der Emissionsentwicklung der Haushalte für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Der Faktor Energieintensität sank im gesamten Zeitraum aufgrund von Sanierungs- und Neubauaktivitäten sowie dem Energieträgerwechsel von Gas oder Öl zu Strom (durch Wärmepumpen). Da Strom im Sektor Energiewirtschaft bilanziert wird, findet durch den Wechsel einer Gas- oder Ölheizung zu einem strombasierten Heizungssystem auch eine Absenkung der Energieintensität im Gebäudesektor statt. Insgesamt wurde der Energieintensität somit ein rechnerisch emissionsmindernder Beitrag zugeordnet. Die Emissionsintensität stieg im Jahr 2022. Grund hierfür könnte der Lagerbestandsaufbau an leichtem Heizöl sein, der zu einem höheren Anteil von Öl am Primärenergieabsatz führte.

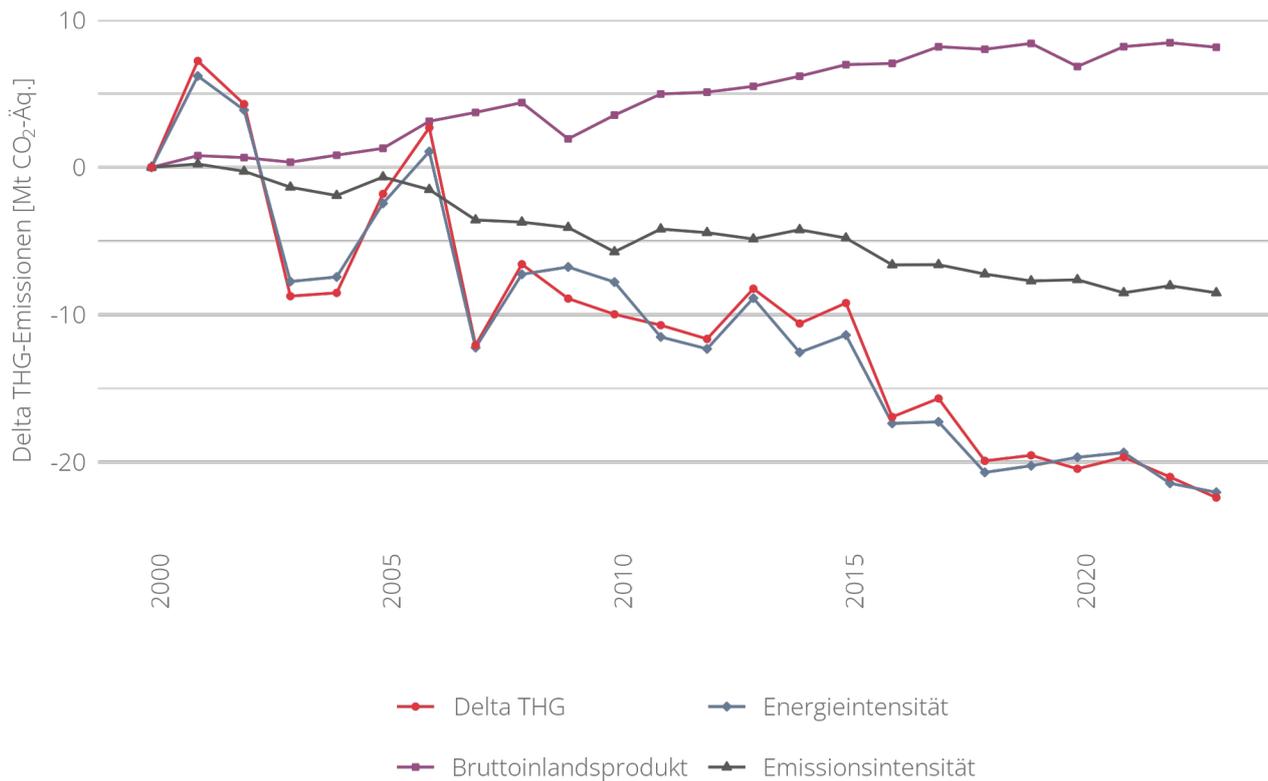
Abbildung A 8: Dekomposition der THG-Emissionen des Gebäudesektors, Haushalte – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 5. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), durchschnittliche Wohnfläche (Wohnfläche/BEVÖ), Energieintensität (Aktivitätsdaten/Wohnfläche) und Emissionsintensität (THG_{Wohnungen}/Aktivitätsdaten).

282 Abbildung A 9 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der THG-Emissionen von GHD für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor Bruttoinlandsprodukt wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen dem Faktor Energieintensität zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

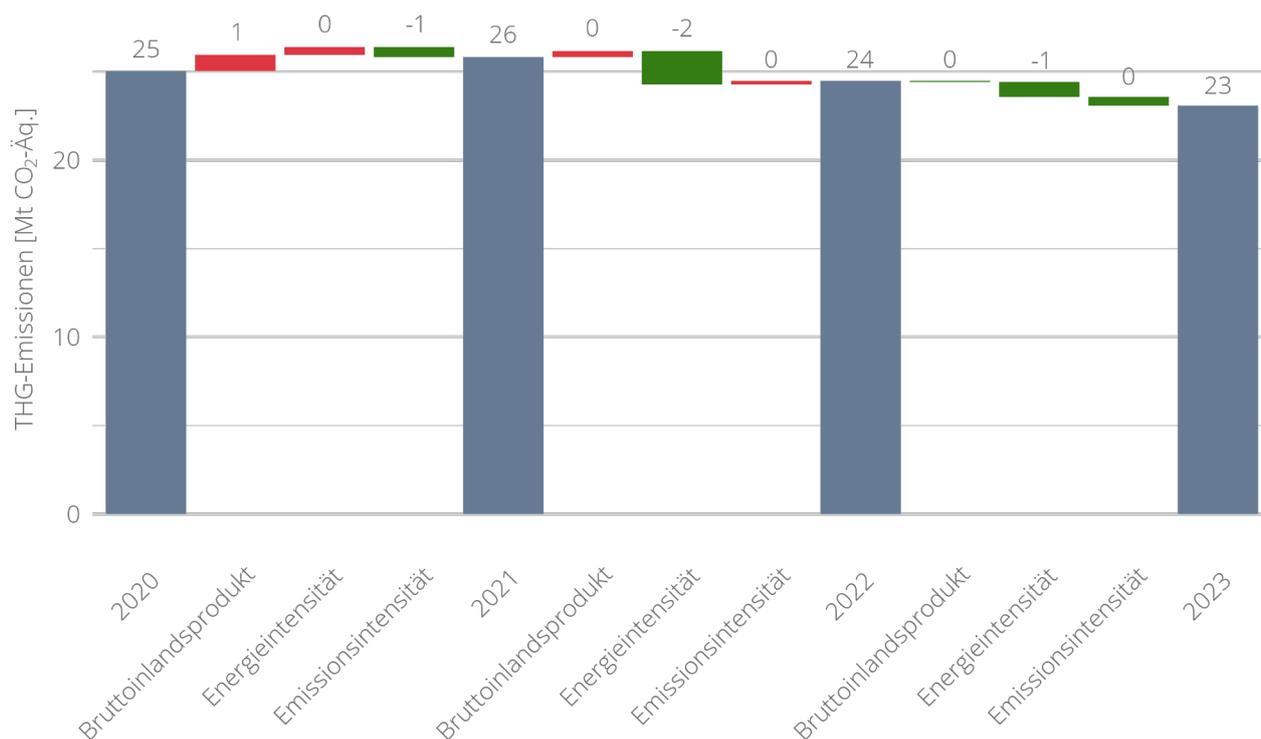
Abbildung A 9: Dekomposition der THG-Emissionen im Gebäudesektor, GHD (1.A.4.a i stationäre Feuerung) – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 5. Faktoren: Bruttoinlandsprodukt (BIP), Energieintensität (Aktivitätsdaten/BIP) und Emissionsintensität ($THG_{GHD}/Aktivitätsdaten$).

283 Abbildung A 10 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der Emissionsentwicklung von Gebäude, Handel, Dienstleistungen für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils gegenüber dem Vorjahr. Die Entwicklungen entsprechen den Entwicklungen bei den privaten Haushalten.

Abbildung A 10: Dekomposition der THG-Emissionen des Gebäudesektors, GHD (1.A.4.a i stationäre Feuerung) – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 5. Faktoren: Bruttoinlandsprodukt (BIP), Energieintensität (Aktivitätsdaten/BIP) und Emissionsintensität (THG_{GHD}/Aktivitätsdaten).

A.1.6 Verkehr

284 Für die Dekomposition der THG-Emissionen des Verkehrssektors wird zwischen den Teilsektoren Personenverkehr und Güterverkehr differenziert. Im Detail werden hierbei die CRF-Kategorien 1.A.3.i (Pkw) sowie 1.A.3.iii (Lkw) betrachtet, die insgesamt 90 % der THG-Emissionen in diesem Sektor abdecken. Die gesamte Entwicklung der THG-Emissionen im Straßengüterverkehr wird in der Dekomposition den Faktoren Bruttoinlandsprodukt (BIP), Transportintensität ($\text{km}_{\text{Lkw}}/\text{BIP}$), Energieintensität ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}/\text{km}_{\text{Lkw}}$), Tanken im Ausland ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}/\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Güterverkehr}}/\text{EEV}_{\text{Absatz}}$) zugeordnet. Die gesamte Entwicklung der THG-Emissionen im Personenverkehr wird den Faktoren Bevölkerung (BEVÖ), Transportintensität ($\text{km}_{\text{Pkw}}/\text{BEVÖ}$), Energieintensität ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}/\text{km}_{\text{Pkw}}$), Tanken im Ausland ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}/\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Personenverkehr}}/\text{EEV}_{\text{Absatz}}$) zugeordnet. Die zugrunde liegenden Datenquellen sind in Tabelle A 6 gelistet. Für weitere Details zur Methodik siehe ERK (2022c).

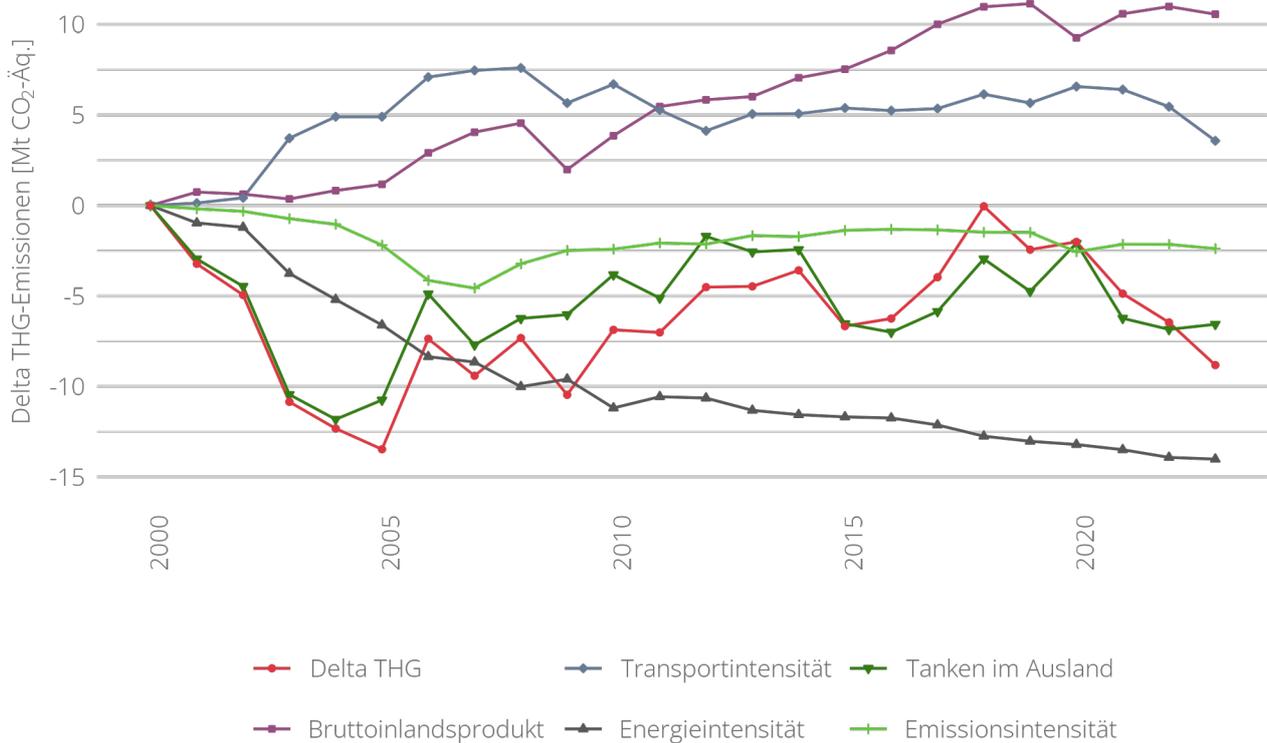
Tabelle A 6: Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Verkehr

Dekomposition	Daten	Quelle	Details
Personenverkehr	THG-Emissionen ($\text{THG}_{\text{Personenverkehr}}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.3.b.i
	Bevölkerung (BEVÖ)	(Destatis 2024e)	Genesis Datenbank, Tabelle 12111-0001
	Personenkilometer von Pkw (km_{Pkw})	(TREMODO 2024)	TREMODO-Daten
	Endenergieverbrauch Absatz ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}$)	(UBA 2025)	Table 1.A(a)s3, Kategorie 1.A.3.b.i
	Endenergieverbrauch Verbrauch ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$)	(TREMODO 2024)	TREMODO-Daten
Güterverkehr	THG-Emissionen ($\text{THG}_{\text{Güterverkehr}}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 1.A.3.b.iii
	Bruttoinlandsprodukt (BIP)	(Destatis 2024i)	Genesis Datenbank, Tabelle 81000-0001
	Tonnenkilometer von schweren Nutzfahrzeugen (km_{Lkw})	(TREMODO 2024)	TREMODO-Daten
	Endenergieverbrauch Absatz ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}$)	(UBA 2025)	Table 1.A(a)s3, Kategorie 1.A.3.b.iii
	Endenergieverbrauch Verbrauch ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$)	(TREMODO 2024)	TREMODO-Daten

Eigene Darstellung.

285 Abbildung A 11 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der THG-Emissionen für den Straßengüterverkehr für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Den Faktoren Bruttoinlandsprodukt und Transportintensität wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen den Faktoren Tanken im Ausland und der Energieintensität zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

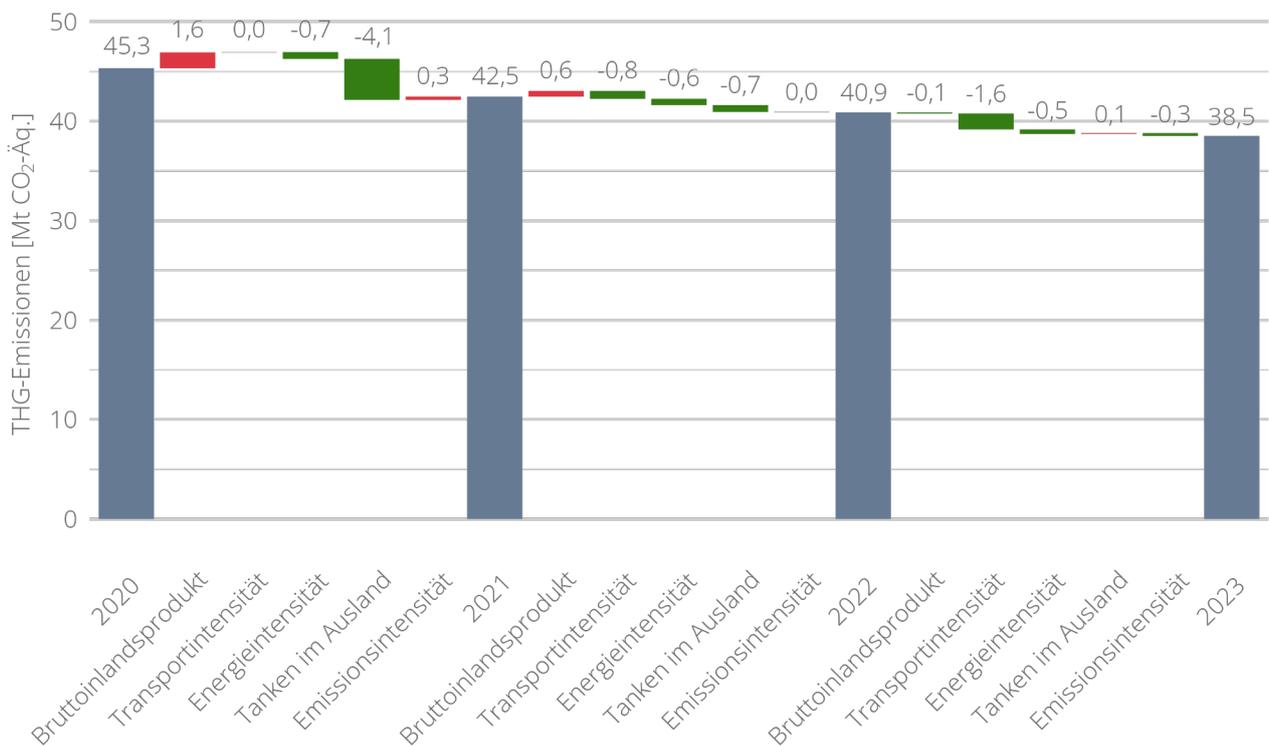
Abbildung A 11: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßengüterverkehr – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 6. Faktoren: Bruttoinlandsprodukt (BIP), Transportintensität ($\text{km}_{\text{Lkw}}/\text{BIP}$), Energieintensität ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}/\text{km}_{\text{Lkw}}$), Tanken im Ausland ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}/\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Güterverkehr}}/\text{EEV}_{\text{Absatz}}$).

286 Abbildung A 12 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der Emissionsentwicklung im Straßengüterverkehr für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Der Faktor Bruttoinlandsprodukt stieg im Zeitraum von 2020 bis 2022 aufgrund der wirtschaftlichen Erholung im Anschluss an das erste Jahr der Covid-19-Pandemie. Im Jahr 2023 sank der Faktor hingegen wegen der Energiekrise und entsprechender wirtschaftlicher Entwicklungen. Daher ist auch der rechnerische Beitrag des Faktors Bruttoinlandsprodukt an der Emissionsentwicklung erst positiv und dann negativ. Der Faktor der Transportintensität sank im Jahr 2023 vermutlich aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklung in der energieintensiven Industrie. Entsprechend ist der rechnerische Beitrag des Faktors der Transportintensität insgesamt negativ. Der Faktor Tanken im Ausland sank im Zeitraum von 2020 bis 2022 teilweise aufgrund geringerer Dieselpreise gegenüber 2020 im Ausland. Im Jahr 2023 stieg der Faktor hingegen wieder. Das Tanken im Ausland reduziert die Emissionen rein bilanziell, da die Emissionen nach Absatzprinzip (Verkauf an deutschen Tankstellen) berichtet werden. Daher ist auch der rechnerische Beitrag des Faktors Tanken im Ausland an der Emissionsentwicklung insgesamt negativ.

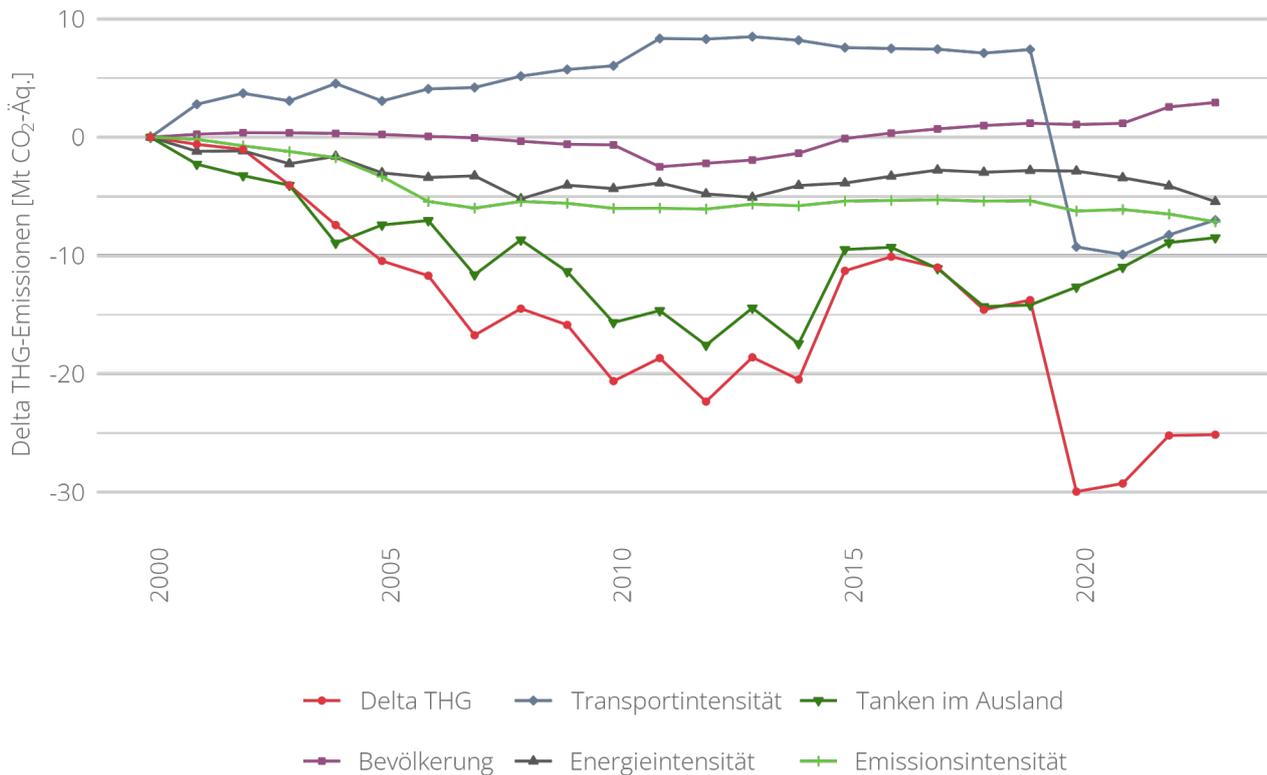
Abbildung A 12: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßengüterverkehr – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 6. Faktoren: Bruttoinlandsprodukt (BIP), Transportintensität ($\text{km}_{\text{Lkw}}/\text{BIP}$), Energieintensität ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}/\text{km}_{\text{Lkw}}$), Tanken im Ausland ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}/\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Güterverkehr}}/\text{EEV}_{\text{Absatz}}$).

287 Abbildung A 13 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der THG-Emissionen für den Personenverkehr mit Pkw für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor Bevölkerung wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen dem Faktor Tanken im Ausland zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

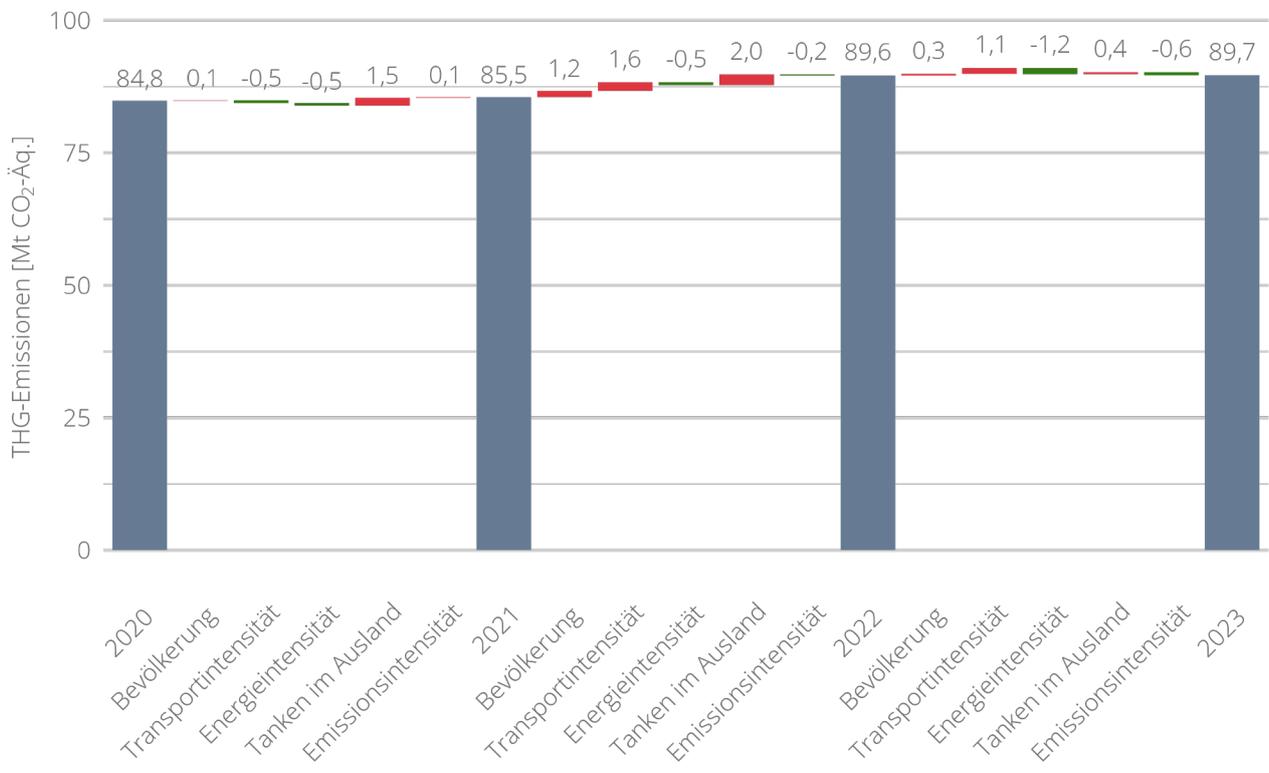
Abbildung A 13: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßenpersonenverkehr – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 6. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), Transportintensität ($\text{km}_{\text{Pkw}}/\text{BEVÖ}$), Energieintensität ($\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}/\text{km}_{\text{Pkw}}$), Tanken im Ausland ($\text{EEV}_{\text{Absatz}}/\text{EEV}_{\text{Verbrauch}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Personenverkehr}}/\text{EEV}_{\text{Absatz}}$).

288 Abbildung A 14 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der Emissionsentwicklung im Personenverkehr mit Pkw für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Der Faktor Tanken im Ausland stieg im Zeitraum von 2020 bis 2023. Diese Veränderung kann unter anderem an den Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie liegen, da dadurch für Privatpersonen die Möglichkeiten im Ausland zu tanken eingeschränkt waren. Daher ist auch der rechnerische Beitrag des Faktors Tanken im Ausland an der Emissionsentwicklung positiv. Zwischen den Jahren 2021 und 2023 nahm die Transportintensität wieder zu, nachdem sie zuvor aufgrund der eingeschränkten Mobilität durch die Covid-19-Pandemie gesunken war. Dies bedingt den rechnerisch positiven Beitrag des Faktors Transportintensität in diesen Jahren.

Abbildung A 14: Dekomposition der THG-Emissionen im Straßenpersonenverkehr – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 6. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), Transportintensität ($km_{Pkw}/BEVÖ$), Energieintensität ($EEV_{Verbrauch}/km_{Pkw}$), Tanken im Ausland ($EEV_{Absatz}/EEV_{Verbrauch}$) und Emissionsintensität ($THG_{Personenverkehr}/EEV_{Absatz}$).

A.1.7 Landwirtschaft

289 Für die Dekomposition der THG-Emissionen des Landwirtschaftssektors wird zwischen den THG-Emissionen aus der Nutztierhaltung und aus landwirtschaftlich genutzten Böden differenziert. Für die Nutztierhaltung gehen die THG-Emissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement (CRF-Kategorie 3.B) sowie aus der tierischen Verdauung (CRF-Kategorie 3.A) verschiedener Nutztiere in die Dekomposition ein. Die Nutztiere umfassen Rinder, Schweine, Geflügel und andere. Insgesamt werden somit 84 % der Sektor THG-Emissionen abgedeckt. Die gesamte Entwicklung der THG-Emissionen aus landwirtschaftlichen Flächen wird in der Dekomposition den Faktoren Landwirtschaftsfläche (Fläche), Düngerintensität (Düngereinsatz/Fläche) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Fläche}}/\text{Düngereinsatz}$) zugeordnet. Die gesamte Entwicklung der THG-Emissionen aus der Nutztierhaltung wird in der Dekomposition den Faktoren Bevölkerung (BEVÖ), Nutztiere pro Kopf ($\text{Nutztiere}_{\text{Gesamt}}/\text{BEVÖ}$), Anteil Nutztierarten ($\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}/\text{Nutztiere}_{\text{Gesamt}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Tierart}}/\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}$) zugeordnet. Die zugrunde liegenden Datenquellen sind in Tabelle A 7 gelistet. Für weitere Details zur Methodik siehe ERK (2022c).

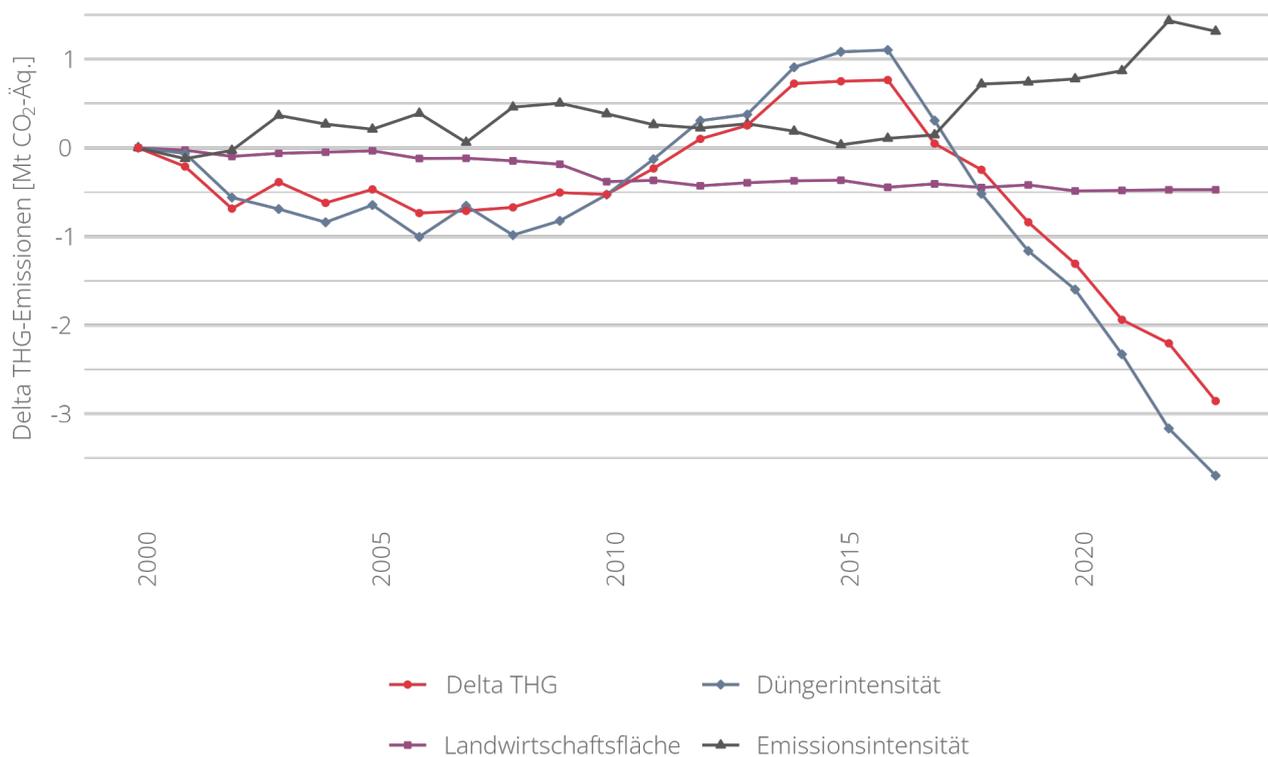
Tabelle A 7: Zugrundeliegende Daten der Dekomposition – Landwirtschaft

Dekomposition	Daten	Quelle	Details
Landwirtschaft (Nutztierhaltung)	THG-Emissionen ($\text{THG}_{\text{Nutztiere}}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorien 3.A, 3.B
	Bevölkerung (BEVÖ)	(Destatis 2024e)	Genesis Datenbank Tabelle 12111-0001
	Anzahl Nutztiere je Tierart ($\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorien 3.A, 3.B
	THG-Emissionen je Tierart ($\text{THG}_{\text{Tierart}}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorien 3.A, 3.B
Landwirtschaft (landwirtschaftliche Böden)	THG-Emissionen ($\text{THG}_{\text{Flächen}}$)	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 3.D
	Landwirtschaftlich genutzte Fläche (Fläche)	(BMEL 2024e)	CRF-Kategorie 3.D
	Menge von Düngemittel (Düngereinsatz)	(UBA 2025)	CRF-Kategorie 3.D

Eigene Darstellung.

290 Abbildung A 15 stellt die Ergebnisse der THG-Emissionen der landwirtschaftlich genutzten Flächen für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Dem Faktor Emissionsintensität wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen dem Faktor Düngerintensität zugeordnet. Eine detaillierte Auswertung der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

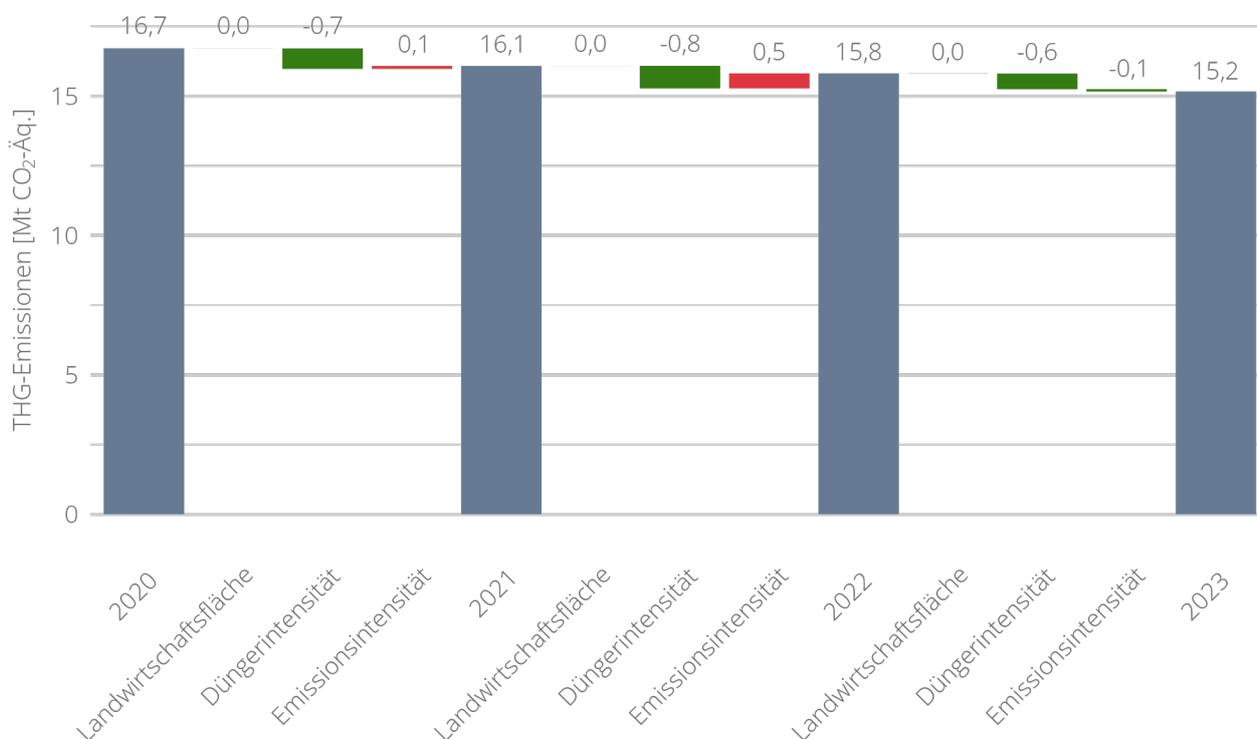
Abbildung A 15: Dekomposition der THG-Emissionen von landwirtschaftlich genutzten Flächen – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 7. Faktoren: Landwirtschaftsfläche (Fläche), Düngerintensität (Düngereinsatz/Fläche) und Emissionsintensität (THG_{Fläche}/Düngereinsatz).

291 Abbildung A 16 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der Emissionsentwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flächen für die Jahre 2020 bis 2023 jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Der Faktor Düngerintensität sank über den gesamten Zeitraum, so dass ihm ein konstanter emissionsmindernder Beitrag zugeordnet wird. Die Gründe dafür sind die hohen Preise für Stickstoffdünger wegen des Kriegs in der Ukraine seit Februar des Jahres 2022, wegen des Anstiegs des Ökolandbaus und wegen erhöhter Anforderungen im Düngerecht. Der Faktor Emissionsintensität stieg im Jahr 2022 leicht, und sank im Jahr 2023 leicht, möglicherweise aufgrund der Witterungsbedingungen. Daher ist auch der rechnerische Beitrag des Faktors Emissionsintensität an der Emissionsentwicklung im Jahr 2022 positiv, während er im Jahr 2023 negativ ist.

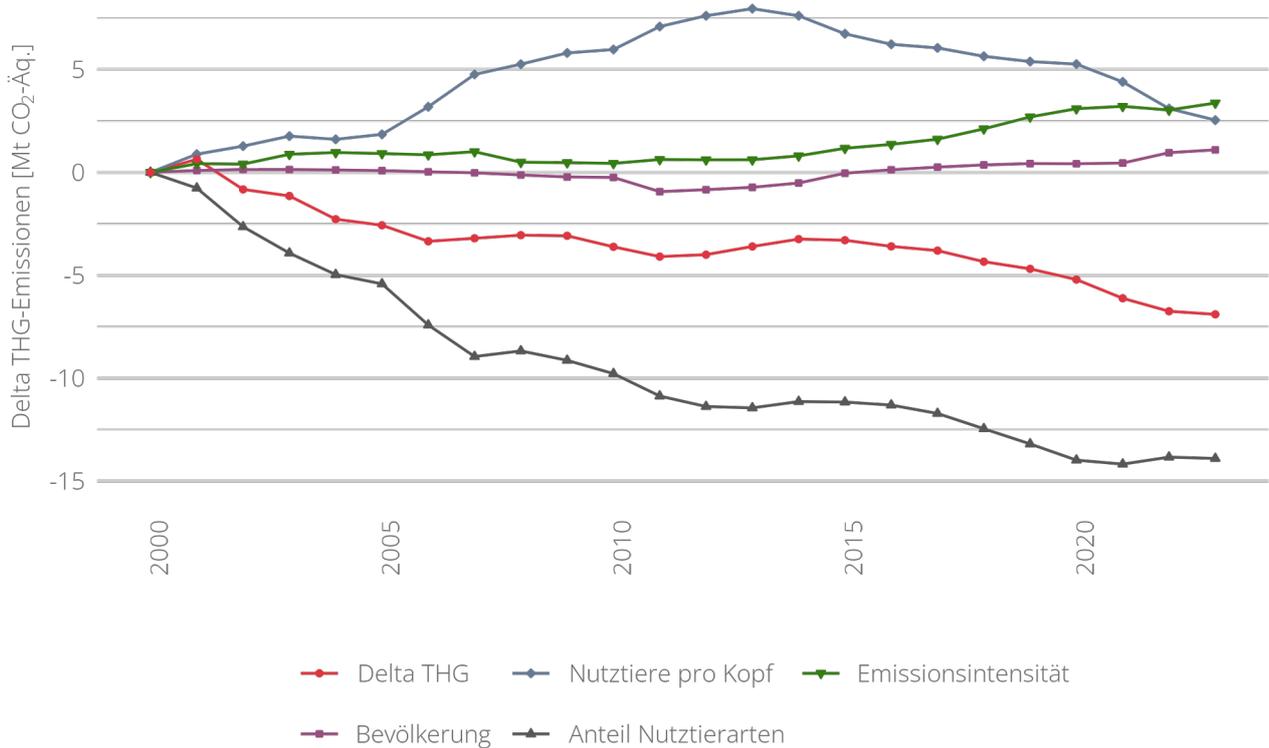
Abbildung A 16: Dekomposition der THG-Emissionen von landwirtschaftlich genutzten Flächen – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 7. Faktoren: Landwirtschaftsfläche (Fläche), Düngerintensität (Düngereinsatz/Fläche) und Emissionsintensität (THG_{Fläche}/Düngereinsatz).

292 Abbildung A 17 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der THG-Emissionen aus der Nutztierhaltung für den Zeitraum von 2000 (Basisjahr) bis 2023 dar. Den Faktoren Nutztiere pro Kopf und Emissionsintensität wird rechnerisch über die Zeit der höchste emissionssteigernde Beitrag zugeordnet. Der höchste emissionsmindernde Beitrag wird hingegen den Faktoren Anteil Nutztierarten zugeordnet. Eine detaillierte Beschreibung und Analyse der Dekomposition vor dem Jahr 2020 ist in ERK (2022c) zu finden.

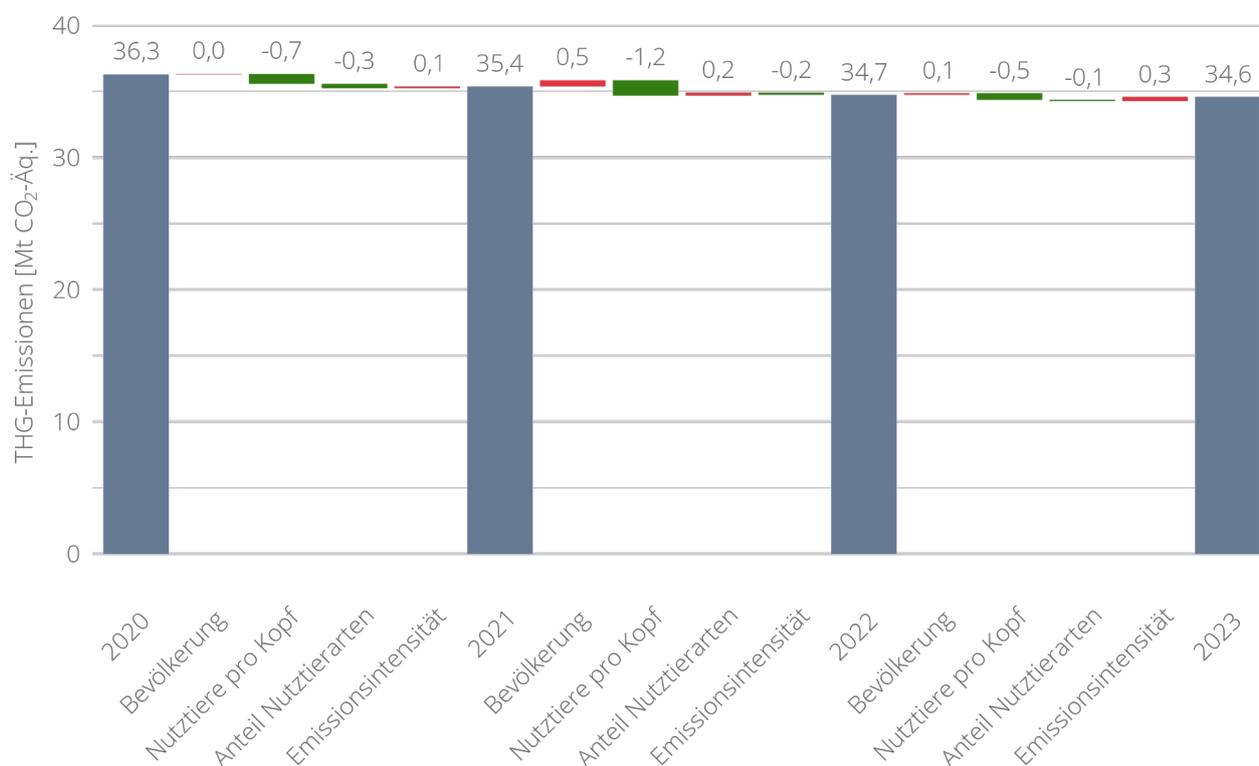
Abbildung A 17: Dekomposition der THG-Emissionen der Nutztierhaltung in der Landwirtschaft – Änderungen im Vergleich zum Jahr 2000



Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 7. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), Nutztiere pro Kopf ($\text{Nutztiere}_{\text{Gesamt}}/\text{BEVÖ}$), Anteil Nutztierarten ($\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}/\text{Nutztiere}_{\text{Gesamt}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Tierart}}/\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}$).

293 Abbildung A 18 zeigt die Ergebnisse der Dekomposition der Emissionsentwicklung aus der Nutztierhaltung im Sektor Landwirtschaft für die Jahre 2020 bis 2023. Der Faktor Anteil Nutztierarten blieb über den Zeitraum nahezu konstant. Daher ist auch der rechnerische Beitrag des Faktors Anteil Nutztierarten an der Emissionsentwicklung in allen drei Jahren nur leicht negativ bzw. positiv. Der Faktor Nutztiere pro Kopf sank zwischen den Jahren 2021 und 2023 aufgrund des Rückgangs der Rinder- und Schweinebestände. Dies bedingt den rechnerisch negativen Beitrag des Faktors Nutztiere pro Kopf in den drei Jahren.

Abbildung A 18: Dekomposition der THG-Emissionen der Nutztierhaltung in der Landwirtschaft – Aggregierte Betrachtung 2020–2021, 2021–2022 und 2022–2023

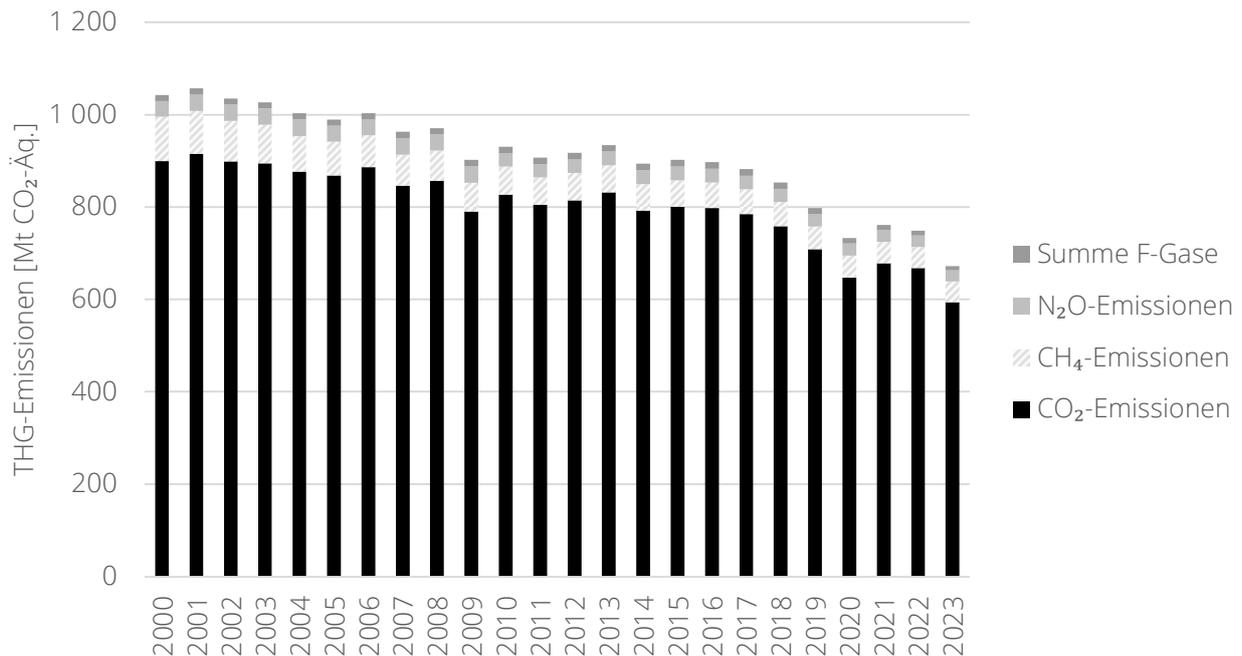


Eigene Darstellung. Weitere Details zu den verwendeten Daten finden sich in Tabelle A 7. Faktoren: Bevölkerung (BEVÖ), Nutztiere pro Kopf ($\text{Nutztiere}_{\text{Gesamt}}/\text{BEVÖ}$), Anteil Nutztierarten ($\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}/\text{Nutztiere}_{\text{Gesamt}}$) und Emissionsintensität ($\text{THG}_{\text{Tierart}}/\text{Nutztiere}_{\text{Tierart}}$).

A.2 Sektorengrafiken

A.2.1 Sektorenübergreifende Betrachtung

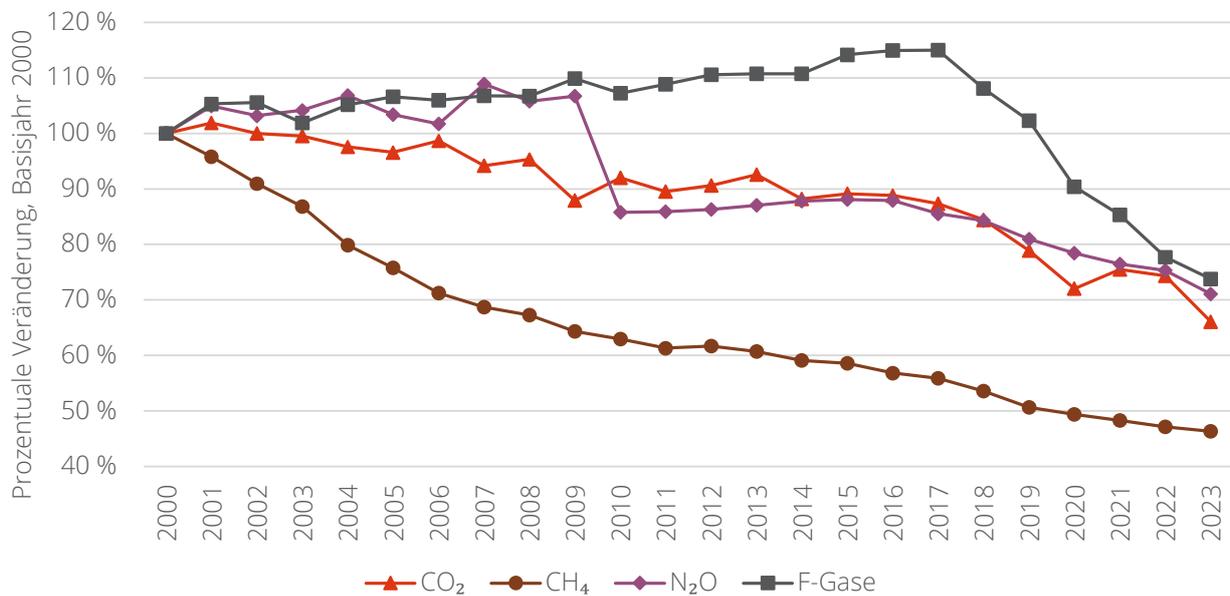
Abbildung A 19: Entwicklung der deutschen THG-Emissionen im Zeitraum von 2000 bis 2023, aufgeschlüsselt in die verschiedenen Treibhausgase



Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2025).

294 Die Abbildung A 19 zeigt, dass die CO₂-Emissionen seit dem Jahr 2000 den größten Anteil an den gesamten THG-Emissionen in Deutschland ausmachen. Im Jahr 2023 hatten sie einen Anteil von ca. 88 %. Die drei anderen Treibhausgase N₂O, CH₄ und F-Gase hatten mit Werten zwischen 1 und 7 % deutlich geringere Anteile.

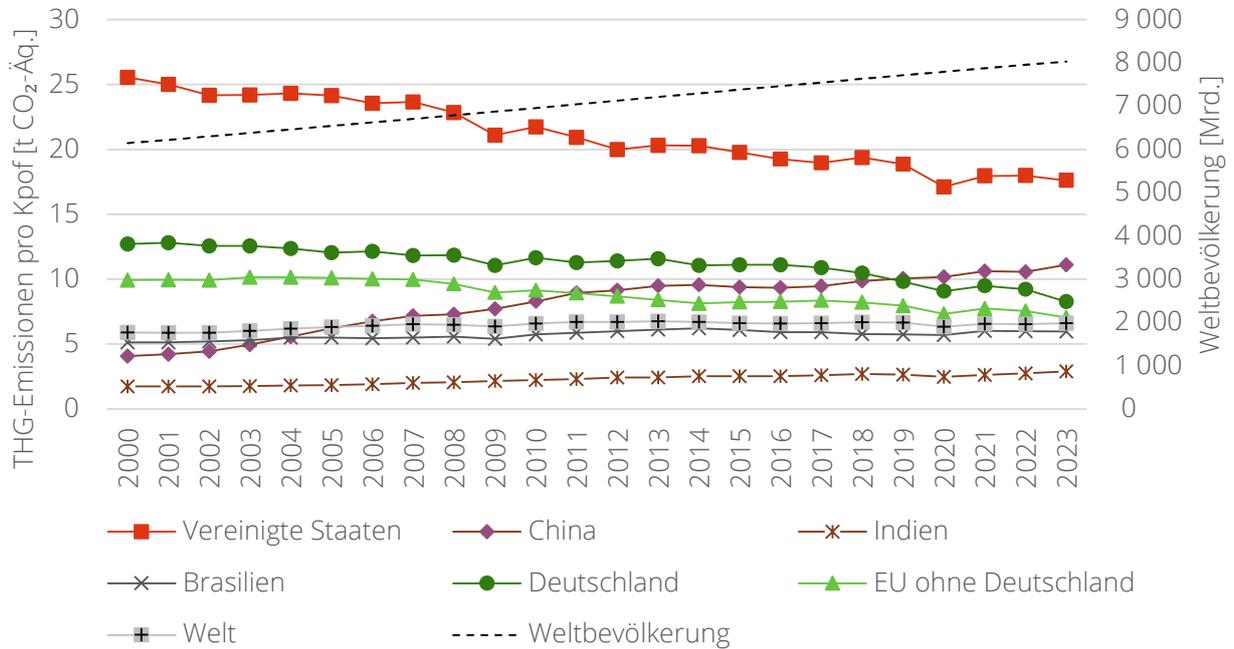
Abbildung A 20: Prozentuale Veränderung der erfassten Treibhausgase



Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2025).

295 Die CH₄-Emissionen zeigen die höchste relative Minderung seit dem Jahr 2000 (siehe Abbildung A 20). Die Minderungen sind vor allem auf die Sektoren Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Sonstige und Energiewirtschaft zurückzuführen. Die Gründe für die Minderung sind in der Landwirtschaft der Rückgang der Rinder- und Schweinebestände, in der Abfallwirtschaft und Sonstige die Einführung der Deponieverordnung und in der Energiewirtschaft die Minderung diffuser THG-Emissionen bei der Kohleförderung (Grubengas), die vermehrt aufgefangen und weiterverwendet werden. Zudem hat die Kohleförderung insgesamt in Deutschland abgenommen. Das Absenken der N₂O-Emissionen im Jahr 2010 ist auf die gezielte technische Minderung der THG-Emissionen in der chemischen Industrie zurückzuführen (siehe ERK 2022c) für eine detaillierte Beschreibung). Die THG-Emissionen durch F-Gase entstehen ausschließlich in der Industrie. Durch das Inkrafttreten der F-Gas-Verordnung im Jahr 2015 wurden die THG-Emissionen durch F-Gase deutlich reduziert. Im Wesentlichen handelte es sich bei der Verordnung um Verwendungsverbote, Verbote des Inverkehrbringens sowie Regelungen zu Dichtheitsprüfungen, Zertifizierung, Entsorgung und Kennzeichnung von F-Gasen (siehe ERK 2022c) für eine detaillierte Beschreibung).

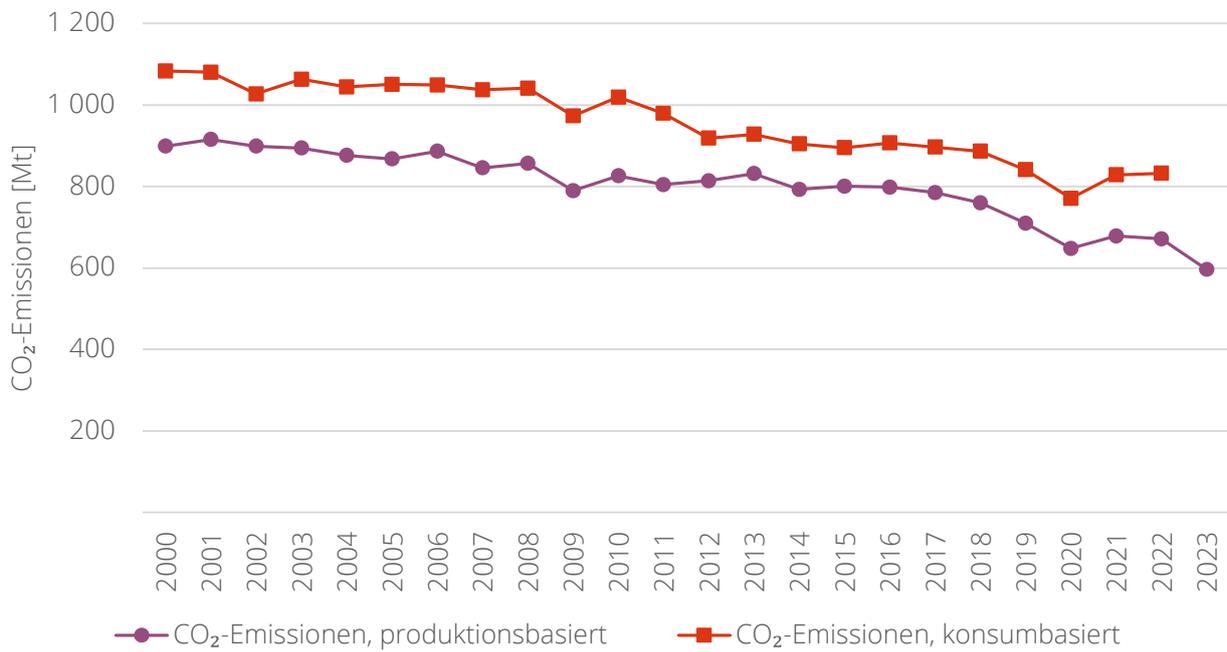
Abbildung A 21: Pro-Kopf-THG-Emissionen im Zeitraum von 2000 bis 2023 und die Zunahme der Weltbevölkerung



Eigene Darstellung auf Basis von EDGAR (2024).

296 Für die Vereinigten Staaten, Deutschland und die EU ohne Deutschland nahmen die Pro-Kopf-THG-Emissionen zwischen den Jahren 2000 bis 2023 ab. Sie liegen aber weiterhin auf einem hohen Niveau verglichen mit den weltweiten Pro-Kopf-THG-Emissionen. Im Vergleich dazu stiegen die Pro-Kopf-THG-Emissionen in China deutlich und konstant über den betrachteten Zeitraum und liegen seit dem Jahr 2011 über dem durchschnittlichen europäischen Niveau ohne Deutschland. Über den gesamten betrachteten Zeitraum haben sich die Pro-Kopf-THG-Emissionen in China mehr als verdoppelt. Brasilien verzeichnet über den Zeitraum eine leichte Zunahme der Pro-Kopf-THG-Emissionen, während die indischen Pro-Kopf-THG-Emissionen auf niedrigem Niveau ebenfalls leicht zunehmen. Die durchschnittlichen Pro-Kopf-THG-Emissionen der Welt steigen ebenfalls über den gesamten Betrachtungszeitraum um rund 12 % an. Die absoluten globalen THG-Emissionen sind von rund 36 Gt CO₂-Äq. im Jahr 2000 auf 53 Gt CO₂-Äq. im Jahr 2023 gestiegen. Dies entspricht einem Anstieg um 46,4 %. Deutlich ist, dass die global steigenden THG-Emissionen nicht in Einklang mit der UNFCCC stehen (siehe Abbildung A 21).

Abbildung A 22: CO₂-Emissionen in Deutschland – Produktions- und konsumbasiert

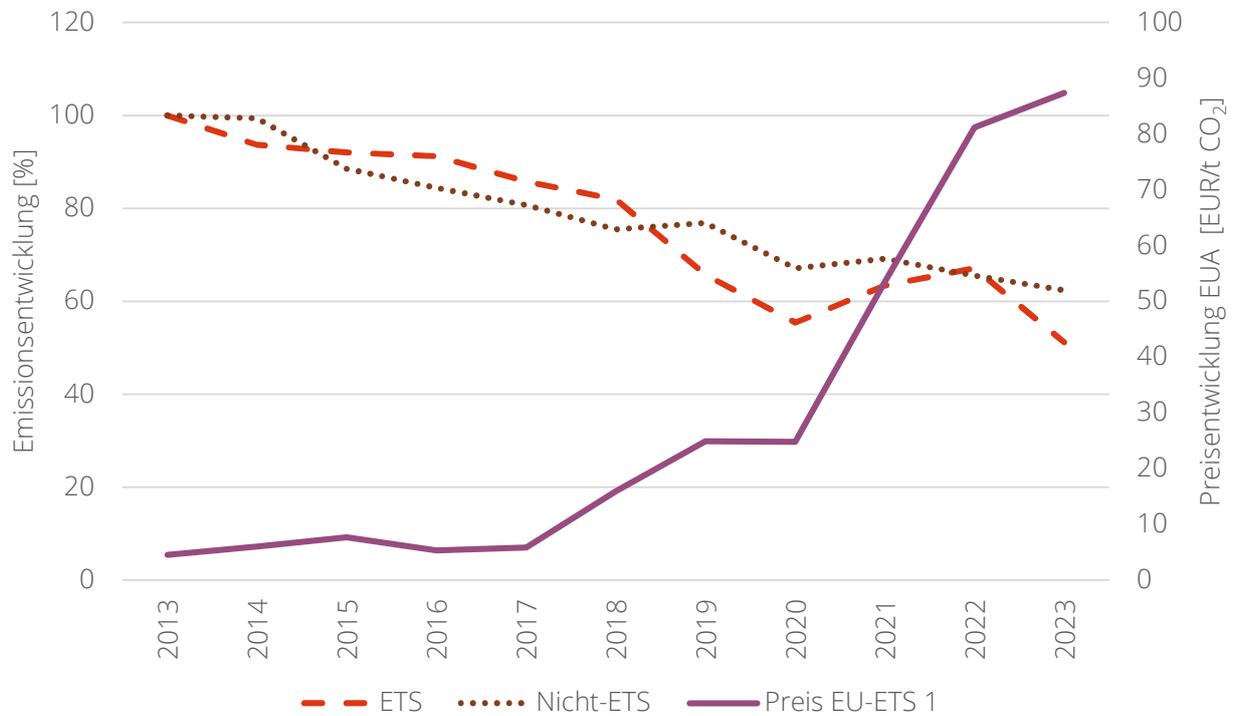


Eigene Darstellung auf Basis von GCP (2025). In der Abbildung sind nur CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen abgebildet. Die jährlichen konsumbasierten CO₂-Emissionen berücksichtigen alle Emissionen, die durch den Konsum eines Landes entstehen – einschließlich der importierten und abzüglich der für den Export verursachten Emissionen.

297 In Deutschland lagen im Zeitraum von 2000 bis 2022 die konsumbasierten CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen, welche um den Handel bereinigt wurden, im Durchschnitt um ca. 18,1 % über den CO₂-Emissionen, welche nach dem produktionsbasierten Ansatz auf Basis des Territorialprinzips berechnet wurden. Zudem liegen die CO₂-Emissionen nach dem konsumbasierten Ansatz für alle Jahre über den CO₂-Emissionen nach dem produktbasierten Ansatz. Beide verzeichnen einen abnehmenden Trend über den hier betrachteten Zeitraum (siehe Abbildung A 22).

A.2.2 Energiewirtschaft

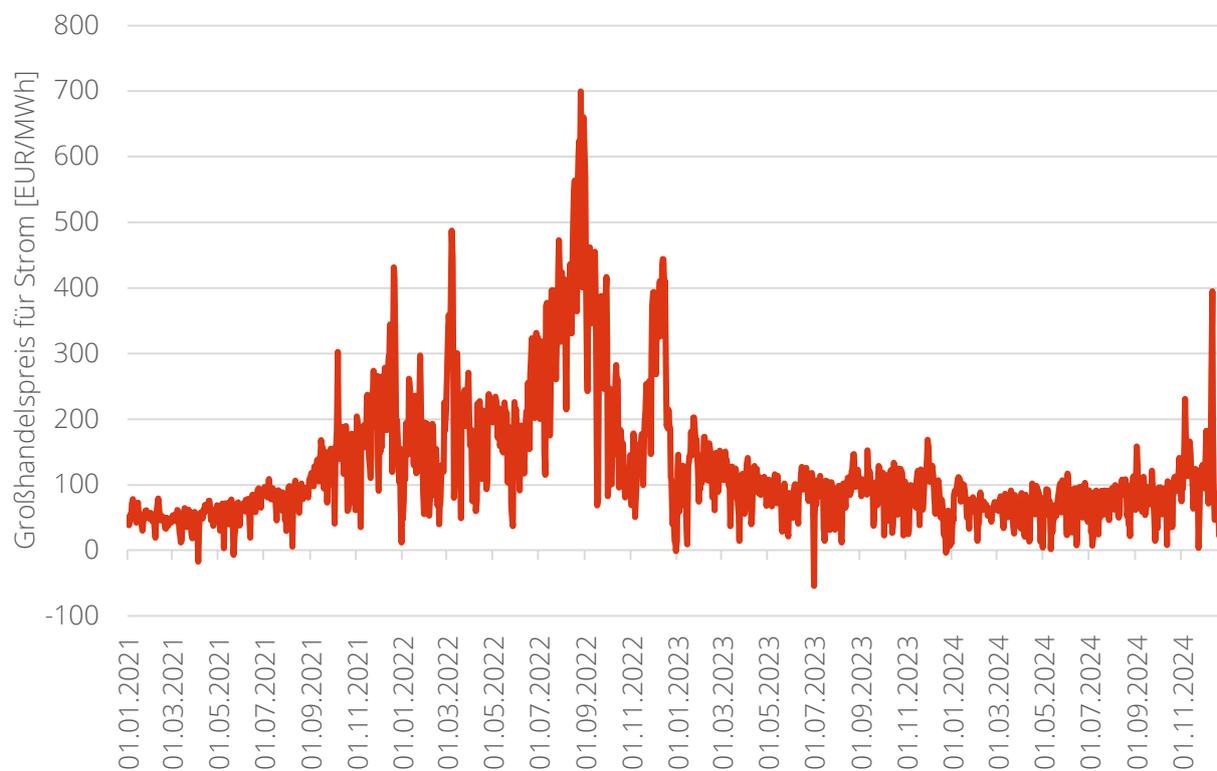
Abbildung A 23: Entwicklung der ETS- und Nicht-ETS-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft sowie zugehörige Zertifikatspreise im Zeitraum von 2013 bis 2023



Eigene Darstellung auf Basis von UBA (2025) und EEA und Ember (2022). EUA: Europäisches Emissionszertifikat.

298 Wie Abbildung A 23 zeigt, sind seit dem Jahr 2013 die ETS-Emissionen stärker als die Nicht-ETS-Emissionen gesunken. Im Jahr 2023 sind die ETS-Emissionen stark gesunken.

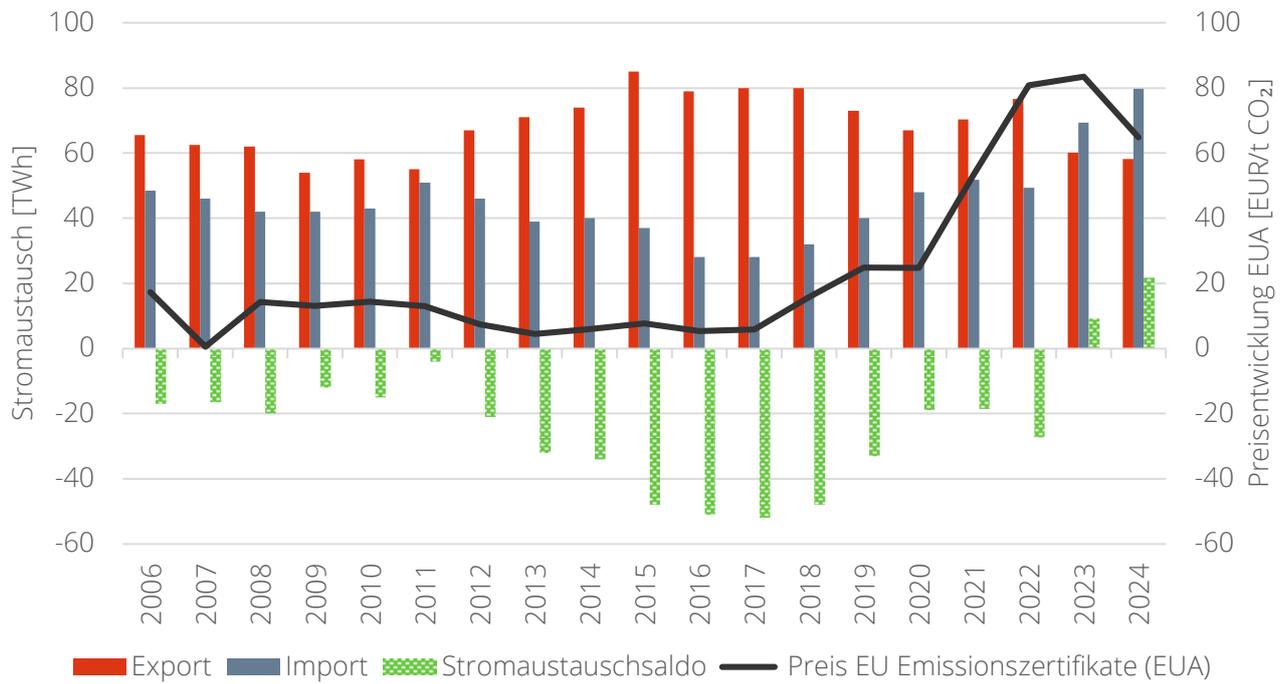
Abbildung A 24: Entwicklung der Großhandelspreise für Strom im Zeitraum von 2021 bis 2024



Eigene Darstellung auf Basis von BNetzA (2024b).

299 Nach den Höchstständen im dritten Quartal 2022 infolge der Energiekrise sanken die Großhandelspreise für Strom deutlich (siehe Abbildung A 24). Im Jahr 2024 lagen sie unter dem durchschnittlichen Großhandelsstrompreis des Jahres 2021.

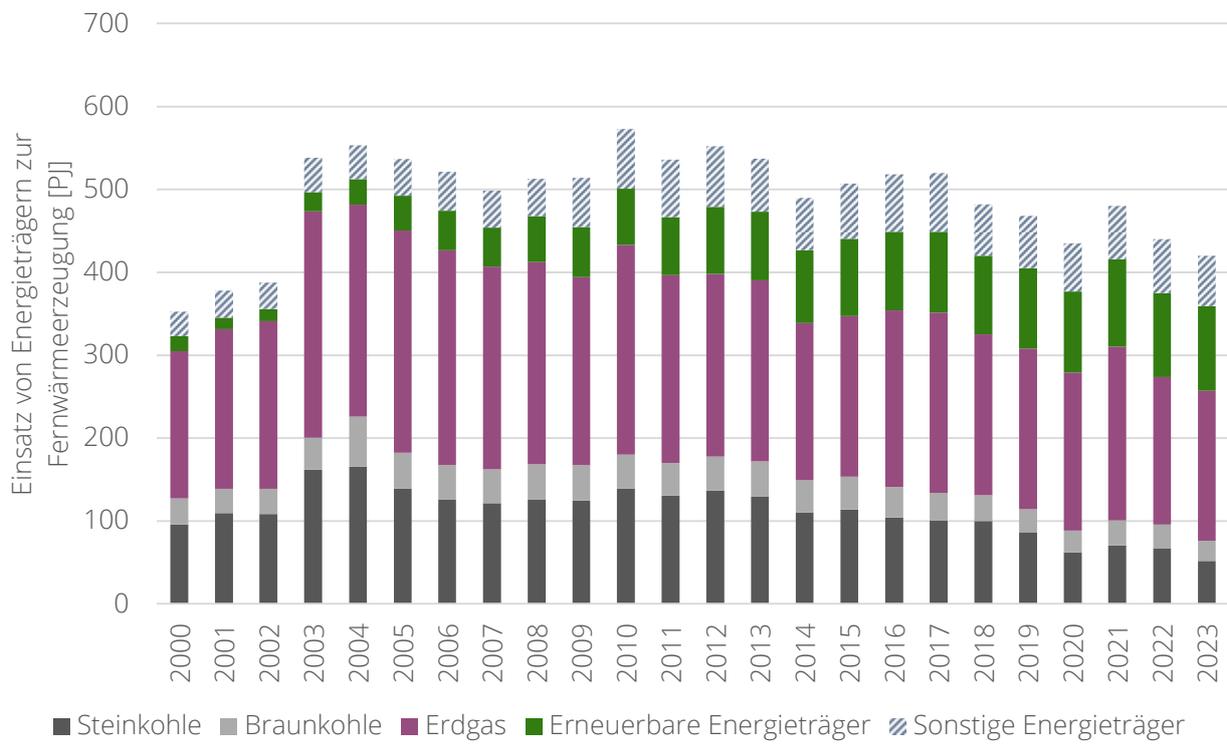
Abbildung A 25: Jährliche Außenhandelsstatistik für den elektrischen Stromaustausch in Deutschland



Eigene Darstellung auf Basis von International Carbon Action Partnership (ICAP) (2023) und AGEB (2023d). Der durchschnittliche Emissionszertifikate Preis im Jahr 2024 beruht auf dem Zeitraum 01.01.2024–28.10.2024.

300 Im Jahr 2023 hat es einen Vorzeichenwechsel im Stromaustauschsaldo gegeben. Es gab höhere Stromimporte und geringere Stromexporte als in den Vorjahren (siehe Abbildung A 25). Diese Entwicklung hat sich im Jahr 2024 noch deutlich stärker fortgesetzt.

Abbildung A 26: Einsatz von Energieträgern zur Fernwärmeerzeugung

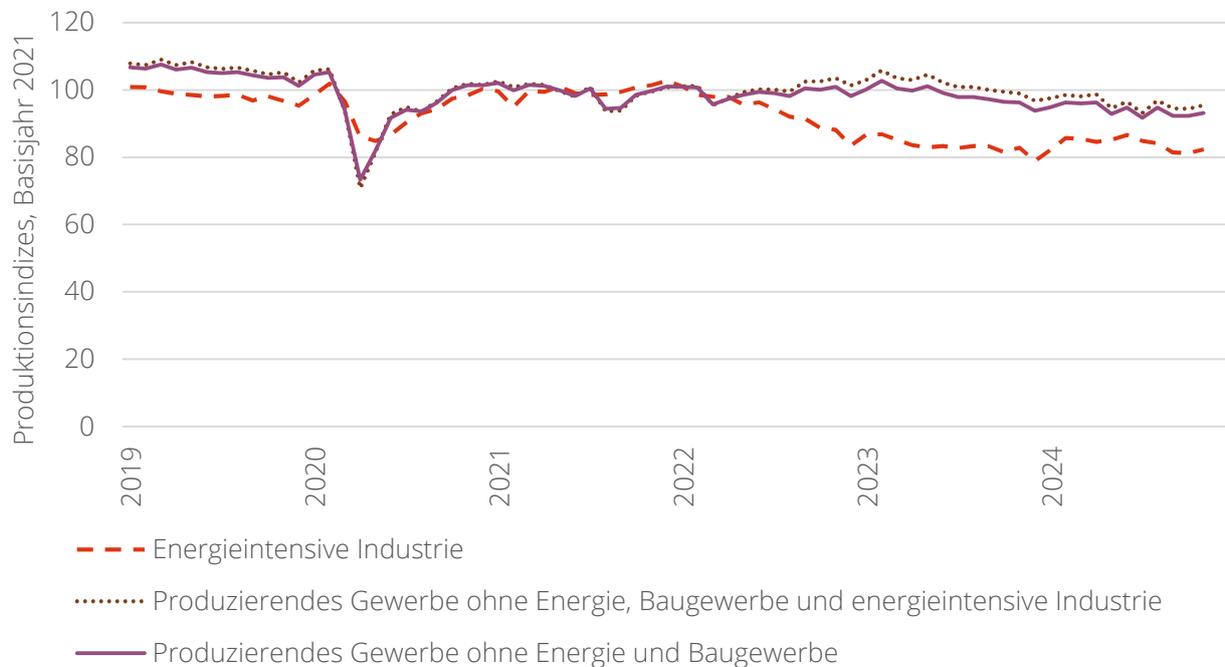


Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2024a).

301 Der Anteil von erneuerbaren Energieträgern zur Fernwärmeerzeugung lag im Jahr 2023 bei 24,2 %. Der Einsatz von Erdgas dominiert weiterhin die Fernwärmeerzeugung (siehe Abbildung A 26).

A.2.3 Industrie

Abbildung A 27: Produktionsindizes des produzierenden Gewerbes sowie der energieintensiven Industrie im Zeitraum von 2019 bis November 2024



Eigene Darstellung auf Basis von (Destatis 2025d) X13 JDemetra+ kalender- und saisonbereinigt.

302 Der Produktionsindex der energieintensiven Industrie fällt nach dem Jahr 2022, und damit nach einem Zeitraum der Erholung im Anschluss an die Covid-19-Pandemie, deutlich unter das gesamtindustrielle Niveau. Die leichte Steigerung zu Beginn des Jahres 2024 bleibt unter Vorkrisen-Niveau (siehe Abbildung A 27).

303 Die Tabelle A 8 zeigt einen Rückgang der Produktivität der energieintensiven Industrie nach zwischenzeitlicher Erholung im Jahr 2021. Der Fahrzeugbau verzeichnet einen gestiegenen Produktionsindex in den Jahren 2022 und 2023. Durch sein hohes Gewicht am gesamtindustriellen Produktionsindex kann er den Rückgang des Gesamtindex abmildern.

Tabelle A 8: Veränderung des Endenergieverbrauchs, Brennstoffeinsatzes, Erdgaseinsatzes und Produktionsindex ausgewählter Branchen des Industriesektors in den Jahren 2019 bis 2023, jeweils im Vergleich zum Vorjahr

EBZ	Parameter	2020	2021	2022	2023
49 – Grundstoffchemie	PI	-0,8 %	7,8 %	-14,4 %	-13,3 %
	EEV	2,1 %	4,4 %	-10,4 %	-3,8 %
	Brennstoffe	8,1 %	4,7 %	-12,8 %	-1,8 %
	Energieintensität (brennstoffbezogen)	9,0 %	-2,9 %	1,9 %	13,3 %
52 – Glas und Keramik	PI	-8,5 %	9,8 %	1,5 %	-12,1 %
	EEV	-4,6 %	8,6 %	-2,3 %	-10,1 %
	Brennstoffe	-4,9 %	8,7 %	-2,8 %	-10,6 %
	Energieintensität (brennstoffbezogen)	3,9 %	-1,0 %	-4,3 %	1,7 %
54 – Metallerzeugung	PI	-10,7 %	11,7 %	-9,4 %	-2,9 %
	EEV	-14,6 %	25,3 %	-12,5 %	-3,9 %
	Brennstoffe	-15,9 %	28,3 %	-13,2 %	-4,3 %
	Energieintensität (brennstoffbezogen)	-5,8 %	14,8 %	-4,2 %	-1,5 %
58 – Fahrzeugbau	PI	-18,6 %	-2,7 %	4,6 %	11,8 %
	EEV	-9,6 %	2,7 %	-7,8 %	0,7 %
	Brennstoffe	-3,9 %	1,4 %	-12,0 %	4,7 %
	Energieintensität (brennstoffbezogen)	18,1 %	4,2 %	-15,9 %	-6,3 %
Gesamt: 60 – Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe	PI	-9,8 %	4,6 %	0,0 %	-0,6 %
	EEV	-4,1 %	7,2 %	-8,2 %	-6,1 %
	Brennstoffe	-3,4 %	9,2 %	-10,3 %	-5,7 %
	Energieintensität (brennstoffbezogen)	7,2 %	4,5 %	-10,3 %	-5,2 %

Eigene Darstellung auf Basis von AGEb (2023a), AGEb (2023b), AGEb (2024d), AGEb (2024e) und Destatis (2025d), X13 JDemetra+ kalender- und saisonbereinigt. Energieintensität ist definiert als Brennstoffverbrauch bezogen auf den Produktionsindex. Sortiert nach Energiebilanzzeile.

304 Die Tabelle A 9 zeigt eine weiterhin große Abhängigkeit der energieintensiven Branchen von fossilen Energieträgern. Insgesamt ist eine konstante Entwicklung des Stromanteils am Endenergieverbrauch zu beobachten.

Tabelle A 9: Anteil der Energieträger am Endenergieverbrauch ausgewählter Branchen im Industriesektor der Jahre 2019 bis 2023

EBZ	Parameter	2020	2021	2022	2023
49 – Grundstoffchemie	Kohlen	3,0 %	2,4 %	2,9 %	2,7 %
	Mineralöle	9,2 %	9,7 %	11,6 %	10,6 %
	Gase	38,2 %	37,2 %	31,9 %	34,0 %
	Strom	30 %	29,8 %	30,2 %	29,9 %
52 – Glas und Keramik	Kohlen	0 %	0 %	0 %	0,2 %
	Mineralöle	2,3 %	1,6 %	3,4 %	5,0 %
	Gase	76,3 %	77 %	74,9 %	72,6 %
	Strom	20,9 %	20,8 %	21,3 %	21,7 %
54 – Metallerzeugung	Kohlen	51,2 %	60,3 %	56,3 %	53,4 %
	Mineralöle	0,4 %	0,3 %	0,4 %	0,4 %
	Gase	34,1 %	27,3 %	30,4 %	32,9 %
	Strom	14,1 %	12,1 %	12,8 %	13,1 %
58 – Fahrzeugbau	Kohlen	6,7 %	5,1 %	3,7 %	2,3 %
	Mineralöle	2,1 %	1,7 %	3 %	7,7 %
	Gase	32,9 %	34,3 %	32,6 %	30,9 %
	Strom	47,9 %	47,5 %	50,1 %	49,5 %
Gesamt: 60 – Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe	Kohlen	14,5 %	17,1 %	15,8 %	15,1 %
	Mineralöle	4,2 %	3,7 %	4,7 %	4,8 %
	Gase	36,4 %	35,4 %	34 %	34,7 %
	Strom	30,6 %	29,6 %	30,3 %	30,1 %

Eigene Darstellung auf Basis von AGEb (2023a), AGEb (2023b), AGEb (2024d) und AGEb (2024e). Die nicht dargestellten Anteile (Differenz zu 100%) entfallen auf Fernwärme und Andere.

A.2.4 Verkehr

Tabelle A 10: Annahmen und verwendete Daten des Verkehrsmodells

Annahme	Daten	Quelle
Bestand basierend auf dem Jahr 2023	Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach ausgewählten Merkmalen (Bundesländern und Fahrzeugklassen), vierteljährlich (FZ 27)	(KBA 2024a)
Konstante Anteile der Neuzulassungen basierend auf durchschnittlichen Werten von 2022 und 2023	Monatliche Neuzulassungen: Kraftfahrzeuge mit alternativem Antrieb (FZ 28)	(KBA 2024c)
Konstante Personen- und Fahrzeugkilometer basierend auf dem Jahr 2023	Jahresfahrleistung nach Fahrzeugart	(KBA 2024e)
Konstanter Besetzungsgrad der Pkw basierend auf dem Jahr 2019	Durchschnittlicher Pkw-Besetzungsgrad	(Follmer und Gruschwitz 2019)

Eigene Darstellung.

305 Tabelle A 10 zeigt die Annahmen und verwendeten Daten des in Kapitel 2.5 beschriebenen Verkehrsmodells.

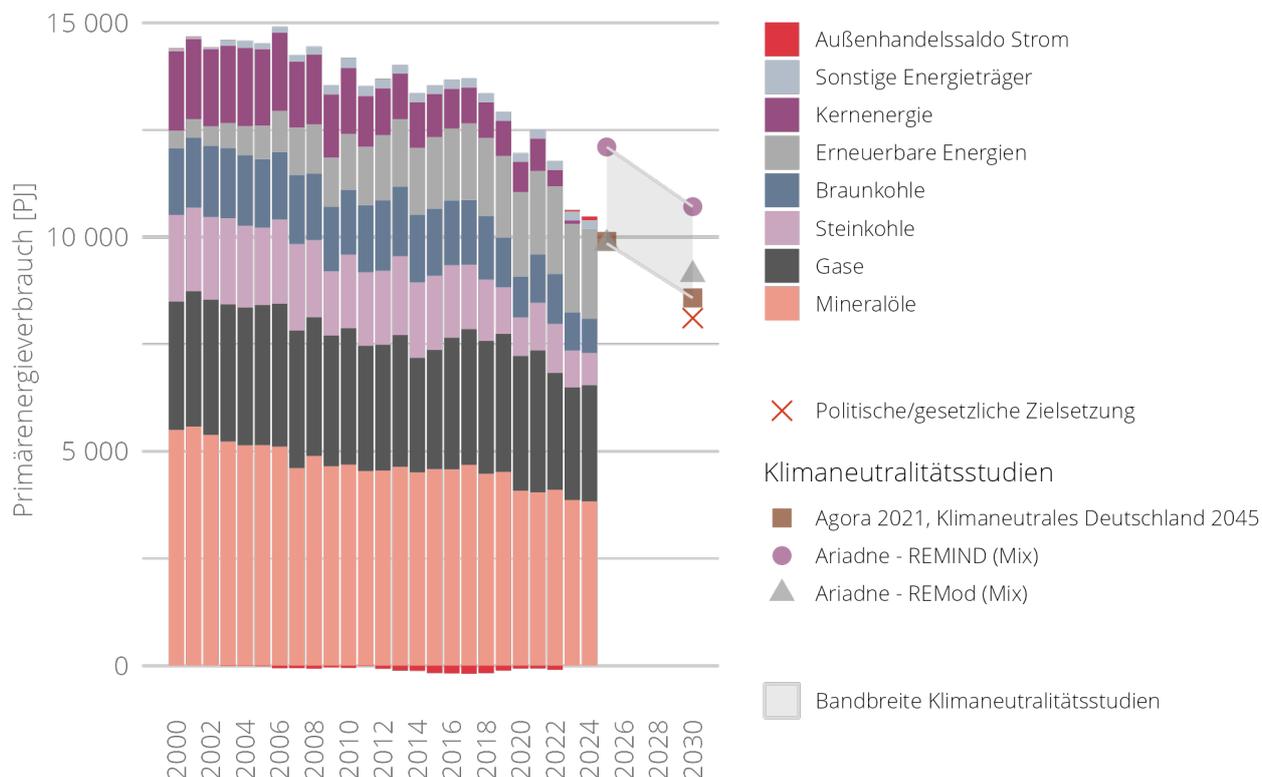
A.3 Indikatoren

306 Im letzten Zweijahresgutachten des Expertenrats für Klimafragen (ERK 2022c) wurden Indikatorenplots auf Basis der „Big 5“ Klimaneutralitätsstudien erstellt.¹⁵¹ Die Szenarien einiger dieser Studien wurden seitdem aktualisiert. Diese Aktualisierungen wurden in den im Folgenden dargestellten Indikatorenplots berücksichtigt. Die Werte für die Szenarien Ariadne – REMIND (Mix) und Ariadne – REMod (Mix) beziehen sich auf die Version v1.3 des Ariadne Transformation Trackers. Das BMWK Langfristszenario O45 wurde im Jahr 2024 aktualisiert, T45 im Jahr 2022. Die Werte für Agora, Klimaneutrales Deutschland 2045 basieren auf der im Jahr 2024 aktualisierten Studie „Klimaneutrales Deutschland – Von der Zielsetzung zur Umsetzung“ (Agora Think Tanks 2024). Die Werte für BDI, Klimapfade 2.0 basieren auf der Aktualisierung „Transformationspfade für das Industrieland Deutschland“ (Burchardt et al. 2024), wenn vorhanden. Ansonsten beziehen sie sich wie im letzten Zweijahresgutachten auf „Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“ (BDI 2021). Die Werte für die dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität sind aus dem Jahr 2021 (dena 2021). Neben den Szenarienwerten aus den „Big 5“ Klimaneutralitätsstudien enthalten die Indikatorenplots Daten zur historischen Entwicklung.

¹⁵¹ Zu den „Big 5“ Klimaneutralitätsstudien zählen die Studien „Klimaneutrales Deutschland 2045“ von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (Prognos et al. 2021), „Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“ des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) (BDI 2021), die dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ (dena 2021), die „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3“ im Auftrag des BMWK (dena 2021) sowie der Modell- und Szenarienvergleich „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“ des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Kopernikus-Projekts Ariadne (Luderer et al. 2021). Die „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien zeigen normative Zielszenarien auf, die mögliche Transformationspfade hin zu Klimaneutralität im Jahr 2045 beschreiben. Hierbei werden Energiesystemmodelle genutzt, deren Ziel meist ein kostenminimales Gesamtsystem unter Einhaltung von CO₂-Zielwerten oder eines CO₂-Budgets ist.

A.3.1 Sektorenübergreifende Betrachtung

Abbildung A 28: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern für die Jahre 2000 bis 2024 im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien

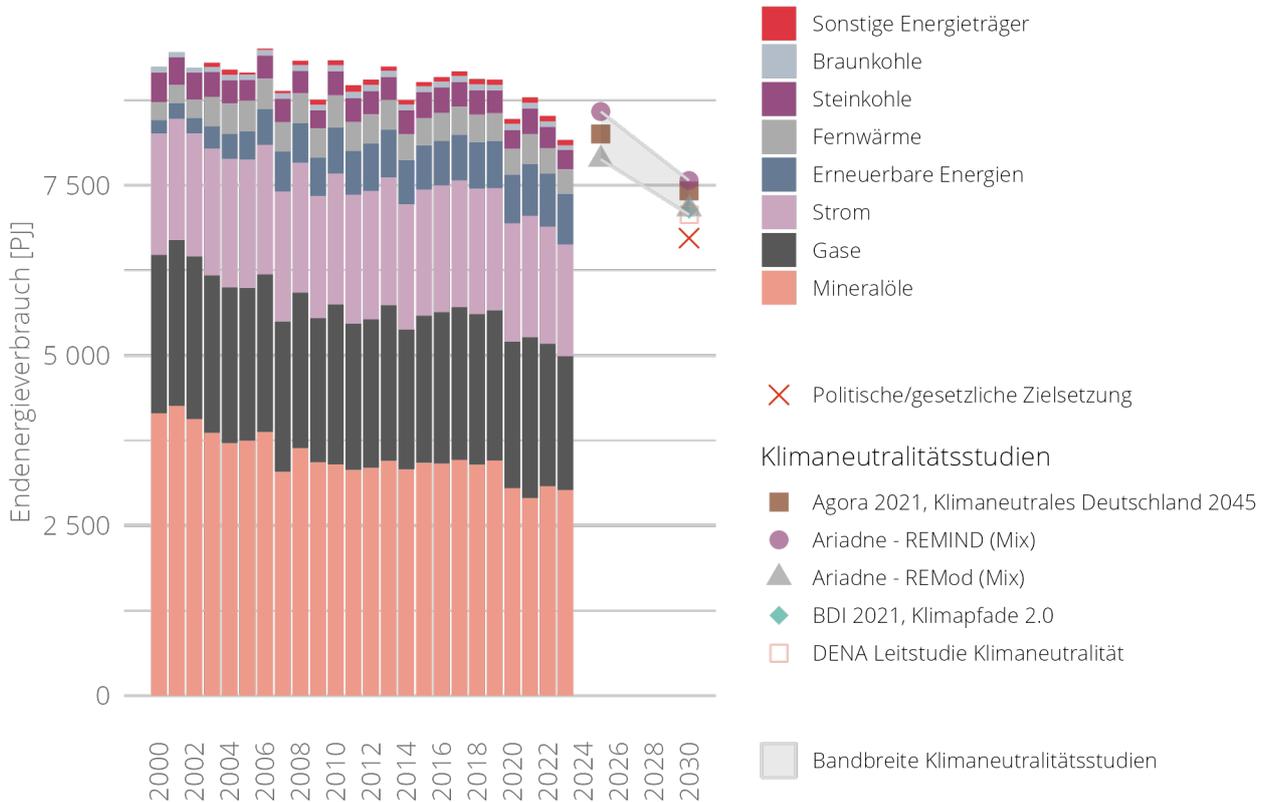


Eigene Darstellung. Der Primärenergieverbrauch ist bis zum Jahr 2023 auf Basis von AGEB (2024a) und für das Jahr 2024 auf Basis von AGEB (2024c) dargestellt. Die Klimaneutralitätsstudien werden in RZ 306 beschrieben. Mit durchschnittlich 99,6 % handelt es sich bei der Kategorie 'Gase' hauptsächlich um Erdgas und Erdölgas. Das gesetzliche Ziel entstammt dem EnEFG. Die Datengrundlage der Einsparziele des Primär- und des Endenergieverbrauchs im EnEFG unterscheiden sich geringfügig von den historischen Daten des Primär- und des Endenergieverbrauchs von AGEB (2024a) und AGEB (2024c). Für den Primärenergieverbrauch wird der nicht-energetische Verbrauch und die Umweltwärme im EnEFG im Gegensatz zu AGEB (2024a) und AGEB (2024c) nicht berücksichtigt.

307 Abbildung A 28 zeigt, dass der Primärenergieverbrauch in den Jahren seit 2021 weiter gesunken ist. Der Rückgang des Primärenergieverbrauchs liegt an einem geringeren Einsatz von fossilen Energieträgern (insbesondere Kohle und Mineralöle). Auch der Anteil von Kernenergie hat über die Zeit abgenommen und ist im Jahr 2024 aufgrund des Atomausstiegs vollständig zurückgegangen. Demgegenüber hat der Anteil erneuerbarer Energieträger über die Jahre immer weiter zugenommen. Der Rückgang der fossilen Energieträger hat unterschiedliche Gründe. Einerseits wurde eine Verbesserung in der Energieeffizienz erreicht, wie beispielsweise durch die Kraft-Wärme-Kopplung und eine Erhöhung des Brennstoffnutzungsgrades bei fossilen Kraftwerken (siehe ERK 2022c). Andererseits führten Krisen wie die Covid-19-Pandemie und die Energiekrise zu einem geringeren Energieverbrauch. Die Zunahme des Anteils von erneuerbaren Energieträgern ist auf den Ausbau der installierten Leistung von Photovoltaik, Wind an Land und Wind auf See zurückzuführen (siehe Kapitel 2.2). Im EnEFG wurde festgehalten, dass der Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 2008 um mindestens 39,3 %

sinken soll. Bis zum Jahr 2024 ist der Primärenergieverbrauch im Vergleich zum Jahr 2008 um 27,1 % gesunken.

Abbildung A 29: Endenergieverbrauch nach Energieträgern für die Jahre 2000 bis 2023 im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien

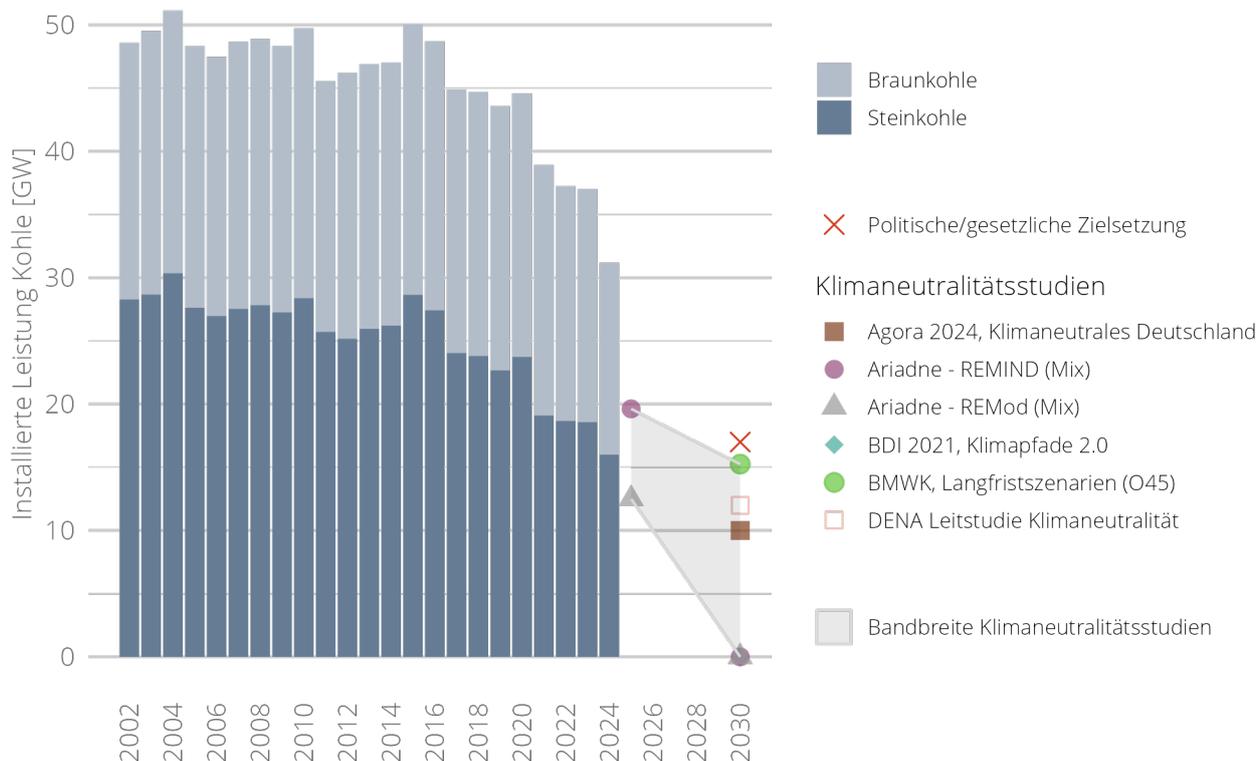


Eigene Darstellung auf Basis von AGEb (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Mit 95,4 % handelt es sich bei der Kategorie 'Gase' hauptsächlich um Erdgas und Erdölgas. Das gesetzliche Ziel entstammt dem EnEFG. Die Datengrundlage der Einsparziele des Primär- und Endenergieverbrauchs im EnEFG unterscheiden sich geringfügig von den historischen Daten des Primär- und Endenergieverbrauchs von AGEb (2024a) und AGEb (2024c). Für den Endenergieverbrauch wird die Umweltwärme im EnEFG im Gegensatz zu AGEb (2024a) nicht berücksichtigt.

308 Beim Endenergieverbrauch ist die strukturelle Verschiebung hin zu emissionsärmeren Energieträgern kaum festzustellen (siehe Abbildung A 29). Allgemein ist in den Jahren ab 2021 ein leichtes Absinken des Endenergieverbrauchs zu verzeichnen. Dies ist auf einen Rückgang in der Nutzung von Erdgas und Strom in den Jahren 2022 und 2023 zurückzuführen. Alle weiteren Energieträger verbleiben in diesen Jahren auf einem gleichbleibenden Niveau. Der Rückgang des Endenergieverbrauchs der letzten Jahre begründet sich in der Covid-19-Pandemie und den gestiegenen Energiepreisen der Jahre 2022 und 2023. Im EnEFG wurde festgehalten, dass der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 2008 um mindestens 26,5 % sinken soll. Dieses gesetzliche Ziel liegt unter den Werten, die die „Big 5“-Szenarien für das Jahr 2030 berechnen. Im Jahr 2023 ist der Endenergieverbrauch im Vergleich zum Jahr 2008 um 12,5 % gesunken. Damit liegt der Wert des Endenergieverbrauchs des Jahres 2023 bereits in dem Bereich, den die „Big 5“-Szenarien für das Jahr 2025 abdecken.

A.3.2 Energiewirtschaft

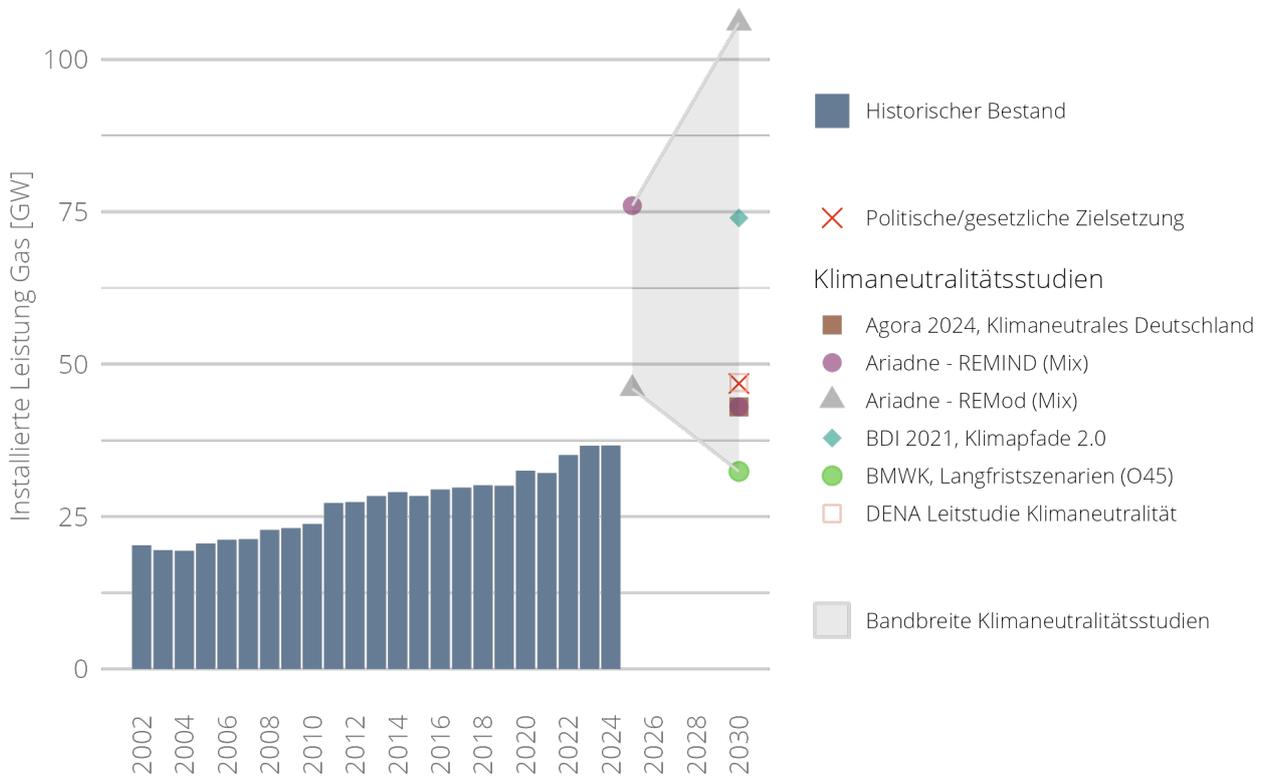
Abbildung A 30: Entwicklung der installierten Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerken im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von Fraunhofer ISE (2024) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das gesetzliche Ziel von 17 GW wurde dem KVBG entnommen.

309 Die installierte Leistung von Stein- und Braunkohle ist im Jahr 2023 auf 32,7 GW und im Jahr 2024 weiter auf 31,2 GW zurückgegangen (siehe Abbildung A 30). Der durchschnittliche (absolute) Rückgang pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2024 liegt mit rund 2,6 GW über der für die EEG-Ziel-Erfüllung im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 2,4 GW. Allerdings ist der jährliche Rückgang derzeit nicht ausreichend, um den Zielraum der Klimaneutralitätsszenarien zu erreichen.

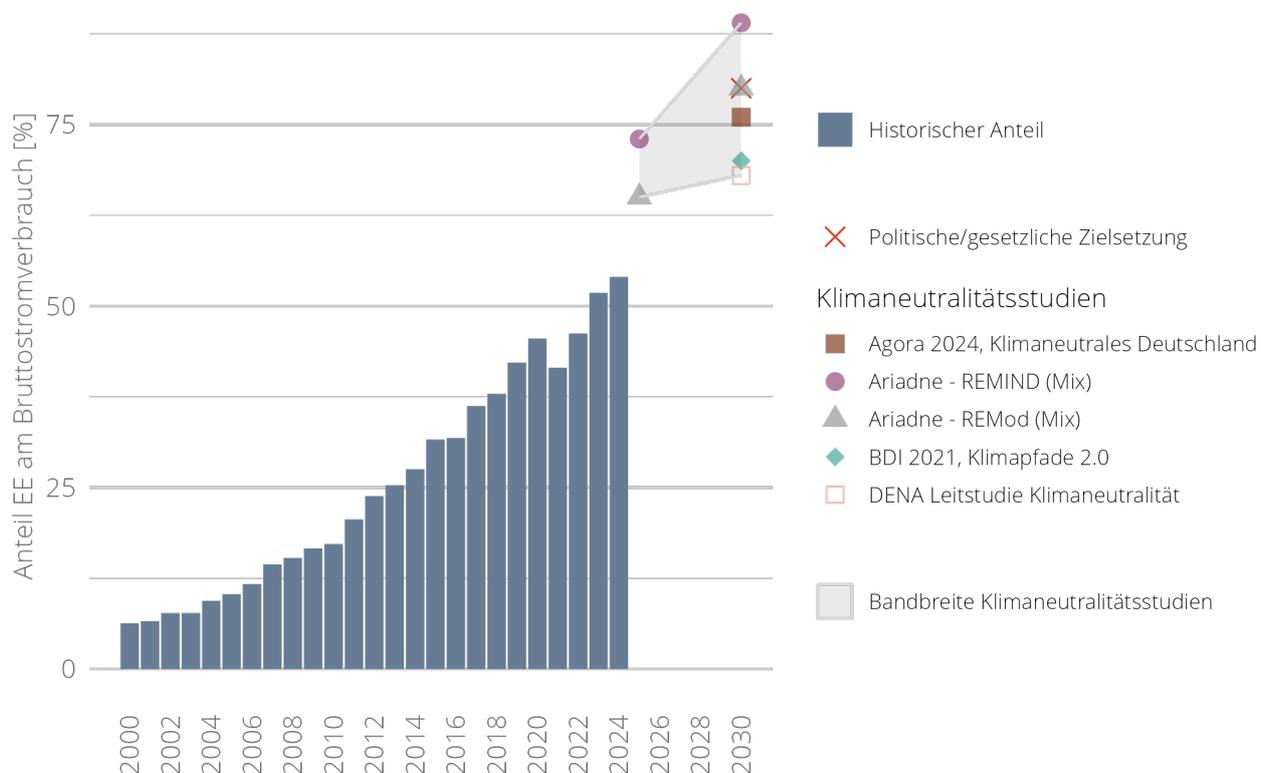
Abbildung A 31: Entwicklung der installierten Leistung von Erdgaskraftwerken im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien für Gas- und Wasserstoffkraftwerke



Eigene Darstellung auf Basis von Fraunhofer ISE (2024) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel entspricht der laut Kraftwerksstrategie geplanten Neubau von 10,5 GW Kraftwerkskapazität, davon 5 GW wasserstofffähige Gaskraftwerke, 500 MW Wasserstoffkraftwerke und 5 GW Gaskraftwerke (BMWK 2023d). Das Ziel für 2030 entspricht somit 47 GW.

310 Die installierte Leistung von Erdgaskraftwerken ist im Jahr 2023 auf 36,6 GW gestiegen. Im Jahr 2024 ist kein nennenswerter Zubau erfolgt (siehe Abbildung A 31). Die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2024 liegt mit 1,5 GW unter der für die EEG-Ziel-Erfüllung im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 1,7 GW.

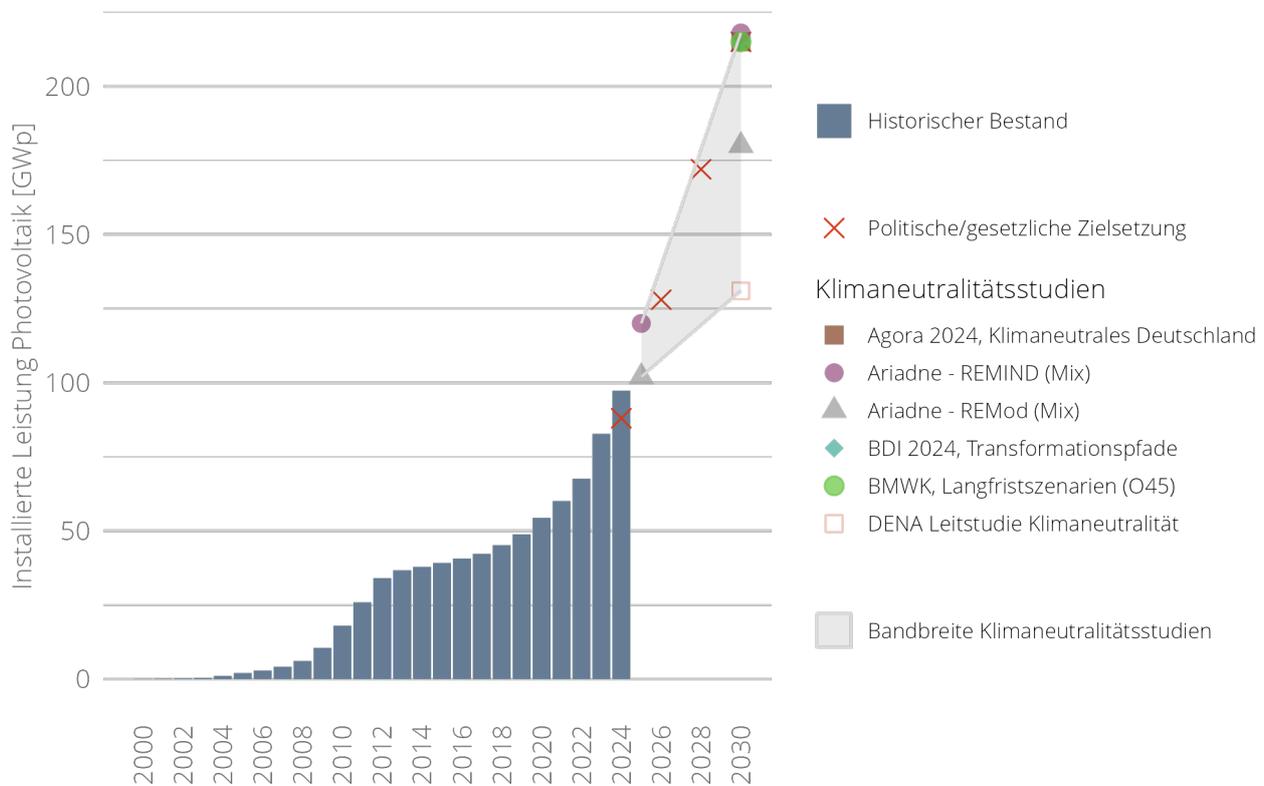
Abbildung A 32: Entwicklung des Verhältnisses der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern zum Brutto-Stromverbrauch im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEE-Stat (2024b), AGEE-Stat (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel von 80 % wurde dem Koalitionsvertrag SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021) entnommen.

311 Der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern am Brutto-Stromverbrauch lag mit 51,8 % im Jahr 2023 erstmals über einem Anteil von 50 %. Im Jahr 2024 stieg der Anteil weiter auf 54 % (siehe Abbildung A 32).

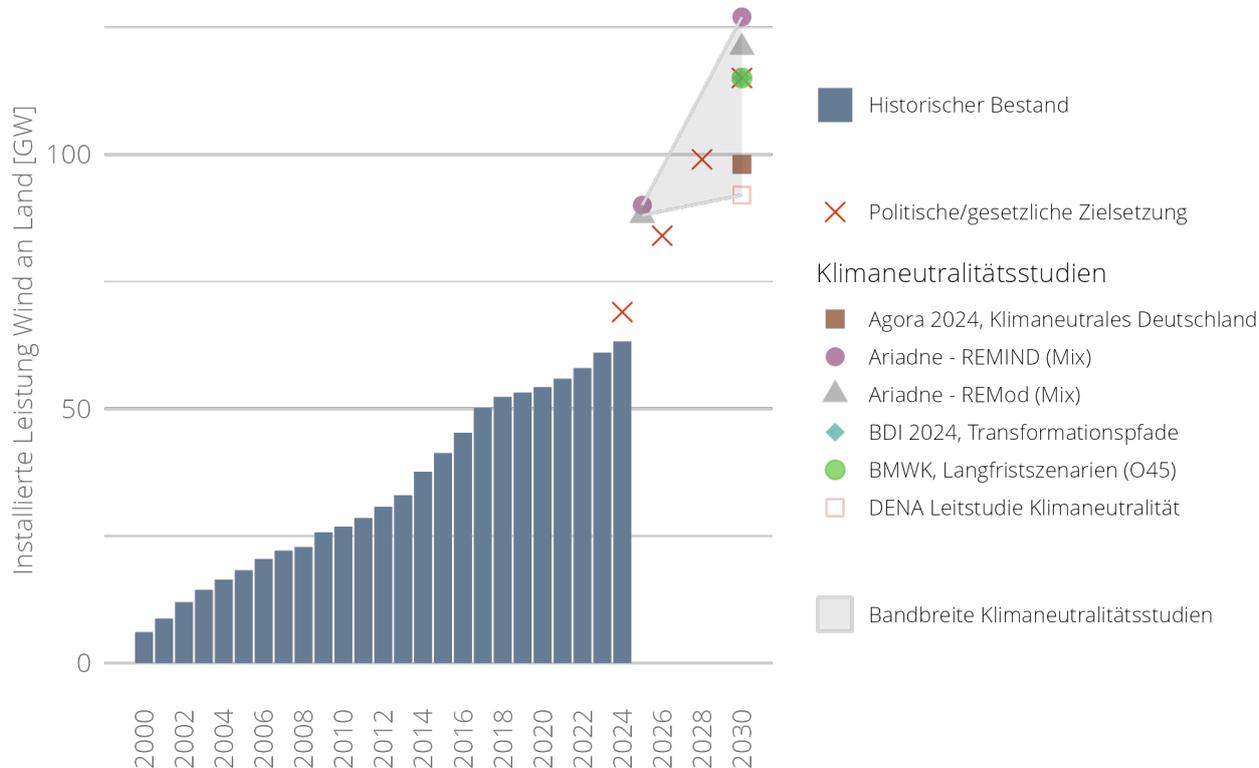
Abbildung A 33: Entwicklung der installierten Leistung von Photovoltaik im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEE-Stat (2024b), AGEE-Stat (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die gesetzlichen Ziele wurden dem EEG entnommen. Das Ziel für das Jahr 2030 entspricht 215 Gigawatt-Peak.

312 Die installierte Leistung von Photovoltaik ist im Jahr 2023 auf 82,8 GW und im Jahr 2024 weiter auf 97,3 GW gestiegen. Damit wurde das politische Ziel für das Jahr 2024 von 88 GW übertroffen (siehe Abbildung A 33). Allerdings liegt die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2024 mit rund 12,4 GW unter der für die EEG-Ziel-Erfüllung im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 19,6 GW.

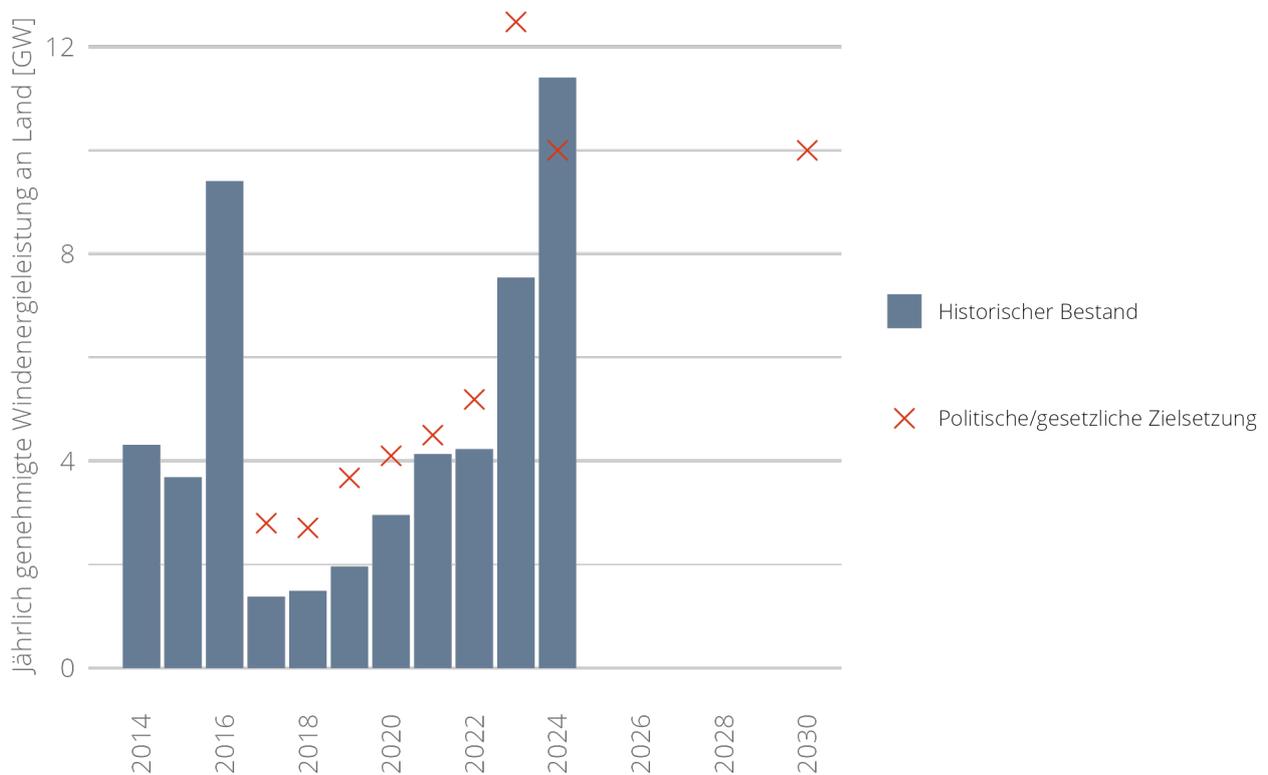
Abbildung A 34: Entwicklung der installierten Leistung von Wind an Land im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEE-Stat (2024b), AGEE-Stat (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die gesetzlichen Ziele wurden dem EEG entnommen.

313 Die installierte Leistung von Wind an Land ist im Jahr 2023 auf rund 61 GW und im Jahr 2024 weiter auf 63,2 GW gestiegen. Damit wurde das politische Ziel für das Jahr 2024 von 69 GW nicht erreicht (siehe Abbildung A 34). Die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2024 liegt mit 2,4 GW unter der für die EEG-Ziel-Erfüllung im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 8,6 GW. Darüber hinaus ist diese zu gering, um den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien zu erreichen.

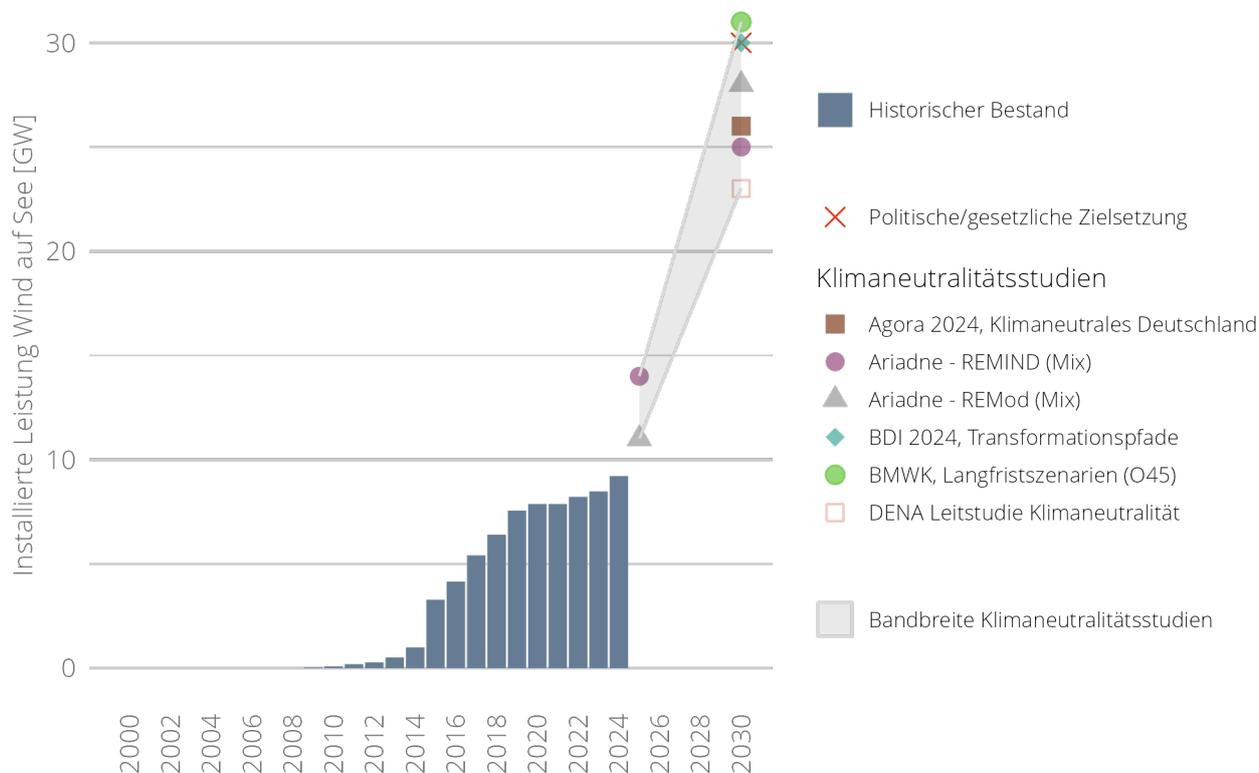
Abbildung A 35: Entwicklung der jährlich genehmigten Windenergieleistung an Land im Vergleich zur politischen Zielsetzung (Ausschreibungsmengen)



Eigene Darstellung auf Basis von Schill et al. (2022). Die gesetzlichen Ziele wurden dem EEG entnommen.

314 Die jährlich genehmigte Windenergieleistung an Land lag in den vergangenen Jahren unter der Ausschreibungsmenge. Im Jahr 2024 wurde die Ausschreibungsmenge durch die genehmigte Windenergieleistung übertroffen. Um die politische Zielsetzung im Jahr 2030 zu erreichen, müsste das aktuell vergleichsweise hohe Tempo bei den Genehmigungen beibehalten werden (siehe Abbildung A 35).

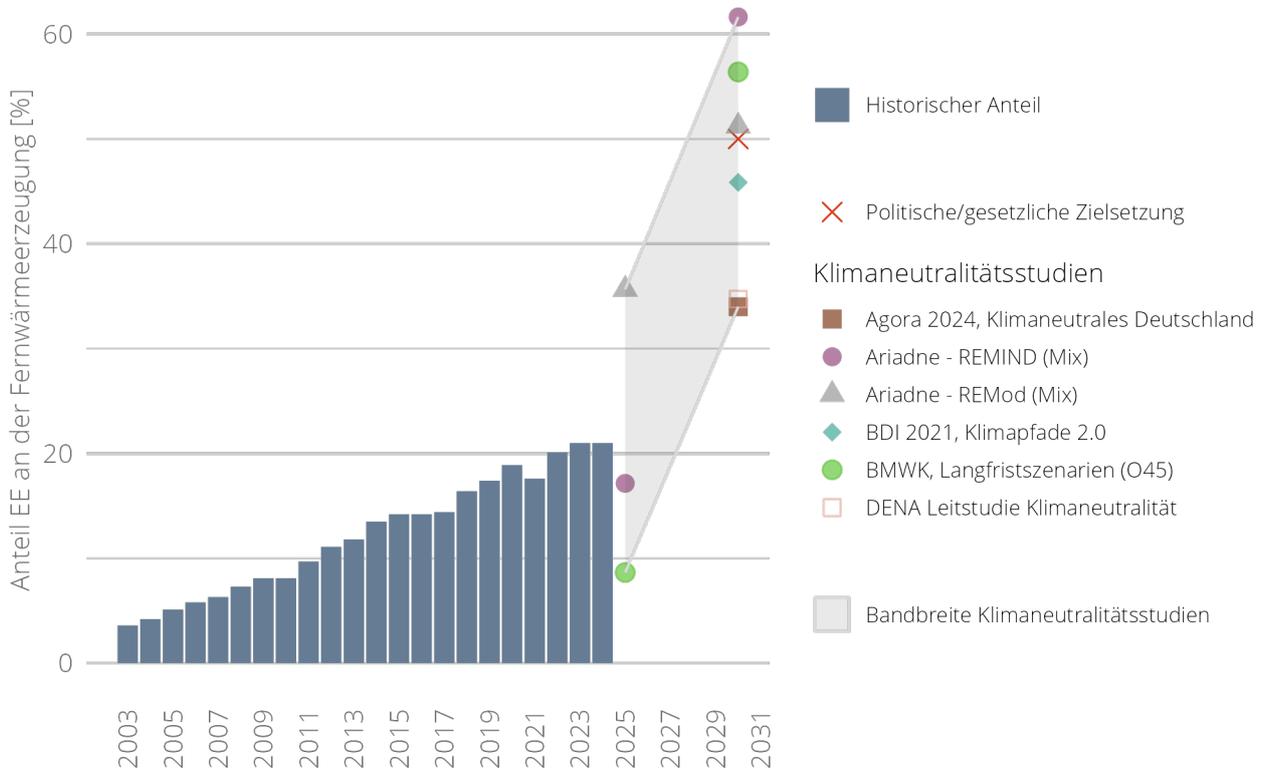
Abbildung A 36: Entwicklung der installierten Leistung von Wind auf See im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEE-Stat (2024b), AGEE-Stat (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das gesetzliche Ziel von 30 GW wurde dem Windenergie-auf-See-Gesetz (WindSeeG 2024) entnommen.

315 Die installierte Leistung von Wind auf See ist im Jahr 2023 auf 8,5 GW und im Jahr 2024 weiter auf 9,2 GW gestiegen (siehe Abbildung A 36). Die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2024 liegt mit rund 0,5 GW unter der für die EEG-Ziel-Erfüllung im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 3,5 GW. Darüber hinaus ist diese zu gering, um den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien zu erreichen.

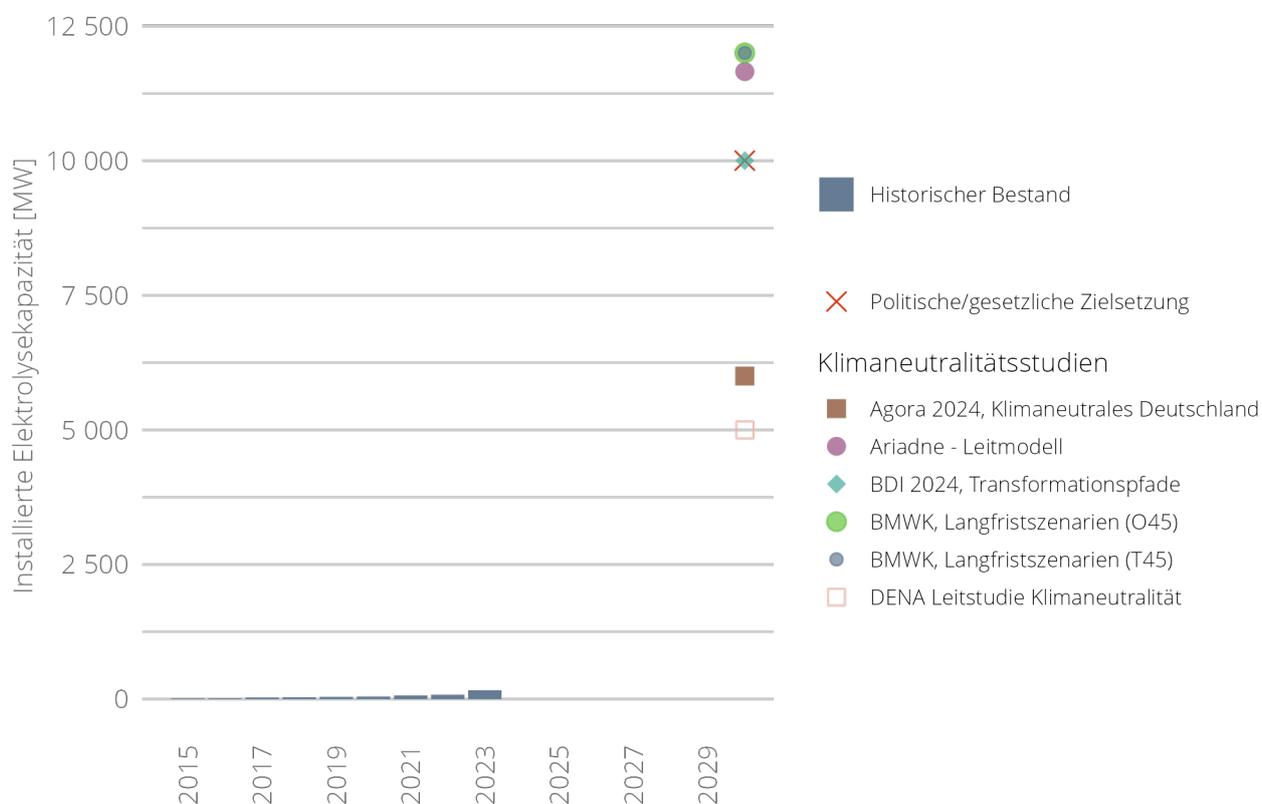
Abbildung A 37: Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energieträger an der Fernwärmeerzeugung im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das gesetzliche Ziel von 50 % in 2030 wurde dem Wärmeplanungsgesetz (WPG) entnommen.

316 Der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Fernwärmeerzeugung ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Im Jahr 2023 lag der Anteil bei rund 21 %. Allerdings ist im Jahr 2024 kein nennenswerter Zuwachs verzeichnet worden. Der in den Klimaneutralitätsstudien angegebene Zielraum kann auf diese Weise sehr wahrscheinlich erreicht werden. Um das politische Ziel von 50 % Erneuerbaren Energien in der Fernwärmeerzeugung im Jahr 2030 zu erreichen, müsste der Anteil jedoch deutlich steigen (siehe Abbildung A 37).

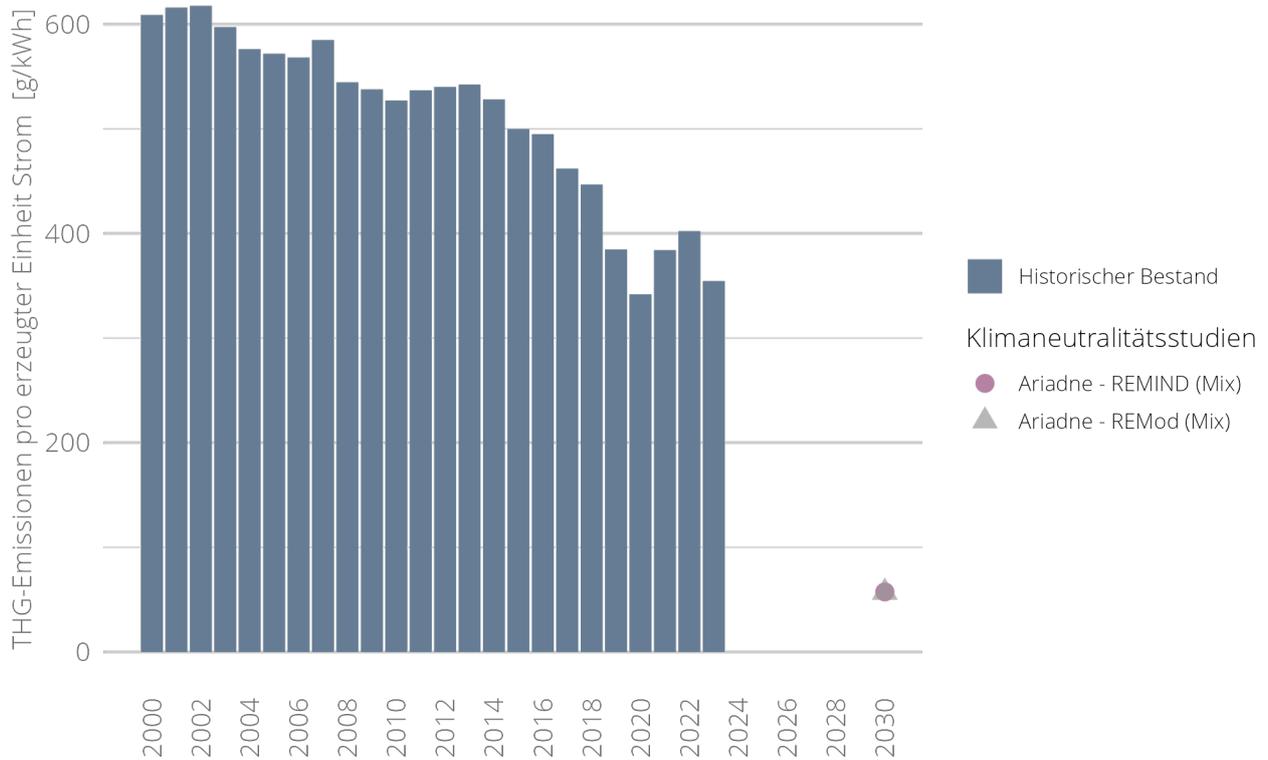
Abbildung A 38: Entwicklung der Leistungsaufnahme der installierten Elektrolyseure im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von acatech und DECHEMA (2024) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel von 10 GW bis zum Jahr 2030 wurde der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie (BMWK 2023a) entnommen.

317 Die installierte Elektrolysekapazität ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Im Jahr 2023 betrug diese etwa 153,7 MW. Die durchschnittliche (absolute) Veränderung pro Jahr im Zeitraum von 2022 bis 2023 liegt mit rund 49,1 MW weit unter der für die Erfüllung des politischen Ziels im Jahr 2030 erforderlichen jährlichen Veränderung von 1,4 GW. Darüber hinaus ist diese deutlich zu gering, um den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien zu erreichen (siehe Abbildung A 38).

Abbildung A 39: Entwicklung der THG-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien

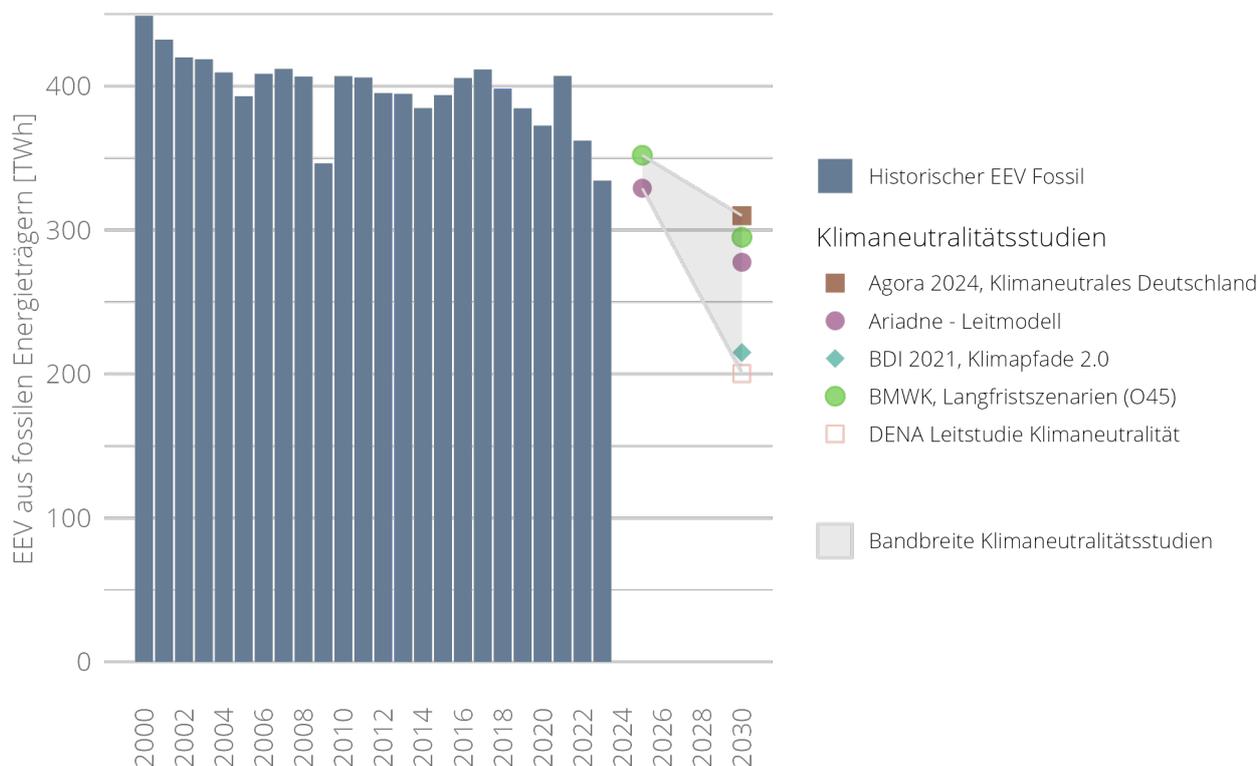


Eigene Darstellung auf Basis von Icha und Lauf (2024) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien.

318 Die THG-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom sinken über den Beobachtungszeitraum hinweg von 609 auf 354 g CO₂-Äq./kWh. Der Wert fasst den Gesamtfortschritt im Sektor Energiewirtschaft zusammen und wird beispielsweise durch Effizienzmaßnahmen und den Zubau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträgern beeinflusst (siehe Abbildung A 39).

A.3.3 Industrie

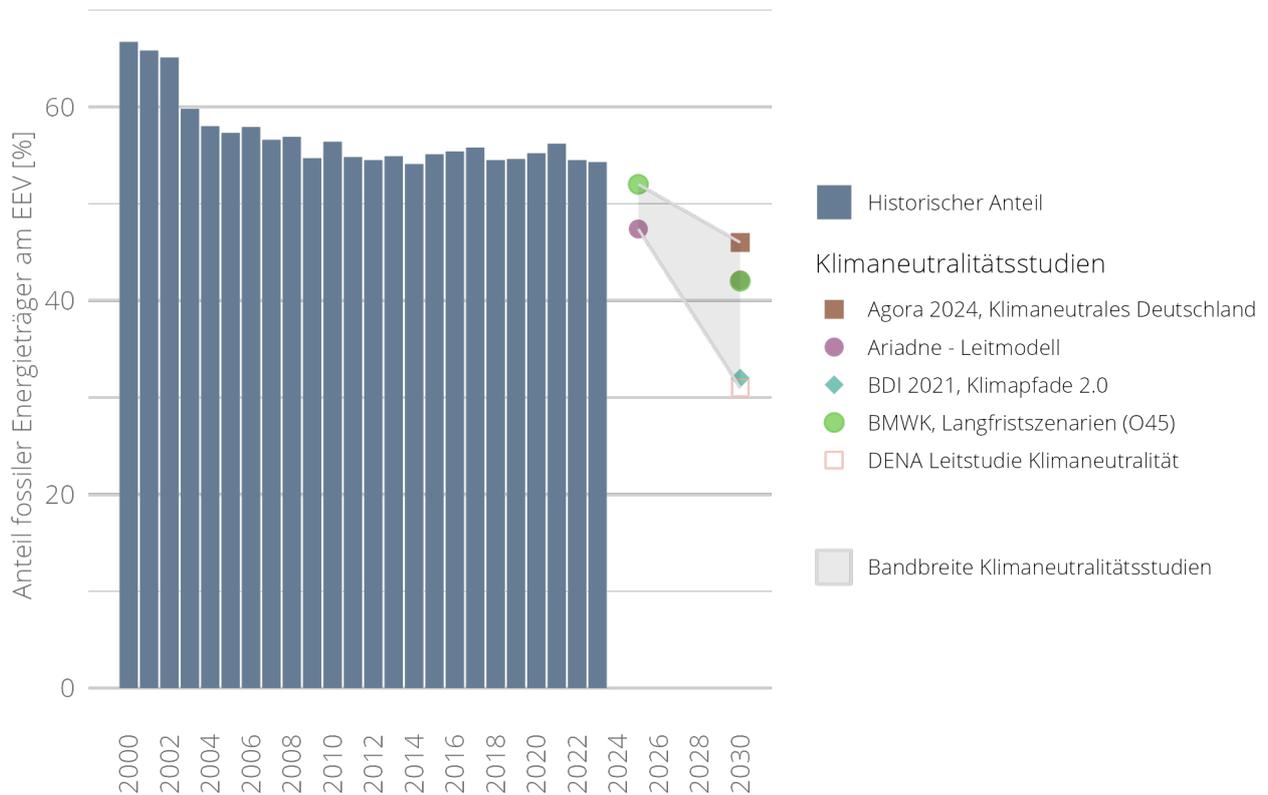
Abbildung A 40: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aus fossilen Energieträgern im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Industriesektor ist Forecast.

319 Der Endenergieverbrauch aus fossilen Energieträgern ist, mit Ausnahme des Jahres 2021, seit dem Jahr 2017 rückläufig. Der in den Klimaneutralitätsstudien angegebene Zielraum kann mit dieser Minderungsgeschwindigkeit sehr wahrscheinlich erreicht werden (siehe Abbildung A 40).

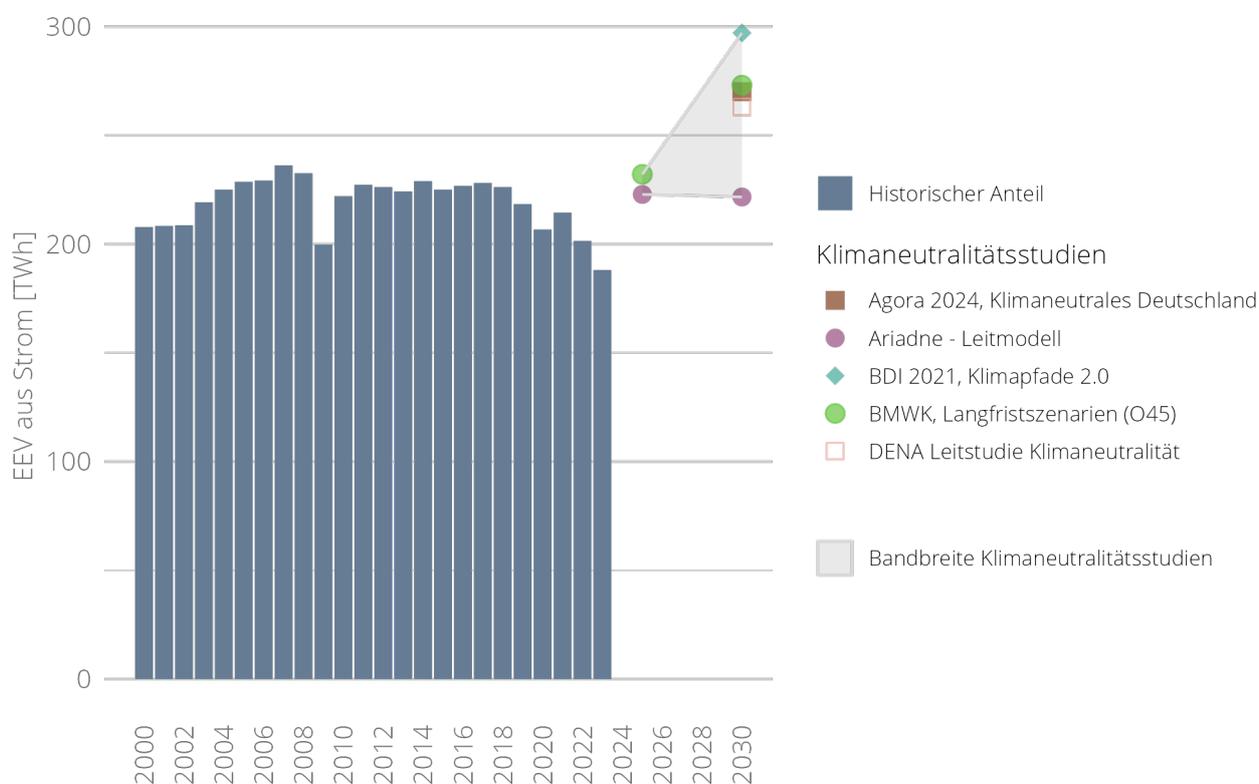
Abbildung A 41: Entwicklung des Anteils fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Industriesektor ist Forecast.

320 Der Anteil fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch ist über die letzten 10 Jahre annähernd konstant, mit einem leichten Rückgang nach dem Jahr 2021. Für die Erreichung des Zielraums im Jahr 2030 ist die aktuelle Minderungsrate nicht ausreichend (siehe Abbildung A 41).

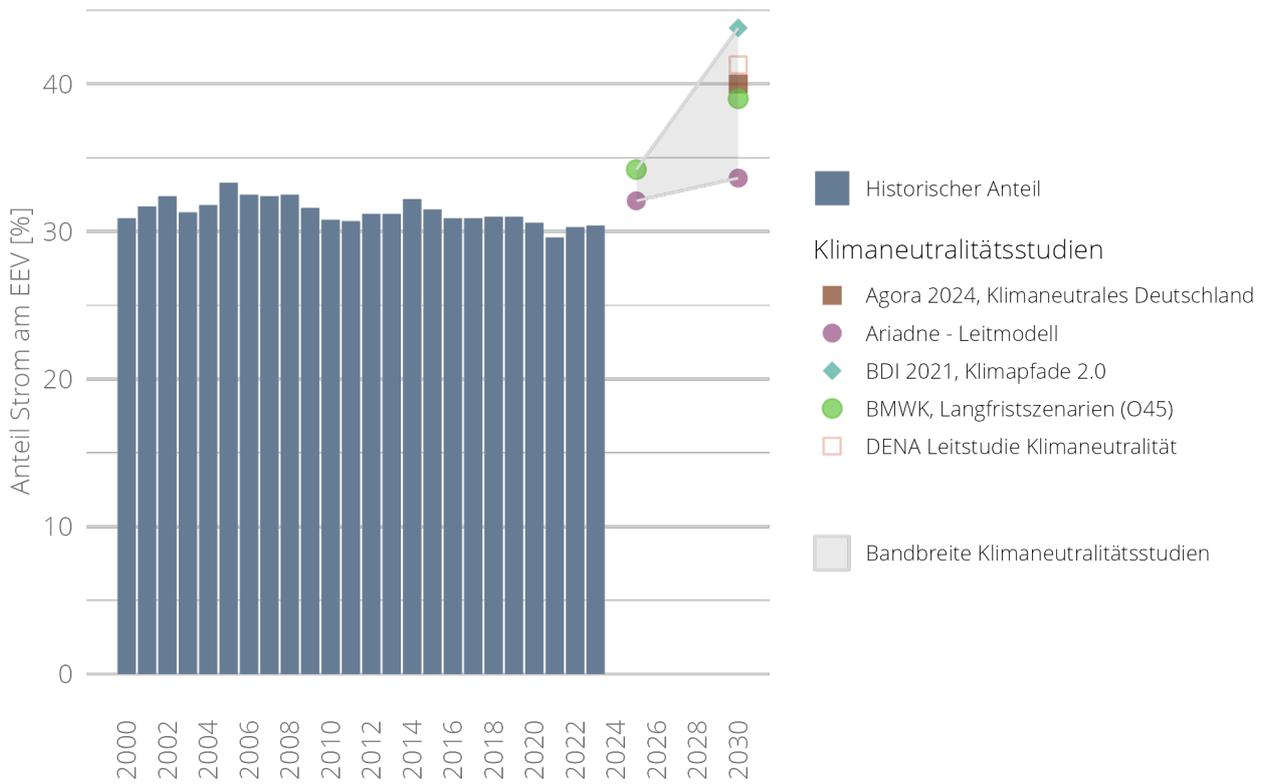
Abbildung A 42: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aus Strom im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEB (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Industriesektor ist Forecast.

321 Der Endenergieverbrauch aus Strom ist, mit Ausnahme von 2021, seit 2017 rückläufig. Es ist eine deutliche Steigerung des Endenergieverbrauchs aus Strom notwendig, um den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien im Jahr 2030 zu erreichen (siehe Abbildung A 42).

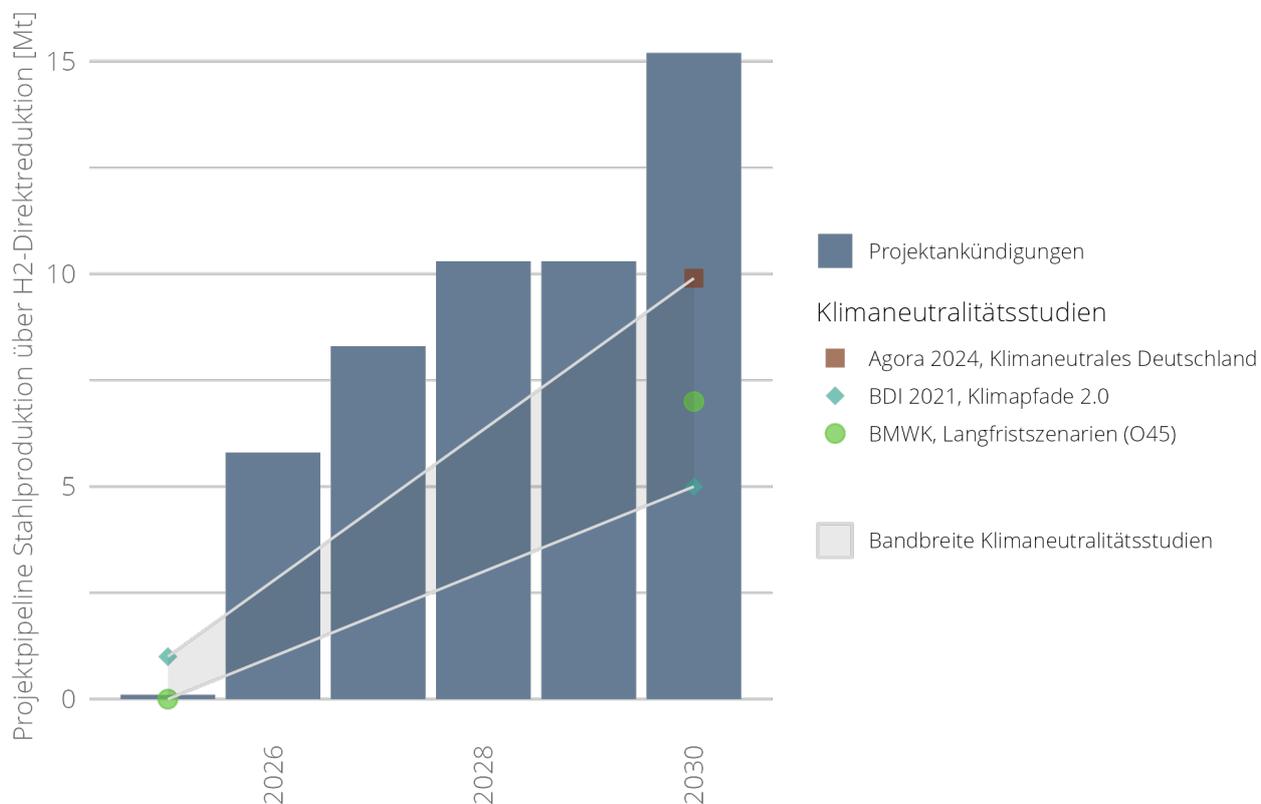
Abbildung A 43: Entwicklung des Anteils Strom am Endenergieverbrauch im Sektor Industrie im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEBA (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Industriesektor ist Forecast.

322 Die Entwicklung des Stromanteils am Endenergieverbrauch verläuft nahezu konstant über die letzten 20 Jahre. Es ist eine deutliche Steigerung des Anteils notwendig, um den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien im Jahr 2030 zu erreichen (siehe Abbildung A 43).

Abbildung A 44: Entwicklung der Projektpipeline für Stahlproduktion über Wasserstoff-Direktreduktion im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien

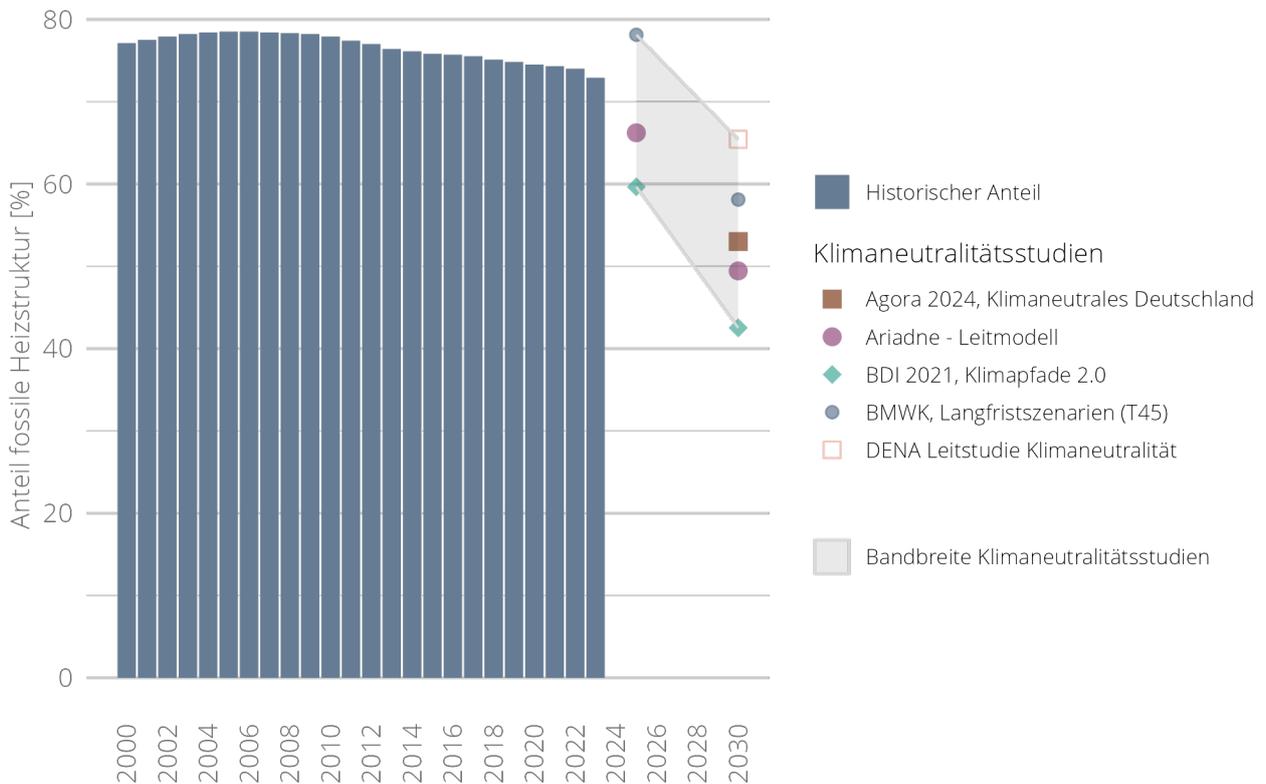


Eigene Darstellung auf Basis eigener Recherchen nach Thyssenkrupp (2024a), Thyssenkrupp (2024c), Thyssenkrupp (2024b), ArcelorMittal (2024), BMWK (2024i), BMWK (2023c), Salzgitter AG (2024), Salzgitter AG (2022), Redaktion stahleisen.de (2021), Saarstahl (2024), Saarstahl (2023) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien.

323 Die Projektankündigungen für Stahlproduktion über Wasserstoff-Direktreduktion zeigen eine stark ansteigende Produktionskapazität bis 2030. Sollten die geplanten Projekte so realisiert werden, wird der Zielraum der Klimaneutralitätsstudien im Jahr 2030 erreicht (siehe Abbildung A 44).

A.3.4 Gebäude

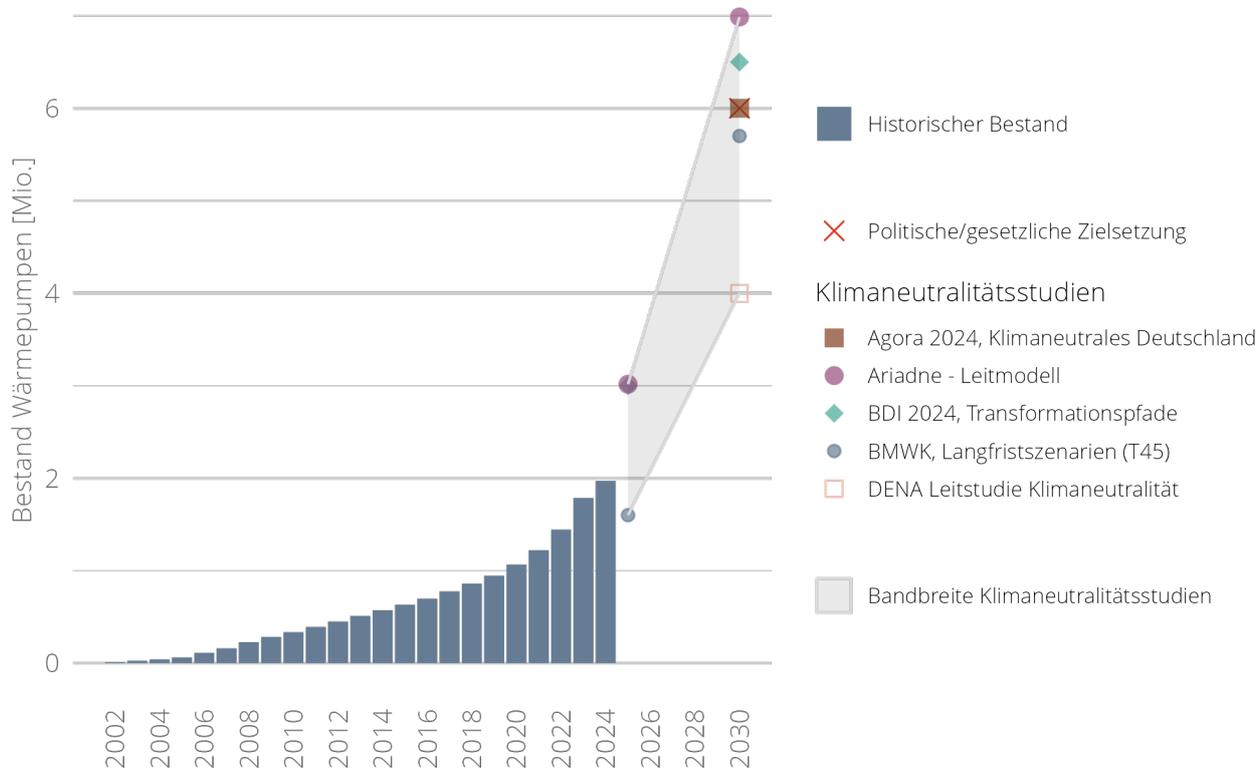
Abbildung A 45: Entwicklung des Anteils fossiler Heizungssysteme am Bestand der Heizungssysteme im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von BDEW (2021), BDEW (2022), BDEW (2023c) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Gebäudesektor ist REMod.

325 Der Anteil der fossilen Heizungssysteme ist geringfügig rückläufig, der Anteil liegt jedoch auch im Jahr 2023 immer noch bei über 70 %. Der obere Rand des Zielraums der Klimaneutralitätsstudien könnte so erreicht werden (siehe Abbildung A 45).

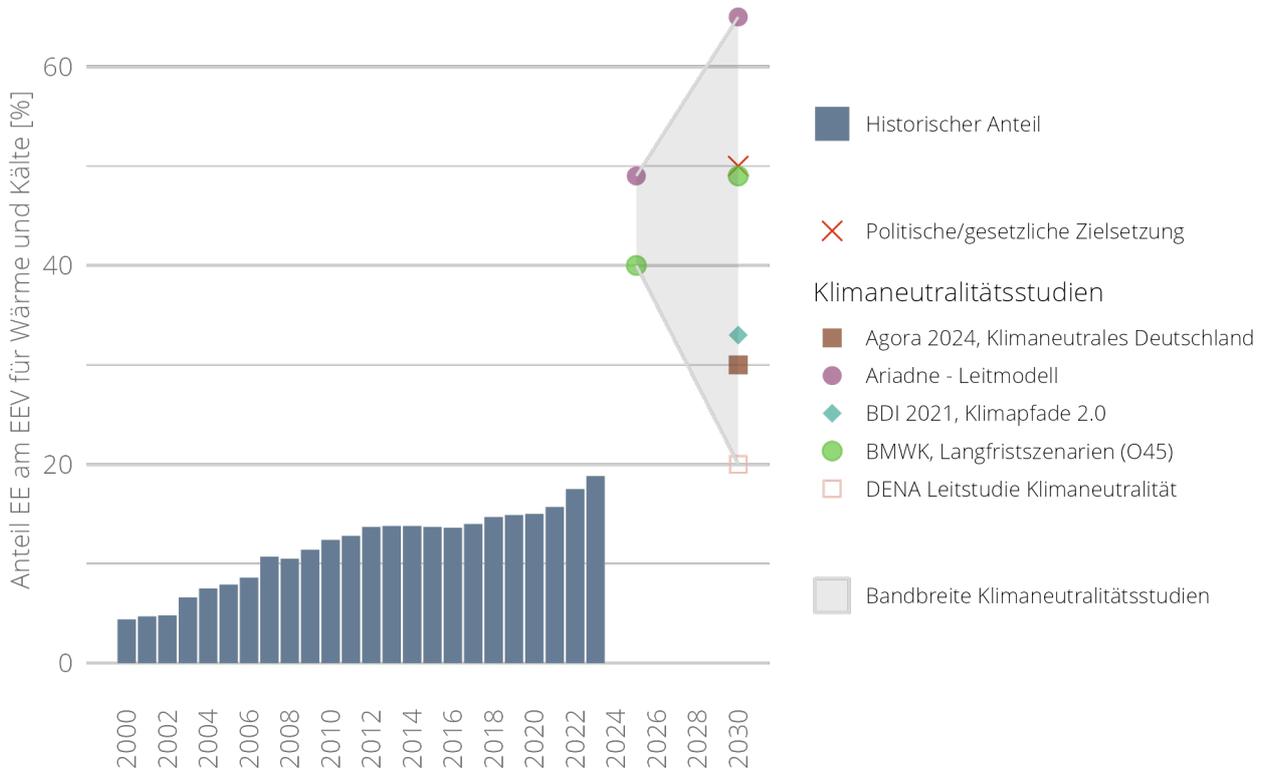
Abbildung A 46: Entwicklung des Bestands an Wärmepumpen im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von BWP (2024), BMWK (2022c) und der im Anhang in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Gebäudesektor ist REMod.

326 Der Bestand an Wärmepumpen ist über den Betrachtungszeitraum kontinuierlich auf 1,9 Millionen gestiegen. Der untere Rand des Zielraums der Klimaneutralitätsstudien könnte erreicht werden, wenn sich der Bestand weiterentwickelt wie in den vergangenen Jahren. Das politische Ziel von 6 Millionen Wärmepumpen im Jahr 2030 wird jedoch voraussichtlich nicht erreicht (siehe Abbildung A 46).

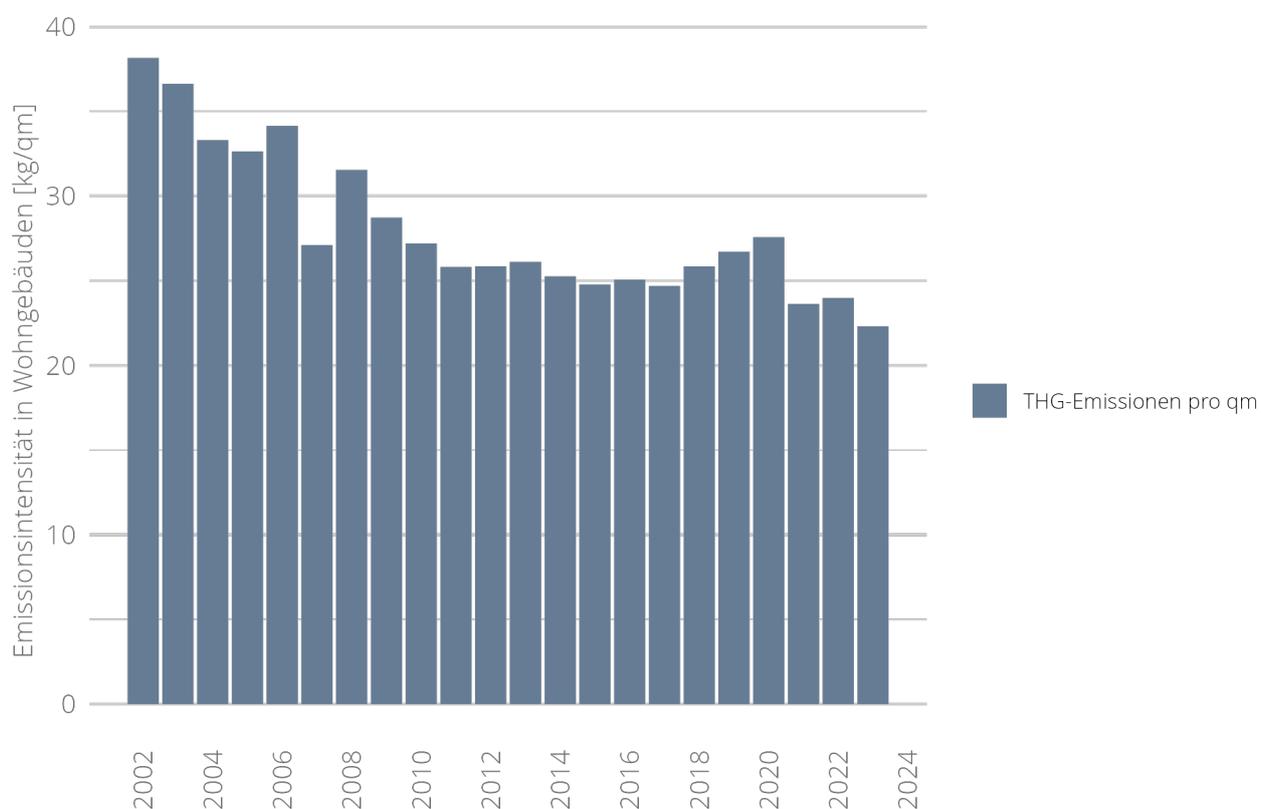
Abbildung A 47: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von AGEE-Stat (2023) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Gebäudesektor ist REMod.

327 Der Anteil erneuerbarer Energieträger am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte nimmt kontinuierlich zu, die aktuelle Trajektorie ist jedoch nicht ausreichend, um die politische Zielsetzung für das Jahr 2030 von 50 % zu erreichen (siehe Abbildung A 47).

Abbildung A 48: Entwicklung der temperaturbereinigten Emissionsintensität pro qm Wohnfläche in Wohngebäuden

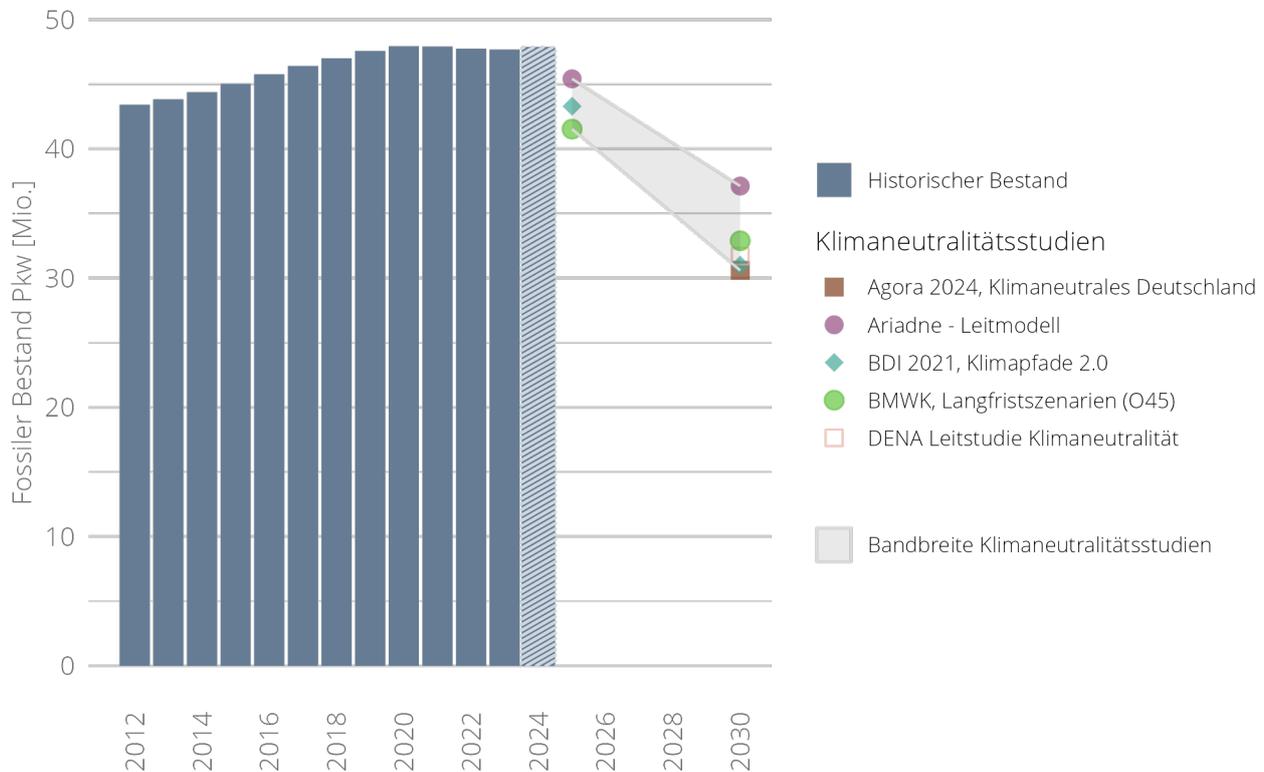


Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2024f) und UBA (2024a).

328 Die Emissionsintensität in Wohngebäuden (dargestellt als temperaturbereinigte THG-Emissionen pro Quadratmeter) sinkt über den Beobachtungszeitraum hinweg von 39 auf 22 kg CO₂-Äq./qm. Sie fasst den Gesamtfortschritt im Gebäudesektor zusammen. Dabei werden neben Effizienzmaßnahmen wie Sanierungen und der Umstellung auf effizientere oder erneuerbare Heizungssysteme auch das Heizverhalten berücksichtigt (siehe Abbildung A 48).

A.3.5 Verkehr

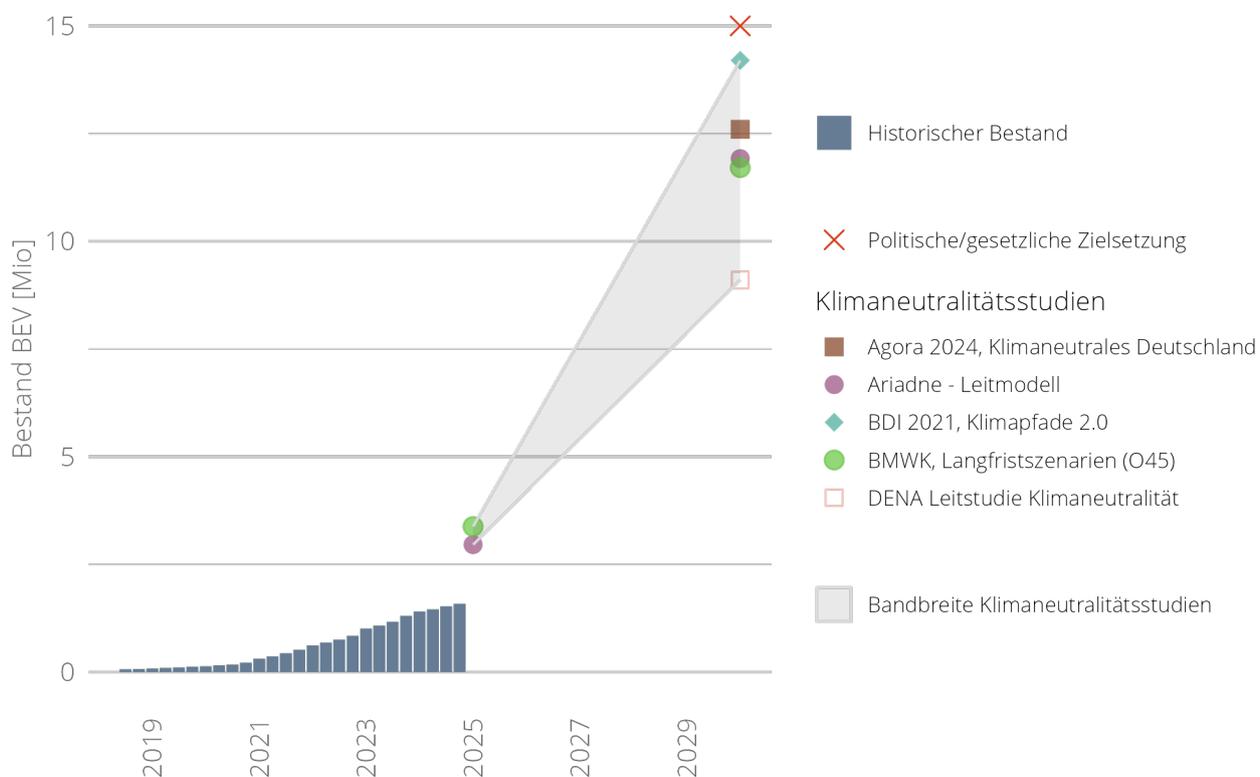
Abbildung A 49: Entwicklung des Bestands an Pkw mit fossilem Antrieb im Vergleich zu den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das Ariadne-Leitmodell für den Verkehrssektor ist DLR VECTOR21. Die Werte für das Jahr 2024 sind linear extrapoliert.

329 Der Bestand an fossilen Pkw hat seinen bisherigen Peak im Jahr 2020 erreicht und ist seitdem leicht rückläufig. Es ist ein stärkerer Rückgang notwendig, um den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien im Jahr 2030 zu erreichen (siehe Abbildung A 49).

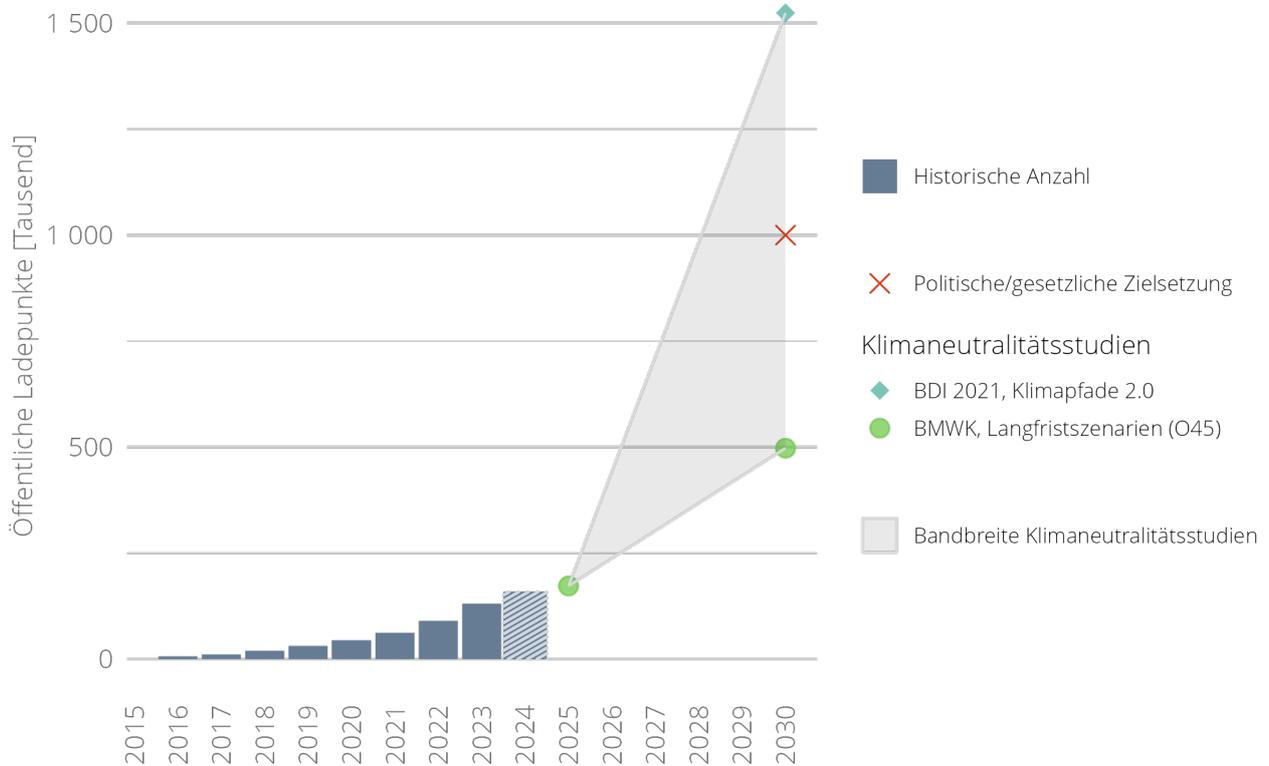
Abbildung A 50: Entwicklung des Bestands an BEV im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel von 15 Mio. Fahrzeugen wurde dem Koalitionsvertrag SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021) entnommen. Das Ariadne-Leitmodell für den Verkehrssektor ist DLR VECTOR21.

330 Der Bestand an BEV nimmt kontinuierlich zu. Die Dynamik ist jedoch aktuell nicht ausreichend, um die politische Zielsetzung zu erreichen (siehe Abbildung A 50).

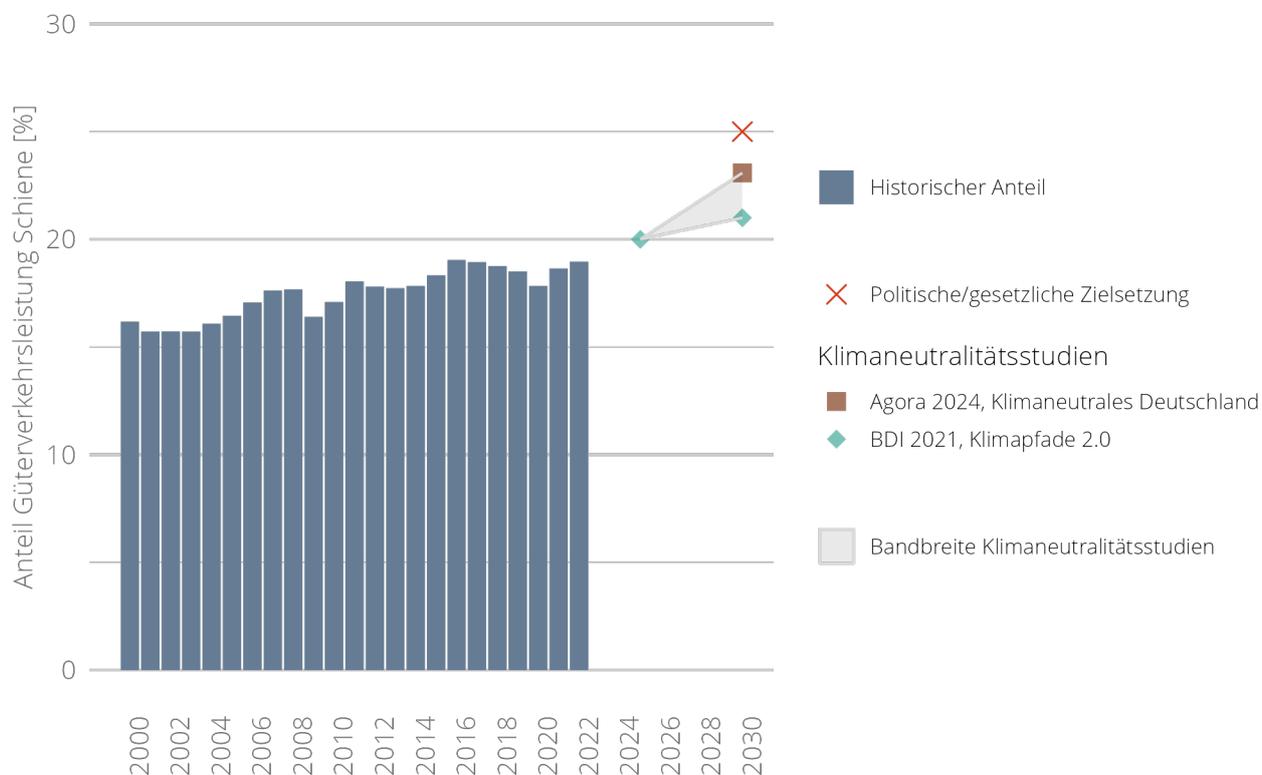
Abbildung A 51: Entwicklung der Anzahl an öffentlichen Ladepunkten für BEVs im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis BNetzA (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Die Werte für das Jahr 2024 sind linear extrapoliert.

331 Die Anzahl an öffentlichen Ladepunkten nimmt kontinuierlich zu. Die Dynamik ist jedoch aktuell nicht ausreichend, um die politische Zielsetzung zu erreichen und den Zielraum der Klimaneutralitätsstudien zu erreichen (siehe Abbildung A 51).

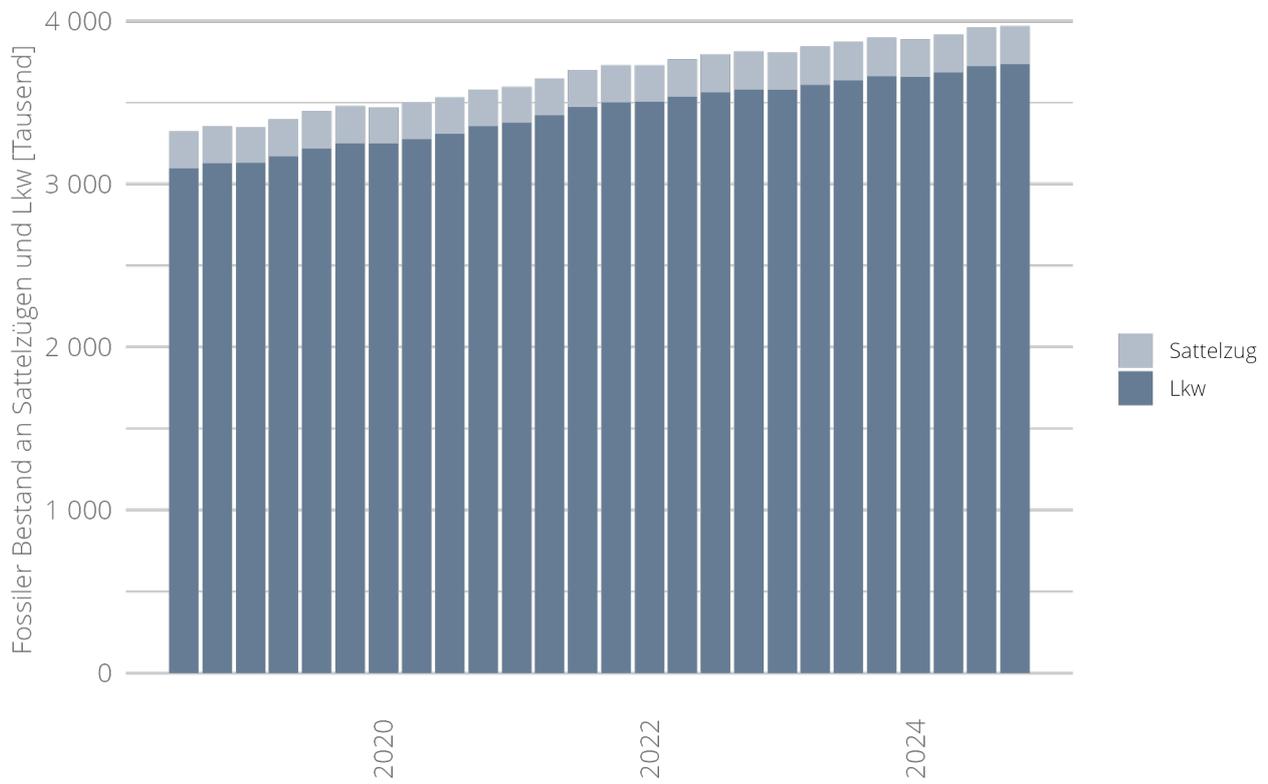
Abbildung A 52: Entwicklung des Anteils des Schienengüterverkehrs an der Güterverkehrsleistung im Vergleich zur politischen Zielsetzung sowie den Zielkorridoren der „Big 5“-Szenarien



Eigene Darstellung auf Basis von DLR et al. (2023) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien. Das politische Ziel von 25 % wurde dem Koalitionsvertrag SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021) entnommen.

332 Der Anteil der Güterverkehrsleistung auf der Schiene ist nahezu konstant. Die politische Zielsetzung wird voraussichtlich nicht erreicht. Diese Entwicklung wird von der BMDV (2024) bestätigt (siehe Abbildung A 52).

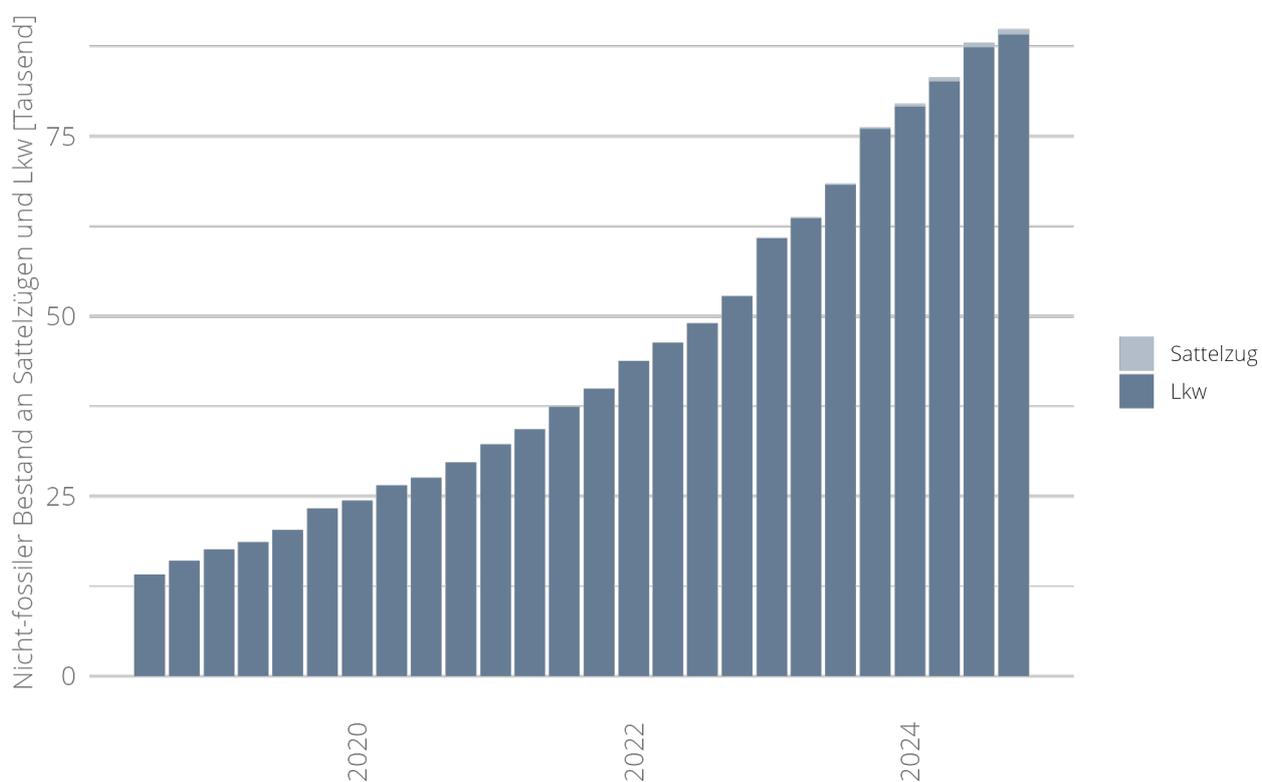
Abbildung A 53: Entwicklung des fossilen Bestands an Sattelzügen und Lkw



Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien.

333 Der Bestand an fossilen Sattelzügen und Lkw steigt über den Beobachtungszeitraum kontinuierlich an (siehe Abbildung A 53).

Abbildung A 54: Entwicklung des Bestands an nicht-fossilen Sattelzügen und Lkw

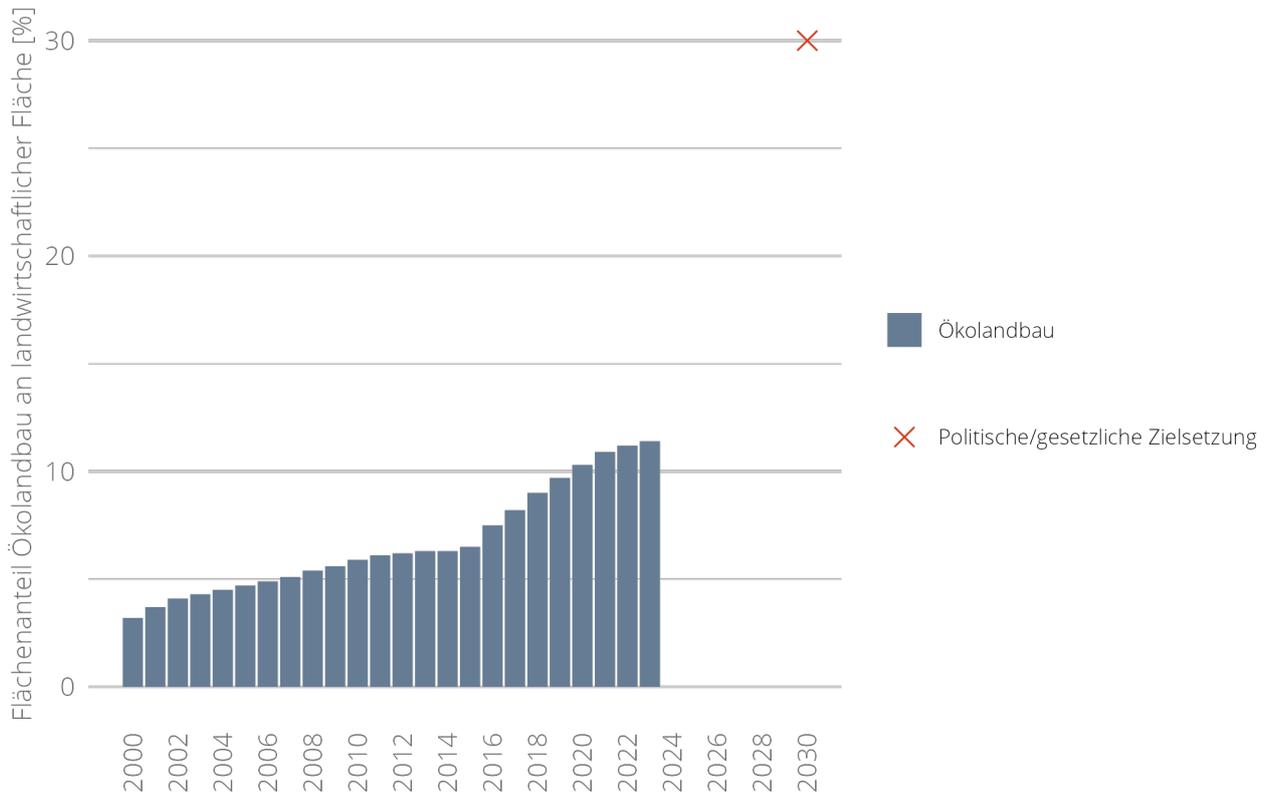


Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024a) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien.

334 Der Bestand an nicht-fossilen Sattelzügen und Lkw nimmt kontinuierlich zu (siehe Abbildung A 54).

A.3.6 Landwirtschaft

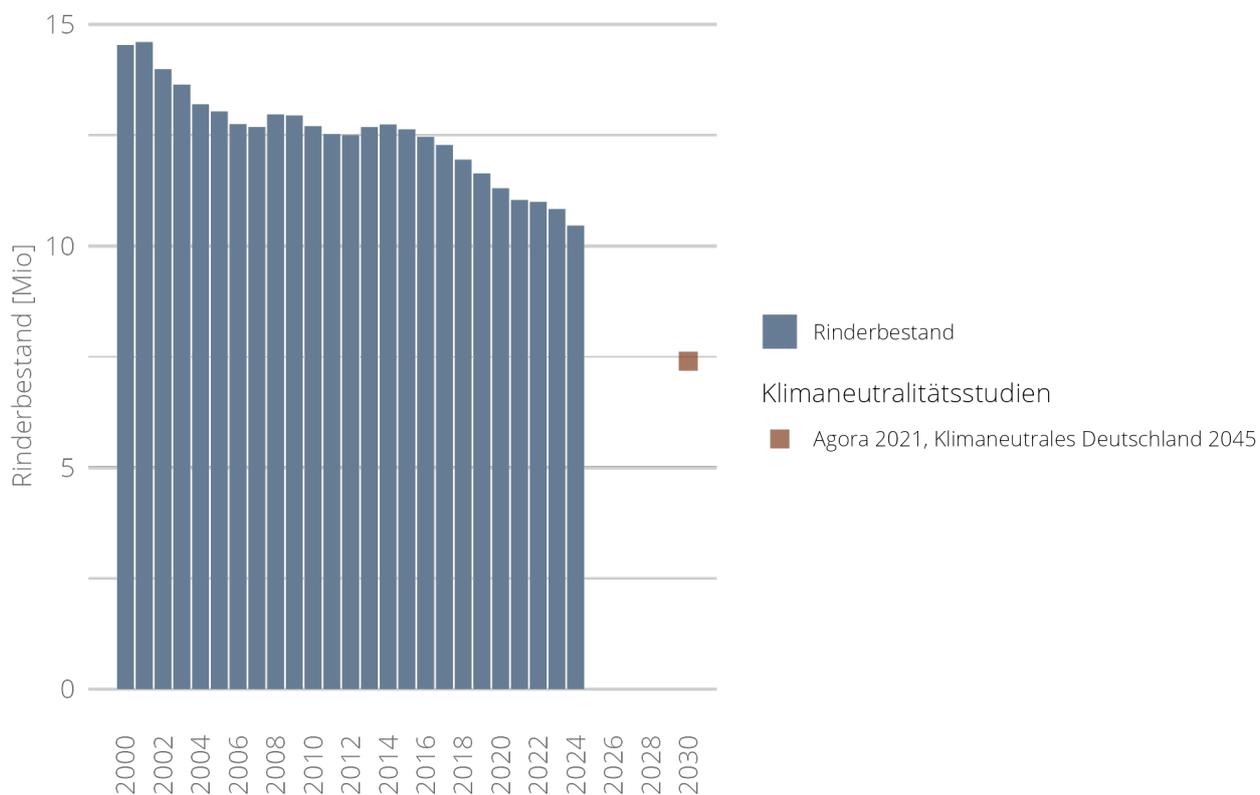
Abbildung A 55: Entwicklung des Flächenanteils Ökolandbau an der landwirtschaftlichen Fläche zwischen den Jahren 2000 und 2023, sowie die politische Zielsetzung für das Jahr 2030



Eigene Darstellung auf Basis von Redaktion Ökolandbau.de (2024), das politische Ziel von 30 % wurde der Bio-Strategie 2030 (BMEL 2024b) entnommen.

335 Der Flächenanteil des Ökolandbaus steigt seit dem Jahr 2000, ist jedoch mit 11,4 % im Jahr 2023 weit entfernt vom politischen Ziel von 30 % im Jahr 2030 (BMEL 2024b) (siehe Abbildung A 55).

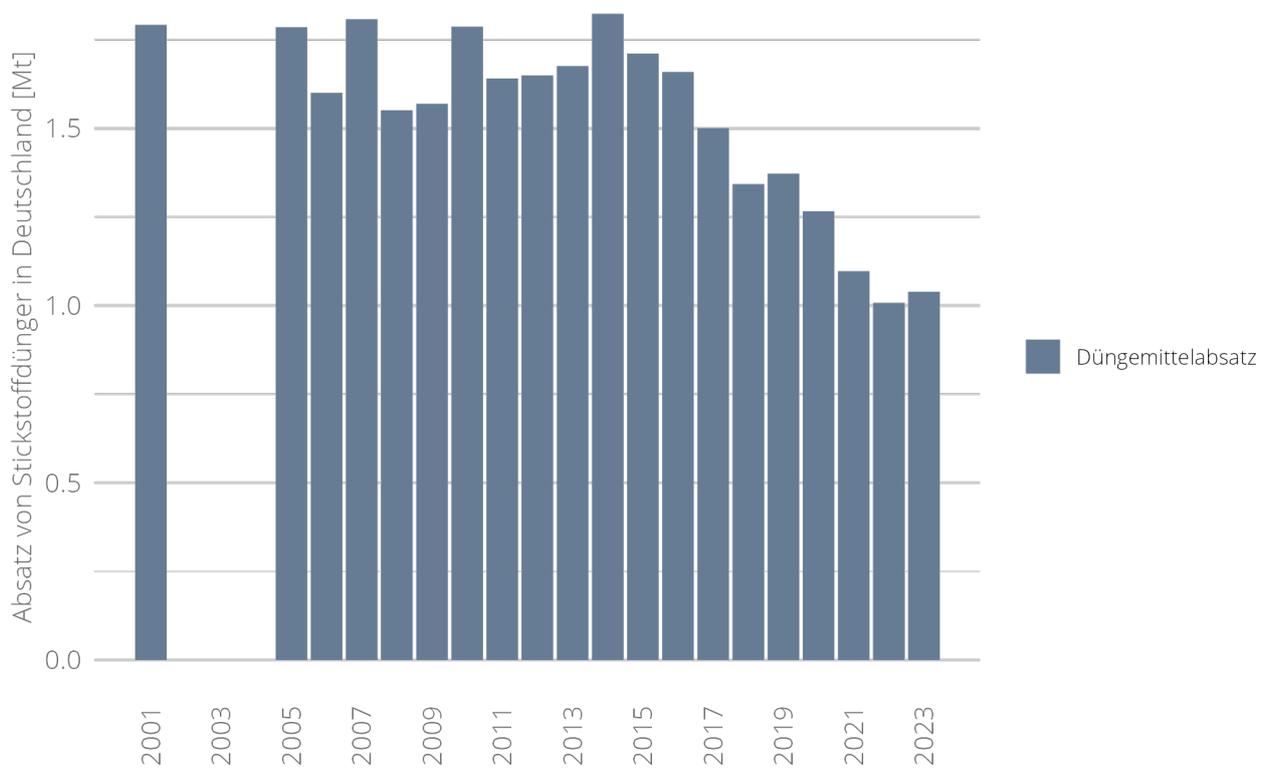
Abbildung A 56: Entwicklung des Rinderbestandes zwischen den Jahren 2000 und 2024



Eigene Darstellung auf Basis von Destatis (2025b), Agora Think Tanks (2024) und der in RZ 306 beschriebenen Klimaneutralitätsstudien.

336 Der Rinderbestand ist seit dem Jahr 2000 gesunken. Agora Think Tanks (2024) geht davon aus, dass der Bestand bis zum Jahr 2030 weiter sinken wird (siehe Abbildung A 56).

Abbildung A 57: Entwicklung des Stickstoffdüngerabsatzes zwischen den Wirtschaftsjahren 2001/2022 und 2023/2024



Eigene Darstellung auf Basis von BMEL (2024d) und Destatis (2025e). Die angegebene Jahreszahl entspricht dem Start des jeweiligen Wirtschaftsjahres.

337 Der Absatz von Stickstoffdünger sank seit dem Jahr 2014 wegen der erhöhten Anforderungen im Düngerecht und dem Anstieg des Ökolandbaus. Er erreichte im Jahr 2022 einen historischen Tiefpunkt, weil die Düngemittelpreise aufgrund des Kriegs in der Ukraine stark gestiegen waren (siehe Abbildung A 57).

A.4 Instrumente und Handlungsfelder

Tabelle A 11: Handlungsfelder, die von ausgewählten Klimaschutzmaßnahmen der letzten drei Jahre adressiert werden

Maßnahme	Kategorie	Sektor	Effizienz bei der Nutzung	Effizienz bei der Umwandlung	Rückbau fossiler Kapitalstock	Energieträger-/Technologie-wechsel zum Aufbau eines neuen nicht fossilen Kapitalstocks	Reduktion/Veränderung Aktivitäten	CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoffmanagement
Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)	fiskalisch	Gebäude	X	X		X		
Umweltbonus	fiskalisch	Verkehr			≈	X		
Deutschlandticket	fiskalisch	Verkehr					≈	
Verordnung zum Klima-Sozialfonds (KSF)*	fiskalisch	Gebäude; Verkehr	X		≈	X	≈	
Fördermaßnahmen aus dem Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK)	fiskalisch	LULUCF						X
Holzbauintiative	fiskalisch	LULUCF	≈			≈		X
Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	fiskalisch	Gebäude	X	(X)	≈	X		
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	fiskalisch	Energiewirtschaft				X		
Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)	fiskalisch	Industrie	X			X		

Maßnahme	Kategorie	Sektor	Effizienz bei der Nutzung	Effizienz bei der Umwandlung	Rückbau fossiler Kapitalstock	Energieträger-/Technologie-wechsel zum Aufbau eines neuen nicht fossilen Kapitalstocks	Reduktion/ Veränderung Aktivitäten	CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoff-management
Klimaschutzverträge (KSV)	fiskalisch	Industrie			≈	X		
Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)	fiskalisch	Industrie			≈	X		X
CO ₂ -Grenzausgleichssystem (CBAM)	ökonomisch	Industrie			≈	≈	X	≈
Europäisches Emissionshandelssystem 1 (EU-ETS 1)	ökonomisch	Sektoren-übergreifend	X	≈	≈	≈	X	≈
Europäisches Emissionshandelssystem 2 (EU-ETS 2)*	ökonomisch	Gebäude; Verkehr	X		≈	≈	X	
Brennstoffemissions-handelsgesetz (BEHG)	ökonomisch	Sektoren-übergreifend	X		≈	≈	X	
8. Energieforschungs-programm	Forschung und Entwicklung	Sektoren-übergreifend	X	X	X	X	X	
Kampagne „80 Millionen gemeinsam für Energiewechsel“	Information	Sektoren-übergreifend	X	X		X	X	
Gemeinsame Agrarpolitik	Regulierung EU	Landwirtschaft					≈	X
LULUCF-Verordnung	Regulierung EU	LULUCF						X
Effort-Sharing-Regulation (ESR)	Regulierung EU	Sektoren-übergreifend	X		≈	≈	X	

Maßnahme	Kategorie	Sektor	Effizienz bei der Nutzung	Effizienz bei der Umwandlung	Rückbau fossiler Kapitalstock	Energieträger-/Technologiewechsel zum Aufbau eines neuen nicht fossilen Kapitalstocks	Reduktion/Veränderung Aktivitäten	CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoffmanagement
Verordnung für Entwaldungsfreie Lieferketten	Regulierung EU	LULUCF						X
FuelEU Maritime*	Regulierung EU	Verkehr		X		X		
EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EED)	Regulierung EU	Sektoren-übergreifend	X	X		≈		
Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III)	Regulierung EU	Energiewirtschaft		X		X		
ReFuelEU Aviation	Regulierung EU	Verkehr		X		X		
Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR)	Regulierung EU	Verkehr			≈	X		
Gebäuderichtlinie (EPBD)	Regulierung EU	Gebäude	X		≈	≈		
Flottengrenzwerte für neue schwere Nutzfahrzeuge	Regulierung EU	Verkehr		X		≈		
Netto-Null-Industrie-Gesetz	Regulierung EU	Industrie	≈	≈	≈	X	≈	X
Gemeinsame Vorschriften für die Binnenmärkte für erneuerbares Gas, Erdgas und Wasserstoff	Regulierung EU	Sektoren-übergreifend				≈	X	
Ökodesign-Verordnung	Regulierung EU	Industrie	X					
Methan-Verordnung	Regulierung EU	Energiewirtschaft				X		

Maßnahme	Kategorie	Sektor	Effizienz bei der Nutzung	Effizienz bei der Umwandlung	Rückbau fossiler Kapitalstock	Energieträger-/Technologie-wechsel zum Aufbau eines neuen nicht fossilen Kapitalstocks	Reduktion/Veränderung Aktivitäten	CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoffmanagement
Wiederherstellungsverordnung	Regulierung EU	LULUCF						X
Kohleausstiegsgesetz (KohleAusG)	Regulierung national	Energiewirtschaft				X	≈	
Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxid-kosten (CO ₂ KostAufG)	Regulierung national	Gebäude	X		X	X	≈	
Energieeffizienzgesetz (EnEfG)	Regulierung national	Sektoren-übergreifend	X	X		≈		
Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG)	Regulierung national	Energiewirtschaft			X			
Gebäudeenergiegesetz (GEG)	Regulierung national	Gebäude	X	X	X	X		
Wärmeplanungsgesetz (WPG)	Regulierung national	Sektoren-übergreifend			≈	≈		
Windenergie-auf-See-Gesetz (WindSeeG)	Regulierung national	Energiewirtschaft		X		X		
Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG)	Regulierung national	Energiewirtschaft		X		X		
Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)	Regulierung national	Energiewirtschaft		X		X		

Maßnahme	Kategorie	Sektor	Effizienz bei der Nutzung	Effizienz bei der Umwandlung	Rückbau fossiler Kapitalstock	Energieträger-/Technologie-wechsel zum Aufbau eines neuen nicht fossilen Kapitalstocks	Reduktion/Veränderung Aktivitäten	CO ₂ -Entnahme und Kohlenstoffmanagement
Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	Regulierung national	Sektoren-übergreifend				≈	≈	

Eigene Darstellung. X indiziert eine unmittelbare Wirkung, ≈ eine mittelbare Wirkung des Instruments auf das jeweilige Handlungsfeld. EU-Richtlinien wurden dabei nicht berücksichtigt, da sie eine Entsprechung in nationalem Recht haben sollten, während EU-Verordnungen keine nationale Implementierung benötigen. * zeigt an, dass eine Maßnahme noch nicht implementiert ist.

Der EU-ETS 1 und der EU-ETS 2 sind in derselben Richtlinie geregelt und werden hier nur deshalb separat ausgewiesen, weil der EU-ETS 2 erst 2027 in Kraft tritt, während der EU-ETS 1 bereits in Kraft ist.

A.5 Definition von Instrumententypen

Tabelle A 12: Definition der Instrumententypen nach UNFCCC

Instrumententyp	Erläuterung, Beispiele
Ökonomische Instrumente	Preis- und mengenpolitische Steuerungsmechanismen: Umweltabgaben-/Steuern, Handelbare Zertifikate, Handelbare Quoten, Tarifpolitik, Marktreform/- öffnung
Fiskalische Instrumente	Subventionen und öffentliche Infrastrukturausgaben: Zuschüsse, verbilligte Kredite, Steuererleichterungen, Staatliche Investitionen
Verpflichtung	Freiwillige und verhandelte Selbst-verpflichtungen; Vereinbarungen von Wirtschaftsbereichen, Branchen oder Unternehmen
Regulierung	Ordnungsrechtliche Vorschriften: Ver- und Gebote, technische Standards, Produktkennzeichnung
Information	Allgemeine Information und Beratung: Broschüren, Informationszentrale, Agenturen, Beratungsstellen
Bildung	Regelung und Förderung der Bildung: Aus-, Fort- und Weiterbildung
Forschung und Entwicklung	Förderung der Forschung, Entwicklung und Demonstration: Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, Projektförderung
Andere	Andere Instrumente: Appelle, indikative Zielvorgaben/Planung, Hemmnisabbau

Eigene Darstellung nach UNFCCC (2000).

A.6 Weitere Erläuterungen zur Literaturübersicht der projizierten Investitionsvolumina

338 Die nachfolgenden Erläuterungen beschreiben detailliert das Vorgehen bei der Untersuchung der Investitions- und Finanzierungsvolumina für die Umsetzung von Transformationsszenarien hin zur Klimaneutralität. Im ersten Teil (Kapitel A.6.1) ist die Sammlung und Auswahl von relevanten Quellen, sowie die Weiterverarbeitung der darin enthaltenen Daten beschrieben. Im zweiten Teil (Kapitel A.6.2) werden als zentral erachtete Dimensionen erörtert, die den Studien zugrunde liegen und eine hohe Heterogenität zwischen diesen bedingen. Zudem findet sich eine Übersicht der verwendeten Studien mit Hinweisen für die Interpretation in tabellarischer Form am Ende des Abschnitts.

A.6.1 Methodisches Vorgehen bei der strukturierten Literaturanalyse

339 Für die Literaturanalyse wurden in den Datenbanken bzw. Portalen Google, Google Scholar sowie in Scopus Studien gesucht, die Investitions- oder Finanzierungsvolumina für Klimaschutz und/oder Transformation ermitteln. Weitere sachdienliche Studien wurden den Referenzlisten der bereits gefundenen Studien entnommen. Es wurden nur Studien berücksichtigt, die explizit Investitionsvolumina für Deutschland abschätzen. Insgesamt fanden sich 50 Studien, von denen 13 betrachtet wurden. Kriterien hierfür waren: i) quantifizierte oder nachträglich quantifizierbare Investitionsaggregate bzw. Finanzierungsvolumina, die mit den Definitionen in Kapitel 4 vereinbar sind, ii) zeitliche Abdeckung bis mindestens 2030 bzw. 2030 als Stützjahr, iii) sektorenübergreifende oder sektorale Abdeckung (analog zum Bundes-Klimaschutzgesetz, mindestens ein Sektor), iv) originäre Quantifizierung (d. h., keine Mittelung dritter Studien).

340 Die Werte, die in den Studien berichtet werden, sind nicht oder nur bedingt vergleichbar. Dies liegt an jeweiligen methodischen Ansätzen und deren Limitierungen sowie der Heterogenität der Studien, die in Kapitel 4 beschrieben sind (siehe auch Kapitel A.6.2).¹⁵² Um eine zielführende Vergleichsgröße zu etablieren, wurden deshalb aus den Angaben in den Studien durchschnittliche jährliche Werte bis zum Jahr 2030 berechnet. Dies verlangte zum Teil Digitalisierung von Abbildungen, wenn Einzelwerte nicht ausgewiesen wurden. Teilweise wurde zwischen Stütz- bzw. Stichjahren interpoliert. In einigen Studien werden neben Investitionen für den Klimaschutz auch Investitionen für andere Bereiche abgeschätzt. Beispielsweise schätzen Deutsch et al. (2024) auch Investitionen für Bildung, Klimaanpassung, Wohnungsbau, Infrastruktur und Straßenbau ab oder Heilmann et al. (2024) für Bildung und Verteidigung. Diese weiteren Investitionen werden in der Auswertung nicht berücksichtigt, bzw. diese wurden herausgerechnet, soweit möglich. Die Analysen begrenzten sich prinzipiell auf die Sektoren Energie, Industrie, Gebäude und Verkehr.

¹⁵² Z. B. weil jeweils nur einzelne Teilbereiche der Sektoren und Technologien abgedeckt sind und sich meist in mehreren der Faktoren unterscheiden (Modell- bzw. Systemgrenzen, Annahmen zu Preis- und Technologieentwicklung, Ausgestaltung von Szenarien).

A.6.2 Überblick über die methodischen Herangehensweisen und zentralen Ergebnisse der betrachteten Studien

- 341 Die ausgewählten Studien unterscheiden sich unter anderem entlang der hier betrachteten Dimensionen **Szenarienbasis**, **Systemgrenzen**, dem zugrunde liegenden **Klimaziel** und dem betrachteten **Zeitraum**.
- 342 Die Quantifizierung der Investitionshöhe in den betrachteten Studien basiert meist auf **modellierten Szenarien** (Szenarienbasis). Diese Szenarien basieren auf Annahmen zu Rahmendaten, wie der Bevölkerungsentwicklung, dem BIP und der Entwicklung des Endenergiebedarfs. Zusätzlich spielen die angenommenen Technologiekosten sowie die angenommenen Rohstoffkosten und -verfügbarkeiten eine maßgebliche Rolle für die Szenarien-Ergebnisse.
- 343 Darüber hinaus unterscheiden sich die Modelle, die den Szenarien zugrunde liegen, hinsichtlich ihrer **Systemgrenzen**. Dies betrifft sowohl die abgedeckten Sektoren als auch die berücksichtigten Technologien. Häufig werden nur die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr und Gebäude berücksichtigt, teilweise auch Industrie. Landwirtschaft und LULUCF werden nur selten einbezogen. Zusätzlich kann es innerhalb eines Sektors Unterschiede in der Abdeckung geben. So werden beispielsweise im Verkehrssektor nicht immer Investitionen für ÖPNV und Schieneninfrastruktur berücksichtigt. Bei den berücksichtigten Technologien unterscheiden sich die Studien insbesondere darin, ob der Ausbau von Stromnetzen, Wärmenetzen und Wasserstoffnetzen berücksichtigt wird.
- 344 Die meisten Studien rechnen mit den **Klimazielen** und politischen Rahmenbedingungen, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung gültig waren, d. h. Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 oder eine Reduzierung der THG-Emissionen bis zum Jahr 2050 um 95 % gegenüber 1990. Zusätzlich werden in der Regel beschlossene politische Maßnahmen, wie das Klimaschutzprogramm 2030 und das Osterpaket berücksichtigt. Das Klimaziel beeinflusst die Investitionshöhe, da weniger ambitionierte Ziele in der Regel kleinere Investitionsvolumina bedeuten.
- 345 Der in den Studien betrachtete **Zeitraum** geht üblicherweise bis 2030 oder 2045/2050. Längere Zeiträume führen zu i) (in der Theorie) breiterer Abdeckung bei Technologien, z. B. da hier weitere Technologien für ein klimaneutrales Energiesystem einfließen, wie bspw. negative Emissionstechnologien und der Ausbau einer Wasserstoffinfrastruktur, sowie ii) größeren Unsicherheiten in der angegebenen Höhe der Investitionsvolumina, da Annahmen zum politischen Rahmen und von Kosten (z. B. für CO₂-Vermeidung und Kohlenstoffmanagement, Baukosten, Technologiekosten generell) weniger verlässlich bestimmt werden können.
- 346 **Tabelle A 13 und Tabelle A 14** beschreiben die betrachteten Studien und erfassen die methodische Herangehensweise anhand der oben aufgeführten Dimensionen. Die Vergleichbarkeit ist wie bereits beschrieben jedoch nur bedingt gegeben; das Einbeziehen der hier erörterten Information ist zur Interpretation daher unabdingbar und sollte nur in Kontext dieser geschehen.

Tabelle A 13: Auswahl an zentralen Annahmen der „Big 5“-Klimaneutralitätsszenarien bzw. deren Aktualisierungen.

	Ist-Wert	Bandbreite aus Fraunhofer ISI et al. (2021), Agora Think Tanks (2024), Burchardt et al. (2024), Luderer et al. (2021) und dena (2021) ⁺		Politisches Ziel
		2030	2045	
Bevölkerung [Mio.]	84,7 (2024)	83,5–85 82,8–85,3 (LFS)	82,7–85 81,3–84,6 (LFS)	–
BIP [Mrd. Euro]	4 185,6 (2023)	3 309–4 100 * 3 700 (LFS)	4 159–4 155 + 4 420 (LFS)	Stetiges Wachsen der Wirtschaft
Rohstahl Produktionsmenge [Mio. t]	35,4 (2023)	38–42,4 43 (LFS)	40–42,4 47 (LFS)	–
Zement Produktionsmenge [Mio. t]	28,2 (2023)	33–33,5** 35 (LFS)	28–29*** 38 (LFS)	–
Ammoniak Produktionsmenge [Mio. t]	1,7 (2023)	Abwanderung –2,5 2,5 (LFS)	–12 % gegenüber 2018–2 2,5 (LFS)	–
Personenkilometer [Mrd. Pkm]	1 065,9 (2022)	geringer Anstieg–1 236 1 230 (LFS)	1 279–1 400 1 220 (LFS)	1 323 (2040)

LFS steht für Langfristszenarien; ⁺ Werte werden nicht in allen Studien ausgewiesen, daher können teils auch Einzelwerte einer Studie dargestellt sein; * Durchschnittswert 2024 bis 2030, **zusätzlich –25 % gegenüber 2019 Agora Think Tanks (2024); *** zusätzlich –14 % gegenüber 2018 dena (2021).

Tabelle A 14: Übersicht der berücksichtigten Studien zu Investitionsvolumina (öffentlich + privat)

Studie/Papier	Investitions- aggregat	Scope (Klimaziel, Zeitraum)	Szenarienbasis	Systemgrenzen und Abdeckung Sektoren, Technologien	Sektoren- übergreifende jährliche projizierte Investitions- volumina bis 2030 [Mrd. Euro ₂₀₂₃] ¹⁵³	Anmerkung zur Berechnung	Weitere Anmerkungen
Agora Think Tanks (2024) Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung	Mehrinvestitionen	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2025–2030	Szenario Klima- neutrales Deutschland 2024 (Agora Think Tanks 2024)	Energie, Industrie, Verkehr, Gebäude H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz, CDR	150 ¹⁵⁴	Nur öffentliche Investitionen, nicht Ausgaben zur Förderung privater Investitionen berücksichtigt	–
EY und BDEW (2024) Fortschrittsmonitor 2024 – Energiewende	Gesamte Transformations- investitionen	Klimaziel: KSG-Ziele 2030, Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2023–2030	BDEW-Daten und VWL- Gesamtrechnung	Elektrifizierung der Sektoren Gebäude, Verkehr, Energie; H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz, CDR	Keine Angabe (nur Energie- wirtschaft)	–	–
Burchardt et al. (2024) Transformations- pfade für das Industrieland Deutschland	Mehrinvestitionen	Klimaziel: KSG-Ziele 2030 Zeitraum: 2024–2030	Burchardt et al. (2021)	Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie, Ladeinfrastruktur, H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz	126	–	–

¹⁵³ Hier werden nur Werte berichtet, die in der jeweiligen Quelle direkt als sektorenübergreifende Investitionsvolumina ausgewiesen wurden. Wenn zwei Investitionsaggregate ermittelt wurden, bezieht sich der Wert in Klammern auf das zweite Aggregat, der ohne Klammern auf das erste. Wenn nur einzelne Sektoren betrachtet wurden, wird der Wert hier nicht angeführt. Diese sind in Abbildung 29 abgetragen.

¹⁵⁴ Die Studie weist zusätzlich noch einen Finanzierungsbedarf der öffentlichen Hand, z. B. für Klimaschutzverträge, von etwa 58 Mrd. Euro₂₀₂₃ für 2025–2030 aus, der aber zum Teil von Einnahmen aus dem Emissionshandel gedeckt wird (je nach Preisannahme bis zu 29 Mrd. Euro₂₀₂₃).

Studie/Papier	Investitions- aggregat	Scope (Klimaziel, Zeitraum)	Szenarienbasis	Systemgrenzen und Abdeckung Sektoren, Technologien	Sektoren- übergreifende jährliche projizierte Investitions- volumina bis 2030 [Mrd. Euro2023] ¹⁵³	Anmerkung zur Berechnung	Weitere Anmerkungen
Schnaars et al. (2023) Investitionen der Energiewende bis 2030	Gesamte Transformations- investitionen	Klimaziel: KSG-Ziele 2030, Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2021–2030	Modellverbund u. a. dena (2021)	Energiewirtschaft (ohne Gaswirtschaft und Wasserstoff), Gebäude (ohne Nichtwohngebäude), Verkehr	255	–	Keine Ersatz- investitionen betrachtet
EWI und ef.Ruhr (2021) Gutachter-Bericht zu: dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität 2045 – Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems	Gesamte Transfor- mationsinvestitio- nen	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2018/2021–2045	KN100 (dena 2021)	Energie, Industrie, Verkehr Stromnetz, Wärmenetz, CDR	139	–	Verkehr ohne ÖPNV und Schienenausbau, bei Industrie fehlen wichtige Branchen
McKinsey & Company (2024) Zukunftspfad Stromversorgung	Gesamte Transformations- investitionen	Klimaziel: Umsetzung Osterpaket Zeitraum: 2023–2035	Eigene Berechnun- gen	Energie H ₂ -Netz, Stromnetz, CDR	Keine Angabe (nur Energie- wirtschaft)	–	Erfüllung der Klimaziele unter Erhalten der Versorgungs- sicherheit und Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Energie- wende

Studie/Papier	Investitions- aggregat	Scope (Klimaziel, Zeitraum)	Szenarienbasis	Systemgrenzen und Abdeckung Sektoren, Technologien	Sektoren- übergreifende jährliche projizierte Investitions- volumina bis 2030 [Mrd. Euro2023] ¹⁵³	Anmerkung zur Berechnung	Weitere Anmerkungen
Kemmler et al. (2024) Klimaschutz- investitionen für die Transformation des Energiesystems	Gesamte Transformations- investitionen, Mehrinvestitionen	Klimaziel: KSG-Ziele 2030, Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2020–2030	Eigene Berechnungen	Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz, CDR	135 (51)	–	–
PwC (2024) Beschleunigte Investitionen in den Klimaschutz lohnen sich – auch ökonomisch!	Gesamte Transformations- investitionen	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2023–2050	Eigene Berechnungen auf Basis dritter Studien (inkl. Klimaneutralitäts- studien) Beschleunigter- Klimaschutz- Szenario	Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie, Landwirtschaft H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz, CDR	181	Werte aus digitalisierten Grafiken übernommen	–
UBA (2024) sozio-ökonomische Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2024	Mehrinvestitionen	Klimaziel: Umsetzung der Klimaschutzinstrumente des Mit-Maßnahmen- Szenarios (MMS) und des Mit-Weiteren- Maßnahmenszenarios (MWMS) des Projektionsberichts 2024 (Harthan et al. 2024) Zeitraum: 2023–2030	Projektionsbericht 2024 (Harthan et al. 2024)	Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie	83 (MMS) 92 (MWMS)	–	Infrastruktur- investitionen werden nicht berücksichtigt. Dies umfasst Stromnetze, Wasserstoffnetze, Fernwärme und Verkehrs- infrastruktur

Eigene Darstellung. Das Investitionsaggregat einer Studie wurde anhand der voranstehenden Definitionen ausgewiesen, und an deren methodischen Ausführungen festgemacht. Hierdurch können auch Abweichungen zu den in den Studien eigens gewählten Definitionen entstehen.

Tabelle A 15: Übersicht der berücksichtigten Studien zu öffentlichen Finanzierungsvolumina

	Berücksichtigte Finanzierungsvolumina	Investitionsaggregat	Scope (Klimaziel, Zeitraum)	Szenarienbasis	Systemgrenzen und Abdeckung Sektoren, Technologien	Projizierte Finanzierungsvolumina der öff. Hand bis 2030 [Mrd. Euro 2023] ¹⁵⁵	Anmerkungen zur Berechnung	weitere Anmerkungen
Deutsch et al. (2024) Standort D mit Investitionen stärken – Programm für Infrastruktur, Transformation und Resilienz erforderlich	Öffentliche Investitionen und Förderung privater Investitionen; Bund, Länder, Kommunen	Finanzierungslücke	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2025–2030	Burchardt et al. (2021)	Industrie, Verkehr, siehe Burchardt et al. (2021)	38	Summe aus Transformationsinvestitionen sowie weiteren Posten: Bundes-Schienenwege, ÖPNV, Gebäudesanierung, Fernwärme ¹⁵⁶	–
Heilmann et al. (2024) Was kostet eine sichere, lebenswerte und nachhaltige Zukunft?	Öffentliche Investitionen und Förderung privater Investitionen; Bund, Länder, Kommunen	Gesamte Klimaschutzinvestitionen, Finanzierungslücke	Klimaziel: KSG-Ziele 2030 Zeitraum: 2025–2030	Meta-Studie	Gebäude, Energie, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft, H ₂ -Netz, Wärmenetz, ohne Stromnetz	100 (84)	ÖPNV und Bahn sind abweichend von der Studie mit in den hier berichteten Wert einbezogen. Weitere Finanzierungsvolumina auf kommunaler Ebene werden nur indikativ abgeschätzt und sind hier nicht enthalten.	Szenario mit niedrigem CO ₂ -Preis wurde berücksichtigt.

¹⁵⁵ Hier werden nur Werte berichtet, die in der jeweiligen Quelle direkt als sektorenübergreifendes Finanzierungsvolumen ausgewiesen wurden. Wenn zwei Investitionsaggregate ermittelt wurden, bezieht sich der Wert in Klammern auf das zweite Aggregat, der ohne Klammern auf das erste.

¹⁵⁶ Das in der Studie ausgewiesene gesamte projizierte Finanzierungsvolumen für die dort so betitelte Transformation beläuft sich auf insgesamt ca. 74 Mrd. Euro₂₀₂₃ pro Jahr.

	Berücksichtigte Finanzierungsvolumina	Investitionsaggregat	Scope (Klimaziel, Zeitraum)	Szenarienbasis	Systemgrenzen und Abdeckung Sektoren, Technologien	Projizierte Finanzierungsvolumina der öff. Hand bis 2030 [Mrd. Euro 2023] ¹⁵⁵	Anmerkungen zur Berechnung	weitere Anmerkungen
Dullien et al. (2024) Investitionsbedarfe in der Infrastruktur für die Transformation	Öffentliche Investitionen und Förderung privater Investitionen; Bund, Länder, Kommunen	Finanzierungslücke	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2024–2033	Meta-Studie	Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz	29	ÖPNV und Ausbau der Bundes-Schienenwege zuzüglich Dekarbonisierungskosten betrachtet	–
Krebs und Steitz (2021) Öffentliche Finanzbedarfe für Klimainvestitionen im Zeitraum 2021–2030	Öffentliche Investitionen, Förderung privater Investitionen, Bund, Kommunen	Mehrinvestitionen	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2021–2030	KN2045 (Agora)	Gebäude, Verkehr, Energie, Industrie H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz	52	–	–
Agora Think Tanks (2024) Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung	Öffentliche Investitionen; Bund, Länder, Kommunen	Mehrinvestitionen	Klimaziel: Klimaneutralität 2045 Zeitraum: 2025–2030	Szenario Klimaneutrales Deutschland 2024 (Agora Think Tanks 2024)	Energie, Industrie, Verkehr, Gebäude H ₂ -Netz, Stromnetz, Wärmenetz, CDR	37	Nur öffentliche Investitionen, nicht öffentliche Ausgaben zur Förderung privater Investitionen berücksichtigt	–

Eigene Darstellung. Das Investitionsaggregat einer Studie wurde anhand der voranstehenden Definitionen ausgewiesen, und an deren methodischen Ausführungen festgemacht. Hierdurch können auch Abweichungen zu den in den Studien eigens gewählten Definitionen entstehen.

7 Literaturverzeichnis

acatech (2024): Internetseite. Mobilitätsmonitor: Alle Ergebnisse. Hg. v. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Online verfügbar unter: <https://www.acatech.de/mobilitaetsmonitor/> (24.05.2024).

acatech, DECHEMA (2024): Internetseite. Wasserstoff-Kompass: Elektrolyse-Monitor. Hg. v. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Online verfügbar unter: <https://www.wasserstoff-kompass.de/elektrolyse-monitor> (29.05.2024).

AGEB (2024a): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. Daten für die Jahre 1990 bis 2023. Stand: September 2024 (endgültige Ergebnisse bis 2022, vorläufige Daten für 2023). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/11/awt_2023_d.xlsx (04.11.2024).

AGEB (2024b): Bilanzen 1990 bis 2030. Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, 2021-2023. Stand: 06.03.2024. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030> (05.11.2024).

AGEB (2024c): Daten, Internetseite. Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland. Stand: 18.12.2024. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/primaerenergieverbrauch/> (20.01.2025).

AGEB (2024d): Daten. Energiebilanz der Bundesrepublik 2022. Stand: 6. März 2024. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030> (11.11.2024).

AGEB (2024e): Daten. Energiebilanz Deutschland 2023, Stand: 16.09.2024 (vorläufige Daten). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023a): Daten. Energiebilanz der Bundesrepublik 2020. Stand: 29. November 2023. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030> (11.11.2024).

AGEB (2023b): Daten. Energiebilanz der Bundesrepublik 2021. Stand: 29. November 2023. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030> (11.11.2024).

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

AGEB (2023d): Tabellen. Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2023 (in TWh) Deutschland insgesamt. Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/10/STRERZ_Abgabe-12-2023.pdf (08.03.2024).

AGEE-Stat (2024a): Präsentation. Monatsbericht zur Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung und Leistung in Deutschland. Stand: 12.02.2024. Hg. v. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/02-2024_agee-stat_monatsbericht_final.pdf (11.03.2024).

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

AGEE-Stat (2023): Monatsbericht zur Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung und Leistung in Deutschland. Stand: 13.02.2023. Hg. v. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/02-2023_agee-stat_monatsbericht_final.pdf (27.07.2023).

Agora Energiewende (2025): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2024. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2025. Analyse. Hg. v. Agora Energiewende. Online verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2024#downloads> (21.01.2025).

Agora Energiewende (2023): Internetseite. Agorameter. Hg. v. Agora Energiewende. Online verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/daten-tools/agorameter/chart/today/power_generation/19.02.2024/22.02.2024/hourly (11.03.2024).

Agora Energiewende, Agora Verkehrswende (2023): Der CO₂-Preis für Gebäude und Verkehr. Ein Konzept für den Übergang vom nationalen zum EU-Emissionshandel. (Analyse). Hg. v. Agora Energiewende. Online verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-26_DE_BEH_ETS_II/A-EW_311_BEH_ETS_II_WEB.pdf (15.10.2024).

Agora Think Tanks (2024): Studie. Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung. Hg. v. Agora Think Tanks. Online verfügbar unter: https://www.prognos.com/sites/default/files/2024-10/2023-30_DE_KNDE_Umsetzung_Studie_final.pdf (28.10.2024).

Agora Verkehrswende (2024): Vorböten der Mobilitätswende?. Analyse des Personenverkehrs in Deutschland vor, während und nach der Coronapandemie (2019–2023). Hintergrundpapier. Hg. v. Agora Verkehrswende. Online verfügbar unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2024/Personenverkehr-2019-2023/Agora-Verkehrswende_Analyse_Vorböten-der-Mobilitaetswende.pdf (01.11.2024).

Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Hg. v. Agora Verkehrswende. Online verfügbar unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-elektroautos/> (18.10.2024).

Aigner, E., Brugger, K., Lichtenberger, H., Ranftler, J., Schmidt, A. (2023): Multiple Belastungen: Analyse von Gesundheit, Wohn- und Lebensbedingungen von Armut betroffener Familien im Winter 2022/2023. Hg. v. Gesundheit Österreich GmbH. Online verfügbar unter: <https://jasmin.goeg.at/id/eprint/2769/> (01.11.2024).

Alberini, A., Vance, C. (2023): Competing Forces in the German New Car Market: How do they Affect Diesel, PHEV, and BEV sales?. USAEE Working Paper No. 23-599.: Hg. v. Social Science Research Network (SSRN). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4577479> (18.10.2024).

Allekotte (2024): Aktualisierung TREMOD/TREMOD-MM und Ermittlung der Emissionsdaten des Verkehrs nach KSG im Jahr 2023.

Allianz pro Schiene e. V. (2024): Internetseite. Das Schienennetz in Deutschland. Stand: 15.07.2024. Hg. v. Allianz pro Schiene e. V. Online verfügbar unter: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz/> (03.12.2024).

Amberg, M., Koch, N. (2024): Internetseite. Ariadne D-Ticket Impact Tracker. Hg. v. Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://mcc-berlin-ariadne.shinyapps.io/dticket-tracker/> (06.11.2024).

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

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

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

ArcelorMittal (2024): Internetseite. Auf dem Weg zum grünen Stahl: Unsere Strategie. Hg. v. ArcelorMittal Germany Holding GmbH (ArcelorMittal). Online verfügbar unter: <https://germany.arcelormittal.com/icc/arcelor/broker.jsp?uMen=582f6fbb-a799-5199-f8b4-947d7b2f25d3&uCon=bbd463e5-b391-6714-d297-3e40f2a4a10b&uTem=aaaaaaaa-aaaa-aaaa-000000000011> (20.01.2025).

Arthur, W. B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal* 99 (394), S. 116-131.

Aurora (2022): Präsentation. Auswirkungen eines adjustierten Kohleausstiegs auf die Emissionen im deutschen Stromsektor. Analyse für Europe Beyond Coal. Datum: 22. November 2022. Hg. v. Aurora Energy Research (Aurora). Online verfügbar unter: https://www.bund-nrw.de/fileadmin/nrw/dokumente/braunkohle/221128_EBC_Aurora_Kohleausstiegspfad_und_Emissionen_as_sent.pdf (20.01.2025).

Aykut, S. C., Neukirch, M., Zengerling, C., Engels, A., Suhari, M., Pohlmann, A. (2019): Energiewende ohne gesellschaftlichen Wandel? Der blinde Fleck in der aktuellen Debatte zur „Sektorkopplung“ (lizenzierter Inhalt). *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 69 (3), S. 20–24.

Bach, S., Hamburg, M., Meemken, S., Merker, M., Pieper, J. (2024): CO₂-Bepreisung: Klimaprämie zügig einführen, bei höheren Einkommen abschmelzen. *DIW Wochenbericht* 91 (42), S. 647-655.

Bach, S., Harnisch, M., Isaak, N. (2018): Verteilungswirkung der Energiepolitik - Personelle Einkommensverteilung. Endbericht. Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Hg. v. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/verteilungswirkungen-der-energiepolitiken.pdf> (31.10.2024).

BAFA (2024): Informationsblatt CO₂-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss. Version 3.1, Stand: 01.08.2024. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2024.html (15.10.2024).

BAFA (2023): Artikel. Energie: Neue EEW-Richtlinie in Kraft getreten. Stand: 01.05.2023. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Energie-_Resourceneffizienz/20230501_neue_richtlinie.html (03.12.2024).

BAFA, KfW (2021): Bundesförderung für effiziente Gebäude. Infoblatt zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen. Version 1.0 (05/2021). Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Online verfügbar unter: https://www.kfw.de/partner/Dokumente/Archiv/792-2021-Q2/6000004863_Infoblatt_BEG_F%C3%B6rderung%C3%A4hige_Ma%C3%9Fnahmen_2021_05.pdf (03.12.2024).

Bai, Y., Okullo, S. J. (2023): Drivers and pass-through of the EU ETS price: Evidence from the power sector. *Energy Economics* 123.

Ballesteros-Arjona, V., Oliveras, L., Muñoz, J. B., Lima, A. O. d. L., Carrere, J., Ruiz, E. M., Peralta, A., León, A. C., Rodríguez, I. M., Daponte-Codina, A., Marí-Dell'Olmo, M. (2022): What are the effects of energy poverty and interventions to ameliorate it on people's health and well-being?: A scoping review with an equity lens. *Energy Research & Social Science* 87.

Bär, H., Collmer, F. (2024): Klif Policy Brief. Planen ist Silber, Ausgeben ist Gold: Warum weniger Geld für Klimaschutz fließt als wir denken. Hg. v. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e. V. (FÖS). Online verfügbar unter: https://foes.de/publikationen/2024/FOES_2024_KTF_Soll-Ist_Analyse.pdf (09.04.2024).

Bardt, H., Beznoska, M., Demary, M., Grömling, M., Henger, R., Hentze, T., Kolev-Schaefer, G., Obst, T., Pimpertz, J., Schäfer, H., Seele, S., Taft, N. (2024): Es wird nicht besser. IW-Konjunkturprognose Winter 2024. IW-Report 45/2024. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW). Online verfügbar unter: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2024/IW-Report_2024-Konjunkturprognose-Winter-2024.pdf (24.01.2025).

Bauhus, J., Dieter, M., Meyer, P., Knoke, T., Endres, E., Farwig, N., Weber-Blaschke, G., Lang, F., Kleinschmit B, Hafner, A., Kätzel, R., Lindner, M., Müller, J., Schraml, U., Seeling, U. (2024): Einordnung wichtiger Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2022 in Bezug auf walddpolitische Handlungsfelder. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik, Dezember 2024. Stand: 16.01.2025. Hg. v. Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (WBW). Online verfügbar unter: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/waldpolitik/einordnung-bwi-2022.html> (20.01.2025).

BDEW (2024a): Die Energieversorgung 2024. – Jahresbericht –. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/2024_12_18_Die_Energieversorgung_2024_Final.pdf (20.01.2025).

BDEW (2024b): Präsentation. BDEW-Umfrage zur Fachkräftesicherung. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-Umfrage_zur_Fachkr%C3%A4ftesicherung_-_Auswertung.pdf (22.10.2024).

BDEW (2023a): Artikel. Studie: Wie heizt Deutschland 2023?. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/studie-wie-heizt-deutschland/> (11.03.2024).

BDEW (2023b): Internetseite. Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland. Anteile der genutzten Energieträger. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). Online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstruktur-wohnungsbestand/> (11.03.2024).

- BDEW (2023c): Wie heizt Deutschland 2023?. BDEW-Studie zum Heizungsmarkt. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). Online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/media/documents/231221-BDEW-WHD2023.pdf> (21.10.2024).
- BDEW (2022): Die Energieversorgung 2022. Jahresbericht. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.(BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/jahresbericht_2022_final_20Dez2022.pdf (27.07.2023).
- BDEW (2021): Grafik. Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Wohnungsbestand_Beheizungsstruktur_Entw_ab_1995_online_o_dw_jaehrlich_CMi_18072022.pdf (26.10.2022).
- BDEW (2020): Fakten und Argumente. Konjunkturimpulse der Energiewirtschaft. Methodik und Ergebnisse einer Input-Output-Analyse einschließlich regionaler Effekte. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20201110_BDEW-Konjunkturimpulse.pdf (20.01.2025).
- BDH (2024a): Pressemitteilung. Absatz von Heizungen stark rückläufig: Wärmewende stagniert. Datum: 24. Oktober 2024. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH). Online verfügbar unter: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemeldungen/artikel/absatz-von-heizungen-stark-rueckklaeufig-waermewende-stagniert> (06.11.2024).
- BDH (2024b): Pressemitteilung. Heizungen: Absatz bricht im ersten Quartal 2024 ein. Datum: 02. Mai 2024. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH). Online verfügbar unter: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemeldungen/artikel/heizungen-absatz-bricht-im-ersten-quartal-2024-ein> (29.05.2024).
- BDH (2024c): Pressemitteilung. Heizungsindustrie: Rekordabsatz in turbulentem Marktumfeld. Datum: 19. Februar 2024. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH). Online verfügbar unter: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemeldungen/artikel/heizungsindustrie-rekordabsatz-in-turbulentem-marktumfeld> (11.03.2024).
- BDH (2023): Pressemitteilung. Jahresbilanz 2022: Heizungsmarkt boomt. Datum: 13. Februar 2023. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH) Online verfügbar unter: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemeldungen/artikel/jahresbilanz-2022-heizungsmarkt-boomt> (07.03.2023).
- BDI (2021): Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI) Online verfügbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/> (27.10.2022).
- Beermann, A.-C., Förster, H., Hünecke, K., Schrems, I., Schumacher, K. (2021): Verteilungswirkungen eines fortschreitenden Klimawandels. Forschungsbericht 582. Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). Online verfügbar unter: https://foes.de/publikationen/2021/2021-09_FOES_Verteilungswirkungen_eines_fortschreitenden_Klimawandels.pdf (31.10.2024).
- BEHG (2019): Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (Bfj). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/behg/BJNR272800019.html> (31.10.2024).
- Behr, S. M., Küçük, M., Longmuir, M., Neuhoﬀ, K. (2024): Sanierung sehr ineffizienter Gebäude sicher hohen Heizkostenrisiken ab. DIW Wochenbericht 91 (19), S. 279-286.
- Belitz, H., Clemens, M., Gebauer, S., Michelsen, C. (2020): Öffentliche Investitionen als Triebkraft privatwirtschaftlicher Investitionstätigkeit. - Endbericht -. DIW Berlin: Politikberatung kompakt 158. Hg. v. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin). Online verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.808559.de/diwkompakt_2020-158.pdf (28.10.2024).
- Bergh, J. v. d., Savin, I. (2021): Impact of Carbon Pricing on Low-Carbon Innovation and Deep Decarbonisation: Controversies and Path Forward. Environmental and Resource Economics 80, S. 505-715.
- Bergquist, M., Nilsson, A., Harring, N., Jager, S. C. (2022): Meta-analyses of fifteen determinants of public opinion about climate change taxes and laws. Nature Climate Change 12, S. 235-240.
- Berschin, F., Böttger, C. (2023): Analysen. Auswirkungen des 49-Euro-Tickets auf Verkehrsverbünde und Einnahmenaufteilung. Wirtschaftsdienst 103 (3), S. 186-191.

Betzüge, M. O. (2024): Kapitel. Klimaneutralität: Vom Szenario zur Umsetzung. In: Umsetzung der Energiewende: Zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Schriftenreihe des Kuratoriums, Band 17. Sammelwerk, S. 32-45. Hg. v. Forum für Zukunftsenergien e. V. Online verfügbar unter: https://zukunftsenergien.de/fileadmin/user_upload/2024-KuratSchri_final.pdf (05.11.2024).

BfEE (2021): Artikel. Effizienzpolitik: Novellierung der Förderrichtlinie Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW). Stand: 20.12.2021. Hg. v. Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter: https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BfEE/DE/Effizienzpolitik/211214_eev_novellierung.html (03.12.2024).

Blanck, R., Zimmer, W. (2021): Klimaschutzinstrumente im Verkehr. Umgestaltung der Kfz-Steuer: Bonus-Malus-System. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/uba-kurzpapier_bonus-malus-system_kliv.pdf (27.10.2022).

BLE (2024): Tabelle. Versorgungsbilanz: 2 Pro-Kopf-Verbrauch von ausgewählten Milcherzeugnissen. Datum: 12.04.2024. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Online verfügbar unter: <https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/Versorgungsbilanzen.html?nn=8906974> (28.10.2024).

BMDV (2024): Artikel. Verkehrsprognose 2040. Stand: 24.10.2024. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Online verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsprognose-2040.html> (06.11.2024).

BMEL (2024a): Artikel. Versorgungsbilanz Fleisch. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung/versorgungsbilanzen/fleisch> (28.10.2024).

BMEL (2024b): Bio-Strategie 2030. Nationale Strategie für 30 Prozent ökologische Land- und Lebensmittelwirtschaft bis 2030. Stand: Januar 2024. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bio-strategie-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (04.12.2024).

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

BMEL (2024d): Daten. MBT-0111060-0000. Entwicklung des Inlandsabsatzes von Düngemitteln. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL). Online verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/0111060-0000.xlsx> (11.03.2024).

BMEL (2024e): Tabelle. Landwirtschaft: Tabellen Kapitel C, H.II und H.III des Statistischen Jahrbuchs. VII Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung: Landwirtschaftlich genutzte Fläche nach Kulturarten. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tabellen-kapitel-c-hii-und-hiii-des-statistischen-jahrbuchs> (28.10.2024).

BMF (2023): 29. Subventionsbericht des Bundes. Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 2021 bis 2024. Hg. v. Bundesministerium der Finanzen (BMF). Online verfügbar unter: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Broschueren_Bestellservice/29-subventionsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (08.03.2024).

BMFSFJ (2024): Internetseite. Hintergrundinformation: Unbezahlte Sorgearbeit. Gender Care Gap - ein Indikator für die Gleichstellung. Stand: 28.03.2024. Hg. v. Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ). Online verfügbar unter: <https://www.bmfsfj.de/bmfsfj/themen/gleichstellung/gender-care-gap/indikator-fuer-die-gleichstellung/gender-care-gap-ein-indikator-fuer-die-gleichstellung-137294> (31.10.2024).

BMK (2024): Interessensbekundungsverfahren zur geplanten Förderung von Betriebskosten im Rahmen der „Transformation der Industrie“ nach UFG. Hg. v. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie Österreich (BMK). Online verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:335459f5-573b-42cc-bd99-7994656233ef/Interessensbekundung_Betriebskostenfoerderung_UA.pdf (06.11.2024).

BMUB (2017): Dialog der Bundesregierung zum Klimaschutzplan 2050. Breite Beteiligung von Bundesländern, Kommunen, Verbänden sowie Bürgerinnen und Bürgern. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ksp_2050_dialog_bf.pdf (20.01.2025).

- BMUB (2016): Bürgerreport. Bürgerdialog zum Klimaschutzplan 2050. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/buergerreport_klimaschutzplan_bf.pdf (20.01.2025).
- BMUV (2023): Internetseite. Natürlicher Klimaschutz. Klimaschutz mit Naturschutz verbinden. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/natuerlicher-klimaschutz> (11.11.2024).
- BMWi (2016): Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus) vom 29. Juni 2016. BAnz AT 01.07.2016 B1. Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV). Online verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/uac5zLC7s9z2ctgOMA3/content/uac5zLC7s9z2ctgOMA3/BAnz%20AT%2001.07.2016%20B1.pdf?inline> (21.10.2024).
- BMWi, BMI (2021): Sofortprogramm auf Basis des § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI).
- BMWi, BMU (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010 Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (25.10.2022).
- BMWK (2024a): Aktualisierung des integrierten nationalen Energie- und Klimaplan. Bundesrepublik Deutschland – August 2024. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/20240820-aktualisierung-necp.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (01.11.2024).
- BMWK (2024b): Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Bekanntmachung der Förderrichtlinie für die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit vom 25. Januar 2024. BAnz AT 14.02.2024 B2. Hg. v. Bundesministerium für Justiz (BMJ). Online verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?2> (03.12.2024).
- BMWK (2024c): Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Bekanntmachung der Förderrichtlinie zur Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Förderwettbewerb vom 25. Januar 2024. BAnz AT 14.02.2024 B1. Hg. v. Bundesministerium für Justiz (BMJ). Online verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?1> (03.12.2024).
- BMWK (2024d): Internetseite. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Dossier/eew-energie-und-ressourceneffizienz-in-der-wirtschaft.html> (03.12.2024).
- BMWK (2024e): Internetseite. Die Systementwicklungsstrategie: Ein Rahmen für die Transformation zum klimaneutralen Energiesystem. Systementwicklungsstrategie 2024. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/ses.html> (20.01.2025).
- BMWK (2024f): Internetseite. Klimaschutzverträge - ein neues Förderinstrument. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.klimaschutzvertraege.info/> (25.10.2024).
- BMWK (2024g): Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe). - Eckpunktepapier -. Stand: Februar 2024. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-negativemissionen.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (04.12.2024).
- BMWK (2024h): Online-Version. Transformationsschub für die Industrie: Klimaschutzverträge starten in die erste Gebotsrunde. Schlaglichter der Wirtschaftspolitik. Monatsbericht (04 / April 2024), S. 07-10.
- BMWK (2024i): Pressemitteilung. Grünes Licht für Grünen Stahl. Europäische Kommission genehmigt Dekarbonisierungsprojekt von ArcelorMittal in Bremen und Eisenhüttenstadt. Datum: 23.02.2024. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/02/20240223-gruenes-licht-fuer-gruenen-stahl.html> (20.01.2025).

BMWK (2024j): Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge (Förderrichtlinie Klimaschutzverträge – FRL KSV) vom 11. März 2024. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/F/foerderrichtlinie-klimaschutzvertraege-frl-ksv.html> (11.11.2024).

BMWK (2024k): Tabellen. BEG Heizungsförderung (Antragszahlen). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAFFNEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-antragszahlen-2024.pdf?_blob=publicationFile&v=9 (22.10.2024).

BMWK (2023a): Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. NWS 2023 (Stand: Juli 2023). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?_blob=publicationFile&v=1 (29.05.2024).

BMWK (2023b): Jahreswirtschaftsbericht 2023. Wohlstand erneuern. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/jahreswirtschaftsbericht-2023.pdf?_blob=publicationFile&v=3 (06.11.2024).

BMWK (2023c): Pressemitteilung. Habeck und Weil übergeben Förderbescheid: Knapp eine Milliarde Euro für CO₂-arme und wasserstoffbasierte Stahlproduktion im Rahmen des SALCOS-Projekts. Datum: 18.04.2023. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Land Niedersachsen. Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/04/230418-habeck-und-weil-ubergeben-forderbescheid.html> (20.01.2025).

BMWK (2023d): Pressemitteilung. Rahmen für die Kraftwerksstrategie steht – wichtige Fortschritte in Gesprächen mit EU-Kommission zu Wasserstoffkraftwerken erzielt. Konsultationsphase und förmliches Beihilfverfahren folgen als nächste Verfahrensschritte. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/08/20230801-rahmen-fuer-die-kraftwerksstrategie-steht.html> (08.08.2023).

BMWK (2022a): Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus) vom 17. November 2022. BANz AT 09.12.2022 B1. Hg. v. Bundesministerium für Justiz (BMJ). Online verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/JTwJaZXEaXb7u0J5Ccc?0> (18.10.2024).

BMWK (2022b): Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG) vom 9. Dezember 2022. BANz AT 30.12.2022 B2. Hg. v. Bundesministerium für Justiz (BMJ). Online verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?1> (03.12.2024).

BMWK (2022c): Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs. Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/2-waermepumpen-gipfel-eckpunktepapier.html> (07.03.2023).

BMWK, BMWSB (2022): Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. (1) KSG für den Sektor Gebäude. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). Online verfügbar unter: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/sofortprogramm-sektor-gebaeude.pdf;jsessionid=920335B53748C6978DA36DD40973E560.2_cid295?_blob=publicationFile&v=1 (10.08.2022).

BMWSB (2024a): Internetseite. QNG Anforderungen. Hg. v. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). Online verfügbar unter: <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/> (11.11.2024).

BMWSB (2024b): Internetseite. QNG Siegeldokumente. Hg. v. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). Online verfügbar unter: <https://www.qng.info/qng/qng-anforderungen/qng-siegeldokumente/> (11.11.2024).

BNetzA (2025): Pressemitteilung. Bundesnetzagentur veröffentlicht Zahlen zur Gasversorgung 2024. Stand: 08.01.2025. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2025/20250108_GasRueckblick.html#:~:text=Deutschland%20hat%202024%20insgesamt%20844,Gewerbe%2C%2061%20Prozent%20auf%20Industriekunden (20.01.2025).

BNetzA (2024a): Daten. 2. Überblick über die öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur zum 01. September 2024. Stand: 01. Dezember 2024. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Online verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/E_Mobilitaet/Ladesa_euleninfrastruktur.xlsx?__blob=publicationFile&v=11 (21.01.2025).

BNetzA (2024b): Daten. SMARD Marktdaten. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Online verfügbar unter: <https://www.smard.de/home/downloadcenter/download-marktdaten/> (15.03.2024).

BNetzA (2024c): Interaktive Grafiken. Rückblick: Gasversorgung im Jahr 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/a_Gasversorgung_2023/start.html (21.10.2024).

BNetzA (2024d): Internetseite. Auswertung Kraftwerksliste Bundesnetzagentur nach aktuellem Kraftwerksstatus und Energieträger. Stand: 15.04.2024. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Online verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html> (11.11.2024).

BNetzA (2023): Bericht zu Stand und Entwicklung der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität. Stand: Januar 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Online verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/963994/426254069988ea329bd588bd14c558a5/Ausschussdrucksache-20-25-281.pdf> (04.12.2024).

Boardman, B. (1991): Buch. Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth. 1. Auflage. Hg. v. Belhaven Press (John Wiley & Sons Ltd).

Boes, A., Langes, B. (2023): Kapitel. Innovation im Paradigmenwechsel - Überlegungen zu Neuausrichtung des Innovationssystems. In: Transformation und agile Innovationssysteme: Neue Praktiken und innovationspolitische Herausforderungen. Sammelwerk, S. 67-88. Hg. v. Campus Verlag. Online verfügbar unter: https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/91730/ssoar-2023-botthof_et_al-Transformative_und_agile_Innovationssysteme_Neue.pdf?sequence=1&isAllowed=y&inkname=ssoar-2023-botthof_et_al-Transformative_und_agile_Innovationssysteme_Neue.pdf (03.12.2024).

Bolwin, L., Kestermann, C., Küper, M., Schaefer, T. (2024): Klimatransformation: Schmerzen und Chancen. Ergebnisse einer repräsentativen Befragung des Produzierenden Gewerbes. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW Köln). Online verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/lennart-bolwin-christian-kestermann-malte-kueper-thilo-schaefer-schmerzen-und-chancen.html> (04.12.2024).

Böning, J., Di Nino, V., Folger, T. (2023): Benefits and costs of the ETS in the EU, a lesson learned for the CBAM design. ECB Working Paper Series, No 2764 / January 2023. Hg. v. European Central Bank (ECB). Online verfügbar unter: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2764~3ff8cb597b.en.pdf> (07.11.2024).

Bordignon, M., Gamannossi degl'Innocenti, D. (2023): Third Time's a Charm? Assessing the Impact of the Third Phase of the EU ETS on CO2 Emissions and Performance. Sustainability 15 (8).

Brand, S., Römer, D. (2022): Öffentliche Investitionsbedarfe zur Erreichung der Klimaneutralität in Deutschland. KfW Research Fokus Volkswirtschaft Nr. 395, 19. Juli 2022. Hg. v. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Online verfügbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2022/Fokus-Nr.-395-Juli-2022-Oeffentliche-Investitionsbedarfe.pdf> (08.11.2024).

Brandes, J., Haun, M., Wrede, D., Jürgens, P., Kost, C., Henning, H.-M. (2021): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Update November 2021: Klimaneutralität 2045. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE). Online verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf> (06.11.2024).

Braungardt, S., Bei der Wieden, M., Hesse, T., Kenkmann, T., Koch, M., Krieger, S. (2023a): Grossbaustelle Gebäudesektor. Lokal und sozial die Wärmewende entfachen. Hg. v. WWF Deutschland. Online verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WWF_OEko-Institut_Waermewende.pdf (22.10.2024).

Braungardt, S., Bei der Wieden, M., Kranzl, L. (2024): EU emissions trading in the buildings sector – an ex-ante assessment. Climate Policy, S. 1–15.

- Braungardt, S., Keimeyer, F., Köhler, B., Bei der Wieden, M. (2023b): Blogartikel. Das „Heizungsgesetz“ ist ein wichtiger Baustein für die Wärmewende. Stand: 13.09.2023. Hg. v. Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/blog/das-heizungsgesetz-ist-ein-wichtiger-baustein-fuer-die-waermewende/> (22.10.2024).
- Braungardt, S., Keimeyer, F., Loschke, C. (2024): Is the “heating hammer” hitting energy efficiency policy? Learnings from the debate around the German Buildings Energy Act. In: Summer Study proceedings (eceee Summer Study proceedings) 2024, 3-028-24. Hg. v. European Council for an Energy Efficient Economy (eceee). Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/publikation/is-the-heating-hammer-hitting-energy-efficiency-policy-learnings-from-the-debate-around-the-german-buildings-energy-act/> (21.01.2025).
- Brüggemann, A., Grewenig, E., Römer, D., Schwartz, M. (2023): KfW-Klimabarometer 2023. Trotz Energiekrise: Anstieg der Klimaschutzinvestitionen deutscher Unternehmen im Jahr 2022 um real 18 %. Hg. v. KfW Bankengruppe (KfW). Online verfügbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Klimabarometer/KfW-Klimabarometer-2023.pdf> (20.01.2025).
- Bull, R., Eadson, W. (2023): Who has the power? Reflections on citizen engagement in district heating schemes in the UK and Sweden. Energy Policy 177.
- BUND (2021): Artikel. Nationaler Radverkehrsplan: Wie der Radverkehr der Zukunft aussehen soll. Datum: 30. April 2021. Hg. v. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) – Friends of the Earth Germany. Online verfügbar unter: <https://www.bund.net/themen/aktuelles/detail-aktuelles/news/nationaler-radverkehrsplan-wie-der-radverkehr-der-zukunft-aussehen-soll/> (28.10.2024).
- Bundesrechnungshof (2024): Abschließende Mitteilung an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz über die Prüfung Einhaltung der Subventionspolitischen Leitlinien. Einzelplan 09 sowie Einzelplan 60 (sofern vom Bundesministerium bewirtschaftet). Datum: 22. Mai 2024. Hg. v. Bundesrechnungshof (BRH). Online verfügbar unter: https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/subventionspolitische-leitlinien-bmwk-volltext.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (24.01.2025).
- Bundesregierung (2024a): Artikel. Deutschlandticket. Ein Ticket für ganz Deutschland. Stand: 20.12.2024. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA). Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/deutschlandticket-2134074> (20.01.2025).
- Bundesregierung (2024b): Klimaschutzbericht 2024. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Drucksache 20/12760, 30.08.2024. Hg. v. Deutscher Bundestag. Online verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/127/2012760.pdf> (22.01.2025).
- Bundesregierung (2023a): Artikel. Damit die Wohnung warm bleibt. Stand: 06.07.2023. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA). Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/heizkostenzuschuss-2144900> (04.12.2024).
- Bundesregierung (2023b): Internetseite. Änderung des Regionalisierungsgesetzes. Bund finanziert Deutschlandticket mit 1,5 Milliarden Euro. Stand: 31.03.2023. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA). Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/regionalisierungsgesetz-deutschlandticket-2161096> (05.11.2024).
- Bundesregierung (2023c): Internetseite. Klimaschutzprogramm 2023. Mit großen Schritten zur Klimaneutralität. Stand: 04.10.2023. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA). Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klimaschutzprogramm-2023-2226992> (11.11.2024).
- Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Hg. v. Die Bundesregierung. Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1873516/9d73d857a3f7f0f8df5ac1b4c349fa07/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf?download=1> (28.10.2024).
- Burbidge, M., Papantonis, D., Petrova, S., Bouzarovski, S., Apostoliotis, A., Flamos, A. (2024): Gender-blind energy efficiency policy-making in Europe: risks and challenges for the private rented sector. European Council for an Energy Efficient Economy. In: Summer Study proceedings (eceee Summer Study proceedings) 2024, 1-168-24. Hg. v. European Council for an Energy Efficient Economy (eceee). Online verfügbar unter: https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2024/1-dynamics-of-consumption/gender-blind-energy-efficiency-policy-making-in-europe-risks-and-challenges-for-the-private-rented-sector/ (01.11.2024).
- Burchardt, J., Franke, K., Herhold, P., Hohaus, M., Humpert, H., Päivärinta, J., Richenhagen, E., Ritter, D., Schönberger, S., Schröder, J., Strobl, S., Tries, C., Türpitz, A. (2021): KLIMAPFADE 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Hg. v. Boston Consulting

Group (BCG). Online verfügbar unter: [https://issuu.com/bdi-berlin/docs/211021_bdi_klimapfade_2.0 - gesamtstudie - vorabve](https://issuu.com/bdi-berlin/docs/211021_bdi_klimapfade_2.0_-_gesamtstudie_-_vorabve) (28.10.2024).

Burchardt, J., Herhold, P., Richenhagen, E., Schaefer, T., Goecke, H. (2024): Transformationspfade für das Industrieland Deutschland. Eckpunkte für eine neue industriepolitische Agenda. Hg. v. Boston Consulting Group (BCG). Online verfügbar unter: <https://bdi.eu/artikel/news/transformationspfade-fuer-das-industrieland-deutschland-studie-langfassung> (05.11.2024).

Burger, A., Bretschneider, W. (2021): Umweltschädliche Subventionen in Deutschland. Aktualisierte Ausgabe 2021. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_143-2021_umweltschaedliche_subventionen.pdf (25.10.2022).

Burra, L. T., Sommer, S., Vance, C. (2024): Free-ridership in subsidies for company- and private electric vehicles. Energy Economics 131 (March 2024).

Burret, H., Kirchner, A., Kreidelmeyer, S., Spillmann, T., Ambros, J., Limbers, J., Brutsche, A., Granzow, M., Häßler, R. D. (2021): Studie. Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Green-Finance-und-Klimaneutralitaet.pdf> (04.11.2024).

Burstedde, A., Kolev-Schaefer, G. (2024): Die Kosten des Fachkräftemangels. IW-Kurzbericht, Nr. 27/2024, 12.05.2024. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW). Online verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/presse/pressemittelungen/alexander-burstedde-galina-kolev-schaefer-wirtschaft-verliert-49-milliarden-euro.html> (06.01.2025).

BVerfG (2023): Urteil des Zweiten Senats vom 15. November 2023 – 2 BvF 1/22 –, Rn. 1-231. Zweites Nachtragshaushaltsgesetz 2021. Hg. v. Bundesverfassungsgericht (BVerfG). Online verfügbar unter: https://www.bverfg.de/e/fs20231115_2bvf000122.html (08.03.2024).

BWP (2024): Internetseite. Absatzzahlen und Marktanteile. Hg. v. Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. Online verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/> (06.11.2024).

CARB (2022): 2022 Scoping Plan For Achieving Carbon Neutrality. Hg. v. California Air Resources Board (CARB). Online verfügbar unter: https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-12/2022-sp_1.pdf (20.01.2025).

Caron, J. (2022): Kapitel. Chapter 5: Empirical evidence and projections of carbon leakage: some, but not too much, probably. In: Handbook on trade policy and climate change. Sammelwerk, S. 58-74. Hg. v. Edward Elgar Publishing. Online verfügbar unter: https://www.elgaronline.com/display/edcoll/9781839103230/9781839103230_00012.xml (07.11.2024).

Cludius, J., Bruyn, S. d., Schumacher, K., Vergeer, R. (2020): Ex-post investigation of cost pass-through in the EU ETS - an analysis for six industry sectors. Energy Economics 91.

CO2KostAufG (2022): Gesetz zur Aufteilung der Kohlendioxidkosten (Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz - CO2KostAufG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/co2kostaufg/BjNR215400022.html> (04.12.2024).

Colell, A., Knodt, M., Stoll, P., Kemmerzell, J., Reitz, S., Goshen, L., Ohlhorst, D. (2022): Konflikte und Akteure – Gesellschaftliche Herausforderungen bei der Umsetzung der Stromwende. Ariadne-Hintergrund. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/hintergrund-konflikte-und-akteure/> (18.11.2024).

Colmer, J., Martin, R., Muûls, M., Wagner, U. J. (2024): Does Pricing Carbon Mitigate Climate Change? Firm-Level Evidence from the European Union Emissions Trading System. Datum: 24 May 2024. The Review of Economic Studies, S. 1–36.

DAT (2024): Internetseite. Studie: Untersuchung zum Hochlauf der Elektromobilität in Deutschland. Hg. v. Deutsche Automobil Treuhand GmbH (DAT). Online verfügbar unter: <https://www.dat.de/publikationen/studie-hochlauf-elektromobilitaet/> (27.05.2024).

DB InfraGO AG (2024): InfraGO-Zustandsbericht Netz und Personenbahnhöfe 2023. Hg. v. DB InfraGO AG. Online verfügbar unter: <https://www.dbinfrago.com/resource/blob/12851844/6d8f1b4e177c28d5fd3a3ba53e5cc43b/InfraGO-Zustandsbericht-2023-data.pdf> (06.01.2025).

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

Dechezleprêtre, A., Nachtigall, D., Venmans, F. (2023): The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance. Journal of Environmental Economics and Management 118.

DellaValle, N., Czako, V. (2022): Empowering energy citizenship among the energy poor. Energy Research & Social Science 89.

dena (2021): Abschlussbericht. dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf (27.10.2022).

Destatis (2025a): Pressemitteilung. Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2024 um 0,2 % gesunken. Deutsche Wirtschaft schrumpft im zweiten Jahr in Folge. Pressemitteilung Nr. 019 vom 15. Januar 2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/01/PD25_019_811.html#:~:text=WIESBADEN%20%E2%80%93%20Das%20Preisbereinigte%20Bruttoinlandsprodukt%20\(BIP,Deutschland%20ebenfalls%200%2C2%20%25](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/01/PD25_019_811.html#:~:text=WIESBADEN%20%E2%80%93%20Das%20Preisbereinigte%20Bruttoinlandsprodukt%20(BIP,Deutschland%20ebenfalls%200%2C2%20%25) (20.01.2025).

Destatis (2025b): Tabelle. 41312-0001. Haltungen mit Rindern: Deutschland, Stichmonat, Rinderkategorien. Stand: 08.01.2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/url/ecfe9169> (20.01.2025) (heruntergeladen am 09.01.2025).

Destatis (2025c): Tabelle. 41313-0001. Betriebe mit Schweinehaltung: Deutschland, Stichmonat, Schweinekategorien. Stand: 08.01.2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/url/bb464487> (20.01.2025).

Destatis (2025d): Tabelle. 42153-0001. Produktionsindex für das Verarbeitende Gewerbe: Deutschland, Monate, Original- und bereinigte Daten, Wirtschaftszweige (Hauptgruppen und Aggregate). Stand: 09.01.2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/42153/table/42153-0001/search/s/CHJvZHVrdGlvbNpbnRleA==> (20.01.2025) (heruntergeladen am 10.01.2025).

Destatis (2025e): Tabelle. 42321-0001. Inlandsabsatz von Düngemitteln: Deutschland, Wirtschaftsjahr, Düngemittelsorten. Stand: 08.01.2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/42321-0001/table-toolbar#modal=table-download¶ms=JTVcJTdCJTlycGFyYW1zJTlyJTnBJTdCJTlyaWQIMjllM0EIMjllMjllN0QIN0QINUQ=> (20.01.2025).

Destatis (2025f): Tabelle. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Bruttoinlandsprodukt (BIP). Stand: 15.01.2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/bip-bubbles.html> (22.01.2025).

Destatis (2024a): Daten. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Arbeitsunterlage Investitionen. 3. Vierteljahr 2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/investitionen-xlsx-5811108.xlsx?_blob=publicationFile (06.01.2025).

Destatis (2024b): Daten. Wohnungsbestand im Zeitvergleich. Deutschland (Stand: 28. Juli 2023). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/liste-wohnungsbestand.html#115202> (29.05.2024).

Destatis (2024c): Internetseite. Qualität der Arbeit: Erwerbstätige, die von zu Hause aus arbeiten. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-3/home-office.html> (01.11.2024).

Destatis (2024d): Pressemitteilung. Flugverkehr Januar bis Oktober 2023: Gut ein Fünftel aller Starts hatten ein innerdeutsches Ziel. Pressemitteilung Nr. N001 vom 4. Januar 2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/01/PD24_N001_464.html (03.12.2024).

Destatis (2024e): Tabelle. 12111-0001 Bevölkerung (Zensus): Deutschland, Stichtag, Nationalität, Geschlecht 2023. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=12111-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1712216257058#abreadcrumb> (04.04.2024).

Destatis (2024f): Tabelle. 31231-0001. Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden, Wohnfläche, Räume: Deutschland, Stichtag. Stand. 29.10.2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=31231-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1730197860633#abreadcrumb> (06.11.2024).

Destatis (2024g): Tabelle. 42251-0001. Beschäftigte, Umsatz, Produktionswert und Wertschöpfung der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (2-/3-/4-Steller). Stand: 02.12.2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/42251-0001/search/s/NDIyNTEtMDAwMQ==> (04.12.2024).

Destatis (2024h): Tabelle. 61111-0004. Verbraucherpreisindex: Deutschland, Monate, Klassifikation der Verwendungszwecke des Individualkonsums (COICOP 2-5-Steller Hierarchie). Stand: 01.12.2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/61111-0004/search/s/NjExMTEtMDAwNA==> (04.12.2024).

Destatis (2024i): Tabelle. 81000-0001: VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre (Stand 2023). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=81000-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1666791247971#abreadcrumb> (04.04.2024).

Destatis (2024j): Tabelle. 81000-0025. VGR des Bundes - Bruttoanlageinvestitionen des Staates und der nichtstaatlichen Sektoren (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre. Stand: 05.11.2024 Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/81000-0025/search/s/ODEwMDAtMDAyNQ==> (11.11.2024).

Destatis (2024k): Tabelle. 81000-0033. VGR des Bundes - Deflatoren: Deutschland, Jahre, Verwendung des Bruttoinlandsprodukts. Stand: 02.01.2025. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/81000/table/81000-0033> (06.01.2025).

Destatis (2024l): Tabelle. 81000-0103. VGR des Bundes - Produktionswert einschließlich Handelsware (nominal): Deutschland, Jahre, Wirtschaftsbereiche. Stand: 05.11.2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/81000-0103/search/s/ODEwMDAtMDEwMw==> (11.11.2024).

Destatis (2023a): Pressemitteilung. 43,4 Millionen Wohnungen in Deutschland zum Jahresende 2022. Pressemitteilung Nr. 297 vom 28. Juli 2023. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/07/PD23_297_31231.html#:~:text=WIESBADEN%20E2%80%93%20Zum%20Jahresende%202022%20gab,Wohnungen%20mehr%20als%20Ende%202021 (29.11.2024).

Destatis (2023b): Tabelle. 41312-0001. Haltungen mit Rindern: Deutschland, Stichmonat, Rinderkategorien. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=41312-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1709929415619#abreadcrumb> (08.03.2024).

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

Detsch, C. (2024): Des Klimas Gretchenfragen. Wie sich beim sozial-ökologischen Umbau gesellschaftliche Barrieren überwinden und skeptische Milieus an Bord holen lassen. - Internationaler Vergleich -. FES Just Climate. Hg. v. Friedrich-Ebert-Stiftung e. V. (FES). Online verfügbar unter: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/bruessel/21152-20240426.pdf> (04.12.2024).

Deutsch, K. G., Frisse, K., Kavelage, R., Mair, P., Pfeiffer, U. M., Richter, P., Rolle, C., Specht, W. (2024): Standort D mit Investitionen stärken. Programm für Infrastruktur, Transformation und Resilienz erforderlich. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI). Online verfügbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/standort-d-mit-investitionen-staerken> (04.11.2024).

Deutscher Bundestag (2024): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Victor Perli, Dr. Gesine Löttsch, Jörg Cezanne, weiterer Abgeordneter und der Gruppe Die Linke – Drucksache 20/11584 –. Übertragungsnetz für Strom – Käufe durch den Bund. Drucksache 20/12078, 27.06.2024. Hg. v. Deutscher Bundestag. Online verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/120/2012078.pdf> (06.11.2024).

- DLR, DIW, KBA (2023): Verkehr in Zahlen 2023/2024. 52. Jahrgang. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Online verfügbar unter: https://elib.dlr.de/202803/1/Verkehr%20in%20Zahlen%202023_2024_Download_final.pdf (30.10.2024).
- Döbbling-Hildebrandt, N., Miersch, K., Khanna, T. M., Bachelet, M., Bruns, S. B., Callaghan, M., Edenhofer, O., Flachsland, C., Forster, P. M., Kalkuhl, M., Koch, N., Lamb, W. F., Ohlendorf, N., Steckel, J. C., Minx, J. C. (2024): Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing. *Nature Communications* 15.
- Doll, C., Eichhammer, W., Fleiter, T., Jochem, E., Köhler, J., Peters, A., Sensfuss, F., Wietschel, M., Schade, W., Schmidt-Sercander, B., Matthes, F., Hansen, P., Roser, A., Reitze, F., Köwener, D., Ziesing, H.-J. (2012): Ermittlung der Klimaschutzwirkung des Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms der Bundesregierung IEKP und Vorschlag für ein Konzept zur kontinuierlichen Überprüfung der Klimaschutzwirkung des IEKP. Zusammenfassung. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-klimaschutzwirkung-des-integrierten-2> (28.10.2022).
- Donath, A. (2024): Artikel. Vollzeitbüro: Amazon erlaubt 0 Tage Homeoffice. Hg. v. Golem Media GmbH / Golem.de. Online verfügbar unter: <https://www.golem.de/news/vollzeitbuero-amazon-erlaubt-0-tage-homeoffice-2409-189029.html> (01.11.2024).
- Draghi, M. (2024): The future of European competitiveness. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead_en#paragraph_47059 (20.01.2025).
- Dullien, S., Iglesias, S. G., Hüther, M., Rietzler, K. (2024): Herausforderungen für die Schuldenbremse. Investitionsbedarfe in der Infrastruktur und für die Transformation. IMK Policy Brief Nr. 168, Mai 2024. Hg. v. Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung der Hans-Böckler-Stiftung (IMK). Online verfügbar unter: https://www.boeckler.de/pdf/p_imk_pb_168_2024.pdf (04.11.2024).
- Dunkelberg, E., Weiß, J. (2016): Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen. Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 4. Hg. v. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Projekt "Gebäude-Energiewende". Online verfügbar unter: https://www.gebaeude-energiewende.de/data/gebEner/user_upload/Dateien/GEW_Arbeitspapier_4_Oekobilanzierung.pdf (11.11.2024).
- Edenhofer, O., Franks, M., Kalkuhl, M., Runge-Metzger, A. (2024): On the Governance of Carbon Dioxide Removal - A Public Economics Perspective. *FinanzArchiv / Public Finance Analysis* 80 (1), S. 70-110.
- Edenhofer, O., Kosch, M., Pahle, M., Zachmann, G. (2021): A whole-economy carbon price for Europe and how to get there. *Policy Contribution* (06/21).
- EDGAR (2024): Internetseite. GHG emissions of all world countries. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024#data_download (08.11.2024).
- EEA (2024): Daten. CO2 emissions from new passenger cars. CO2 emissions from new passenger cars registered in EU27, Iceland (from 2018) and Norway (from 2019) – Regulation (EU) 2019/631. Stand: 27.05.2024. Hg. v. European Environment Agency (EEA). Online verfügbar unter: <https://co2cars.apps.eea.europa.eu/> (01.11.2024).
- EEA, Ember (2022): Preisentwicklung von CO₂-Emissionsrechten im europäischen Emissionshandel (EU-ETS) von 2005 bis 2021 (in Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent).
- EEG (2023): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BjNR106610014.html (12.04.2023).
- EIB (2023): Interaktive Grafik. Dissatisfaction with external finance received: EIBIS 2023 [Cross country: EU]. Hg. v. European Investment Bank (EIB). Online verfügbar unter: <https://data.eib.org/eibis/graph> (11.11.2024).
- EKM (2024): Policy Brief. Die Transformation beschleunigen: Wege für eine klimafreundliche Bestandsflotte 2030. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Online verfügbar unter: https://expertenbeirat-klimamobilitaet.de/media/pages/home/71d3cddf21-1730897563/ekm_policy-brief_wege-fur-eine-klimafreundliche-bestandsflotte-2030.pdf (12.11.2024).
- Emilsson, E., Dahllöf, L. (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production - Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. No. C 444. Hg. v. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. Online

- verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/339237011_Lithium-Ion_Vehicle_Battery_Production_Status_2019_on_Energy_Use_CO_2_Emissions_Use_of_Metals_Products_Environmental_Footprint_and_Recycling (18.10.2024).
- Endres, L. (2023): Verteilungswirkung der CO₂-Bepreisung in den Sektoren Verkehr und Wärme mit Pro-Kopf Klimageld. Ergebnisse einer Analyse der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe. IMK Policy Brief Nr. 161, Dezember 2023. Hg. v. Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung der Hans-Böckler-Stiftung (IMK). Online verfügbar unter: <https://www.imk-boeckler.de/de/faust-detail.htm?produkt=HBS-008757> (18.10.2024).
- EnEfG (2023): Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz - EnEfG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/eneffg/EnEfG.pdf> (01.11.2024).
- Enquete-Kommission (2013): Schlussbericht der Enquete-Kommission "Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität - Wege zu nachhaltigem Wirtschaften und gesellschaftlichem Fortschritt in der Sozialen Marktwirtschaft". Drucksache 17/1330, 03.05.2013. (bpb-)Schriftenreihe Band 1419. Sonderausgabe für die Bundeszentrale für politische Bildung. Hg. v. Deutscher Bundestag. Online verfügbar unter: <https://www.bpb.de/shop/buecher/schriftenreihe/175745/schlussbericht-der-enquete-kommission/> (24.01.2025).
- ERK (2024a): Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024. Sondergutachten gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).
- ERK (2024b): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).
- ERK (2024c): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).
- ERK (2023a): Prüfbericht zu den Sofortprogrammen 2023 für den Gebäude- und Verkehrssektor. Prüfung der den Maßnahmen zugrundeliegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).
- ERK (2023b): Prüfbericht zur Emissionsberechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022 Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).
- ERK (2023c): Stellungnahme zum Entwurf eines Klimaschutzprogramms 2023. Stellungnahme zu den zugrunde liegenden Annahmen der Treibhausgasreduktion des Klimaschutzprogramms nach § 12 Abs. 3 (3). Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).
- ERK (2022a): Prüfbericht zu den Sofortprogrammen 2022 für den Gebäude- und Verkehrssektor. Prüfung der den Maßnahmen zugrundeliegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/08/ERK2022_Pruefbericht-Sofortprogramme-Gebaeude-Verkehr.pdf (28.10.2022).
- ERK (2022b): Prüfbericht zur Emissionsberechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021 - Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/05/ERK2022_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2021.pdf (19.08.2022).
- ERK (2022c): Zweijahresgutachten 2022. Gutachten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsmengen und zur Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz). Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/11/ERK2022_Zweijahresgutachten.pdf (07.03.2023).
- ERK (2021a): Bericht zum Sofortprogramm 2020 für den Gebäudesektor. Prüfung der Annahmen des Sofortprogramms gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de/publikationen/>.
- ERK (2021b): Bericht zur Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: <https://www.expertenrat-klima.de/publikationen/> (08.04.2022).
- ESABCC (2024): Towards EU Climate Neutrality: Progress, Policy Gaps, and Opportunities. Assessment Report 2024. Hg. v. European Scientific Advisory Board on Climate Change (ESABCC). Online verfügbar unter: <https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and->

[publications/towards-eu-climate-neutrality-progress-policy-gaps-and-opportunities/esabcc_report_towards-eu-climate-neutrality.pdf/@download/file](#) (21.10.2024).

ESABCC (2023): Towards a decarbonised and climate-resilient EU energy infrastructure - Recommendations on a harmonised EU energy system-wide cost-benefit analysis. Hg. v. European Scientific Advisory Board on Climate Change (ESABCC). Online verfügbar unter: <https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/towards-a-decarbonised-and-climate-resilient-eu-energy-infrastructure-recommendations-on-an-energy-system-wide-cost-benefit-analysis> (20.01.2025).

Europäische Kommission (2024a): Artikel. Winners of first EU-wide renewable hydrogen auction sign grant agreements, paving the way for new European production. Stand: 7 October 2024. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/winners-first-eu-wide-renewable-hydrogen-auction-sign-grant-agreements-paving-way-new-european-2024-10-07_en (04.12.2024).

Europäische Kommission (2024b): Internetseite. Fit for 55: Delivering on the proposals. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en (11.11.2024).

Europäische Kommission (2024c): Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR). PE/102/2023/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32024L1275> (01.11.2024).

Europäische Kommission (2024d): Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG (Text von Bedeutung für den EWR). PE/106/2023/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781> (31.10.2024).

Europäische Kommission (2024e): Verordnung (EU) 2024/1991 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Juni 2024 über die Wiederherstellung der Natur und zur Änderung der Verordnung (EU) 2022/869 (Text von Bedeutung für den EWR). PE/74/2023/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32024R1991> (06.11.2024).

Europäische Kommission (2023a): Richtlinie (EU) 2023/959 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union und des Beschlusses (EU) 2015/1814 über die Einrichtung und Anwendung einer Marktstabilitätsreserve für das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union (Text von Bedeutung für den EWR). PE/9/2023/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L0959> (28.05.2024).

Europäische Kommission (2023b): Richtlinie (EU) 2023/1791 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/955 (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR). PE/15/2023/INIT. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32023L1791> (22.10.2024).

Europäische Kommission (2023c): Verordnung (EU) 2023/839 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. April 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/841 hinsichtlich des Geltungsbereichs, der Vereinfachung der Berichterstattungs- und Compliance-Vorschriften und der Festlegung der Zielvorgaben der Mitgliedstaaten für 2030 sowie zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 hinsichtlich der Verbesserung der Überwachung, der Berichterstattung, der Verfolgung der Fortschritte und der Überprüfung (Text von Bedeutung für den EWR). PE/75/2022/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0839> (01.11.2024).

Europäische Kommission (2023d): Verordnung (EU) 2023/857 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. April 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0857> (24.05.2024).

Europäische Kommission (2023e): Verordnung (EU) 2023/955 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 zur Einrichtung eines Klima-Sozialfonds und zur Änderung der Verordnung (EU) 2021/1060. PE/11/2023/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32023R0955> (22.10.2024).

Europäische Kommission (2023f): Verordnung (EU) 2023/956 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 zur Schaffung eines CO₂-Grenzausgleichssystems (Text von Bedeutung für den EWR). PE/7/2023/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0956&qid=1685455175202> (05.11.2024).

Europäische Kommission (2021a): COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. IMPACT ASSESSMENT REPORT Accompanying the document DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757. SWD/2021/601 final. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021SC0601> (15.10.2024).

Europäische Kommission (2021b): Daten. Update of benchmark values for the years 2021 – 2025 of phase 4 of the EU ETS. Benchmark curves and key parameters. Updated final version issued on 12 October 2021. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-10/policy_ets_allowances_bm_curve_factsheets_en.pdf (25.10.2024).

Europäische Kommission (2018): Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 94/22/EG, 98/70/EG, 2009/31/EG, 2009/73/EG, 2010/31/EU, 2012/27/EU und 2013/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2009/119/EG und (EU) 2015/652 des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates (Text von Bedeutung für den EWR.). PE/55/2018/REV/1. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1999> (08.11.2024).

EWI (2024a): Illustrative Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands. Szenariobasierte Analyse bis 2044. EWI-Analyse. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/12/EWI-2024-illustrative-Entwicklungspfade-des-Gebaeude-und-Heizungsbestands-%E2%80%93-Szenariobasierte-Analyse-bis-2044.pdf> (03.01.2025).

EWI (2024b): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2025 bis 2029. EWI-Gutachten. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/10/240927_EEG_Mittelfristprognose_2024_sent.pdf (06.11.2024).

EWI (2022): Präsentation. Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen. Eine Analyse anhand exemplarischer Einfamilienhäuser. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/10/20221007_EWI_Analyse_Wirtschaftlichkeit_von_Sanierungsmassnahmen_Endbericht.pdf (21.01.2025).

EWI, ef.Ruhr (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Gutachterbericht, Oktober 2021 (Aktualisierte Fassung vom März 2022). Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Online verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/dena-ls2/> (05.11.2024).

Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring (2024): Monitoringbericht. Hg. v. Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring. Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-expertenkommission-zum-energiewende-monitoring.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (04.12.2024).

EY, BDEW (2024): Präsentation. Fortschrittsmonitor 2024. Energiewende. Hg. v. EY Deutschland GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (EY). Online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/fortschrittsmonitor-energiewende-2024/> (05.11.2024).

Faas, T., Huesmann, C. (2017): Die Bürgerbeteiligung zum Klimaschutzplan 2050. Ergebnisse der Evaluation. Hg. v. Bertelsmann Stiftung (BSt). Online verfügbar unter: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/188-2017_BST_Endbericht_Klimaschutzplan_2050_Druckfreigabe.pdf (20.01.2025).

Falck, O., Czernich, N., Koenen, J. (2021): ifo Studie. Auswirkungen der vermehrten Produktion elektrisch betriebener Pkw auf die Beschäftigung in Deutschland. Studie im Auftrag des Verbands der Automobilindustrie (VDA). Hg. v. Institut für Wirtschaftsforschung (ifo Institut), ifo Zentrum für Industrieökonomik und neue Technologien. Online verfügbar unter: https://www.ifo.de/DocDL/ifoStudie-2021_Elektromobilitaet-Beschaeftigung.pdf (03.12.2024).

fFe (2024): Artikel. Info: Novelle der Förderrichtlinien zur Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz (EEW). Angepasste Förderbedingungen für EEW-Zuschuss und Kredite, sowie höhere Fördersummen pro Vorhaben. Stand: 21.02.2024. Hg. v.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FFE). Online verfügbar unter: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/eew-foerderrichtlinie/> (03.12.2024).

Fiedler, S., Peiseler, F., Maier, M., Cludius, J., Graichen, J., Schumacher, K., Healy, S. (2024): CO₂-Preis in Deutschland. Umsetzung des ETS II und des Klima-Sozialfonds in Deutschland. Studie 2/2024 Hg. v. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e. V. (FÖS) und Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: https://www.klima-allianz.de/fileadmin/user_upload/2024/2024-02_KAD_ETS2-KSF-final.pdf (31.10.2024).

Fischer, A., Bakalis, D., Schaefer, T., Schmitz, E. (2023): Standortvorteil Erneuerbare Energien?. Die Bedeutung der Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien als Standortfaktor in Deutschland. Studie. Hg. v. Energy and Climate Policy and Innovation Council e. V. (EPICO Klimainnovation), Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW), Stiftung Klimawirtschaft. Online verfügbar unter: https://klimawirtschaft.org/wp-content/uploads/2023/07/Standortvorteil-Erneuerbare-Energien_Endbericht-1.pdf (20.01.2025).

Fischer, C., Griebhammer, R., Barth, R., Brohmann, B., Brunn, C., Heyen, D. A., Keimeyer, F., Wolff, F. (2013): Mehr als nur weniger. Suffizienz: Begriff, Begründung und Potenziale. Öko-Institut Working Paper 2/2013. Hg. v. Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/oekodoc/1836/2013-505-de.pdf> (28.10.2024).

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

Flachsland, C., Edenhofer, J., Zwar, C. (2024): Blogartikel. Eine vertane Chance, aber keine Katastrophe: Die Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes. verfassungsblog.de, 06.05.2024. Hg. v. Max Steinbeis Verfassungsblog gGmbH. Online verfügbar unter: <https://verfassungsblog.de/novelle-bundesklimaschutzgesetz/> (29.05.2024).

Flaute, M., Reuschel, S., Stöver, B. (2022): Volkswirtschaftliche Folgekosten durch Klimawandel: Szenarioanalyse bis 2050. Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland. GWS Research Report 2022/02. Hg. v. Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung mbh (GWS mbH). Online verfügbar unter: <https://www.gws-os.com/de/publikationen/alle-publikationen/detail/volkswirtschaftliche-folgekosten-durch-klimawandel-szenarioanalyse-bis-2050> (05.11.2024).

Fleiter, T., Rehfeldt, M., Hirzel, S., Neusel, L., Aydemir, A., Schwotzer, C., Kaiser, F., Gondorf, C., Hauch, J., Hof, J., Sankowski, L., Langhorst, M. (2023): CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung. Umbau des industriellen Anlagenparks im Rahmen der Energiewende: Ermittlung des aktuellen SdT und des weiteren Handlungsbedarfs zum Einsatz strombasierter Prozesswärmeanlagen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/co2-neutrale-prozesswaermeerzeugung> (06.11.2024).

Flipo, A., Alexander-Haw, A., Breucker, F., Dütschke, E. (2024): Who is sufficient, and why? A mixed-methods approach to the social determinants of sufficiency lifestyles in the pursuit of decarbonisation. Consumption and Society Early View, S. 1–19.

Fluchs, S., Neligan, A., Wendland, F. (2022): Klimaschutzinvestitionen. Begriffsbestimmung und Datengrundlage. IW-Gutachten. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW). Online verfügbar unter: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2022/IW-Gutachten_2022-Klimaschutzinvestitionen.pdf (31.10.2024).

Follmer, R., Gruschwitz, D. (2019): Mobilität in Deutschland - MiD Kurzreport. Verkehrsaufkommen, Struktur, Trends. Ausgabe September 2019. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). Online verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-2017-kurzreport.pdf?__blob=publicationFile#:~:text=CA%AF%20Der%20durchschnittliche%20Pkw%20DBesetzungsgrad,ein%20Prozentpunkt%20mehr%20als%202008 (04.12.2024).

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

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

Fraunhofer ISI, Consentec, TU Berlin, ifeu (2021): Langfristszenarien 3 – Wissenschaftliche Analysen für die Dekarbonisierung Deutschlands Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Online verfügbar unter: <https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/szenario-explorer/> (27.10.2022).

Fraunhofer ISI, ifeu, Prognos AG, Stiftung Umweltenergierecht (2020): Methodikleitfaden für Evaluationen von Energieeffizienzmaßnahmen des BMWi. (Projekt Nr. 63/15 – Aufstockung). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Online verfügbar unter: https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/methodik-leitfaden-fuer-evaluationen-von-energieeffizienzmassnahmen.pdf?__blob=publicationFile (03.11.2022).

Fraunhofer ISI, Technopolis (2024): Evaluation der "Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus)" (unveröffentlicht).

Fraunhofer, I. S. I., Prognos, A. G., Öko, I. (2021): Methodikpapier zur ex-ante Abschätzung der Energie- und THG-Minderungswirkung von energie- und klimaschutzpolitischen Maßnahmen. Kurzpapier im Rahmen des Vorhabens «Energie- und Klimaschutzprojektionen 2035/2050». BMWi.

Frey, K., Burger, A., Dziekan, K., Bunge, C., Lünenbürger, B. (2020): Verkehrswende für ALLE. So erreichen wir eine sozial gerechtere und umweltverträglichere Mobilität. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/verkehrswende-fuer-alle> (06.11.2024).

Fritz, D., Heinfellner, H., Lambert, S. (2023): Rohstoffe der Elektromobilität. Kurzstudie zur Analyse derzeitiger und möglicher künftiger Rohstoffabhängigkeiten von Elektrofahrzeugen. Hg. v. Umweltbundesamt GmbH (Umweltbundesamt Österreich). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0850.pdf> (11.11.2024).

GCP (2025): Interaktive Grafik. Global Carbon Atlas. Hg. v. Global Carbon Project (GCP). Online verfügbar unter: <https://globalcarbonatlas.org/> (21.01.2025).

GEG (2024): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG).

Gerres, T., Linares, P. (2020): Policy Brief. Carbon Contracts for Differences: their role in European industrial decarbonization. Hg. v. Climate Strategies, Climate Friendly Materials Platform (CFM). Online verfügbar unter: https://climatestrategies.org/wp-content/uploads/2021/03/Carbon-Contracts_CFMP-Policy-Brief-2020.pdf (06.11.2024).

GFI Europe (2023): Deutschland: Entwicklung des Marktes für pflanzliche Lebensmittel im Einzelhandel. 2020-2022. Hg. v. Good Food Institute Europe (GFI Europe). Online verfügbar unter: <https://gfieurope.org/wp-content/uploads/2023/03/Marktentwicklung-Plantbased-in-Deutschland-2020-2020-DE.pdf> (28.10.2024).

Gnann, T., Speth, D., Krail, M., Wietschel, M. (2024): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. T45-Szenarien. Modul Verkehr. Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Online verfügbar unter: https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45_Verkehr_V2_0_barrierefrei.pdf (28.10.2024).

Görlach, B., Jakob, M., Umpfenbach, K., Kosch, M., Pahle, M., Konc, T., Moore, N. a. d., Brehm, J., Feindt, S., Pause, F., Nysten, J., Abrell, J. (2022): A Fair and Solidarity-based EU Emissions Trading System for Buildings and Road Transport. Ariadne-Report. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: https://ariadneprojekt.de/media/2022/06/Ariadne-Report_ETS2-SCF_June2022.pdf (04.12.2024).

Gouvernement de la République française (2023): Plan de Sobriété Énergétique. La mobilisation se poursuit. Acte 2. Hg. v. Ministre de la Transition énergétique. Online verfügbar unter: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/22152_Plan-sobriete_DP-2023-if-2.pdf (05.11.2024).

Gouvernement de la République française (2010): LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement. Hg. v. Secrétariat général du Gouvernement (SGG). Online verfügbar unter: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022470434> (11.11.2024).

Graichen, J., Ludig, S. (2024): Supply and demand in the ETS 2. Assessment of the new EU ETS for road transport, buildings and other sectors. Interim Report. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/09_2024_cc_ets_2_supply_and_demand.pdf (29.05.2024).

Grubb, M., Jordan, N. D., Hertwich, E., Neuhoff, K., Das, K., Bandyopadhyay, K. R., Asselt, H. v., Sato, M., Wang, R., Pizer, W. A., Oh, H. (2022): Carbon Leakage, Consumption, and Trade. *Annual Review of Environment and Resources* 47, S. 753-795.

Günther, C., Pahle, M., Govorukha, K., Osorio, S., Fotiou, T. (2024): Carbon prices on the rise? Shedding light on the emerging EU ETS2. Hg. v. Elsevier Inc., Social Science Research Network (SSRN). Online verfügbar unter: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4808605 (11.10.2024).

Haan, P., Santonja, A., Zaklan, A. (2023): Effectiveness and Heterogeneous Effects of Purchase Grants for Electric Vehicles: Evidence from Germany (unveröffentlicht, akzeptiert). *Environmental and Resource Economics*.

Hagemeyer, L., Faus, R., Bernhard, L. (2024): Vertrauensfrage Klimaschutz. Mehrheiten für eine ambitionierte Klimapolitik gewinnen. FES diskurs, Januar 2024. Hg. v. Friedrich-Ebert-Stiftung e. V. (FES). Online verfügbar unter: <https://collections.fes.de/publikationen/content/titleinfo/450628> (04.12.2024).

Harthan, R. O., Förster, H., Borkowski, K., Braungardt, S., Bürger, V., Cook, V., Emele, L., Görz, W. K., Hennenberg, K., Jansen, L. L., Jörß, W., Kasten, P., Loreck, C., Ludig, S., Matthes, F. C., Mendelevitch, R., Moosmann, L., Nissen, C., Repenning, J., Scheffler, M., Bei der Wieden, M., Wiegmann, K., Brugger, H., Fleiter, T., Mandel, T., Rehfeldt, M., Rohde, C., Fritz, M., Yu, S., Deurer, J., Steinbach, J., Osterburg, B., Fuß, R., Rock, J., Rüter, S., Adam, S., Dunger, K., Gensior, A., Rösemann, C., Stümer, W., Tiemeyer, B., Vos, C. (2024): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen_technischer_anhang_0.pdf (01.11.2024).

Haywood, L., Jakob, M. (2023): The role of the emissions trading scheme 2 in the policy mix to decarbonize road transport in the European Union. *Transport Policy* 139, S. 99-108.

HBS (2014): Fiskalpolitik. Investitionen wirksamer als Steuersenkung. Böckler Impuls 7/2014. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung (HBS). Online verfügbar unter: https://www.boeckler.de/data/impuls_2014_07_3.pdf (24.01.2025).

Heilmann, F., Gerresheim, N., Henze, L., Huwe, V., Ortego, A. K., Krahé, M., Mölling, C., Schulte, S., Schulz, S., Schuster, F., Sigl-Glöckner, P., Steinwart, J., Steitz, J. (2024): Was kostet eine sichere, lebenswerte und nachhaltige Zukunft?. Öffentliche Finanzbedarfe für die Modernisierung Deutschlands. DZ-Hintergrundpapier. Hg. v. Dezernat Zukunft - Institut für Makrofinanzen. Online verfügbar unter: <https://dezernatzukunft.org/wp-content/uploads/2024/10/Dezernat-Zukunft-2024-Was-kostet-eine-sichere-lebenswerte-und-nachhaltige-Zukunft.pdf> (04.11.2024).

Held, B. (2022): Verteilungswirkungen einer CO₂-Bepreisung in Gegenwart und Zukunft. *Ökologisches Wirtschaften - Fachzeitschrift* 37 (1), S. 35-40.

Held, B., Leisinger, C., Runkel, M. (2022): Assessment of the EU Commission's Proposal on an EU ETS for buildings & road transport (EU ETS 2). Criteria for an effective and socially just EU ETS 2. Report 1/2022. Hg. v. CAN-Europe, Germanwatch, Klima-Allianz Deutschland e.V., WWF Deutschland. Online verfügbar unter: https://www.klima-allianz.de/fileadmin/user_upload/2021_und_aelter/2022-01_Study-Assessment-EU-ETS2.pdf (18.10.2024).

Helferich, M., Tröger, J., Dütschke, E. (2024): Deutschlandticket - Impulsgeber für nachhaltige Mobilität? Ergebnisse aus der MobilKULT-Panelstudie zu Mobilitätsgewohnheiten. *Internationales Verkehrswesen* 76 (2), S. 30-36.

Hellwagner, T., Söhnlein, D., Weber, E. (2023): Modeling Migration Dynamics in Stochastic Labor Supply Forecasting. IAB-Discussion Paper 5/2023. Hg. v. Institute for Employment Research of the Federal Employment Agency (IAB). Online verfügbar unter: <https://doku.iab.de/discussionpapers/2023/dp0523.pdf> (06.01.2024).

Hengstler, J., Russ, M., Stoffregen, A., Hendrich, A., Weidner, S., Held, M., Briem, A.-K. (2021): Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaik.pdf (31.10.2024).

Hennicke, P., Koska, T., Rasch, J., Reutter, O., Seifried, D. (2021): Buch. Nachhaltige Mobilität für alle. Ein Plädoyer für mehr Verkehrsgerechtigkeit. Hg. v. Gesellschaft für ökologische Kommunikation mit beschränkter Haftung (oekom).

- Heyen, D. A. (2021): Soziale Wirkungen von Umweltpolitik. Konzeptionelle Fragen, empirischer Forschungsstand und weiterer Forschungsbedarf. Teilbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/sozup_ap_2-1_bericht_21.10.2021.pdf (04.12.2024).
- High-Level Commission on Carbon Prices (2017): Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Hg. v. International Bank for Reconstruction and Development and International Development Association (The World Bank). Online verfügbar unter: https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53decccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf (01.11.2022).
- Hille, C., Gather, M. (2022): Ergebnisbericht. „Das 9-Euro-Ticket hat mir gezeigt, dass man nicht alleine sein muss.“ – Mit dem 9-Euro-Ticket zu mehr sozialer Teilhabe?. Ergebnisse einer Befragung von einkommensschwachen Haushalten zur Wirkung des 9-Euro-Tickets auf das Mobilitätsverhalten und ausgewählte Dimensionen der sozialen Teilhabe. Berichte des Instituts Verkehr und Raum, Band 29 (2022). Hg. v. Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt (FH Erfurt - IVR). Online verfügbar unter: https://www.fn-erfurt.de/fileadmin/Dokumente/IVR/IVR_Schriftenreihe/Band_29_final/IVR_Band_29_9EuroTicket.pdf (01.11.2024).
- Hintermann, B. (2016): Pass-Through of CO2 Emission Costs to Hourly Electricity Prices in Germany. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists 3 (4).
- Hirzel, S. (2020): Buch. Energiekompendium. Ein Nachschlagewerk für Grundbegriffe, Konzepte und Technologien. 2., unveränderte Aufl.: Hg. v. Fraunhofer IRB Verlag.
- Hohlfeld, P., Theobald, T. (2024): Ökonomische Trends. Die deutsche Konjunktur seit 2020 und die strukturelle Schwäche der Industrie. Wirtschaftsdienst 104 (9), S. 651–654.
- Holm, A., Sprengard, C. (2024): Auswirkungen der Marktpreisbildung für CO2 des Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) und europäischen Emissionshandels für Brennstoffe (EU-ETS 2) ab 2027 auf Gebäudeeigentümer und Mieter. Hg. v. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München). Online verfügbar unter: <https://www.buveg.de/wp-content/uploads/2024/09/2024-09-17-FIW-BUVEG-Auswirkungen-Marktpreisbildung-ETS2-.pdf> (01.11.2024).
- Holzmann, S., Wolf, I. (2023): Klimapolitik und soziale Gerechtigkeit: Wie die deutsche Bevölkerung Zielkonflikte in der Transformation wahrnimmt. Hg. v. Bertelsmann Stiftung (BSt). Online verfügbar unter: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/klimapolitik-und-soziale-gerechtigkeit#:~:text=Deutschland%20will%20bis%202045%20klimaneutral%20sein.%20Ohne%20den> (25.10.2024).
- Hoor, M. (2020): Mobilitätskulturen. Über die Notwendigkeit einer kulturellen Perspektive der integrierten Verkehrsplanung. IVP-Discussion Paper. Hg. v. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung (TU Berlin). Online verfügbar unter: https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10002265/Discussion_Paper/DP14_Mobilitaetskulturen_Hoor.pdf (03.01.2025).
- Hülsbergen, K.-J., Schmid, H., Chmelikova, L., Rahmann, G., Paulsen, H. M., Köpke, U. (2023): Umwelt- und Klimawirkungen des ökologischen Landbaus. Weihenstephaner Schriften Ökologischer Landbau und Pflanzenbausysteme Band 16. Hg. v. Kurt-Jürgen Hülsbergen (Verlag Dr. Köster). Online verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065968.pdf (28.10.2024).
- Huwe, V., Gessner, J. (2020): Are there Rebound Effects from Electric Vehicle Adoption? Evidence from German Household Data. ZEW - Centre for European Economic Research Discussion Paper No. 20-048, 10/2020. Hg. v. Elsevier Inc., Leibniz Centre for European Economic Research (ZEW). Online verfügbar unter: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3711321> (29.11.2024).
- Icha, P., Lauf, T. (2024): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/23_2024_cc_strommix_11_2024.pdf (21.01.2025).
- IEA (2024): Global EV Outlook 2024. Moving towards increased affordability. Hg. v. International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (04.12.2024).
- IEA (2023a): Energy Efficiency: The Decade for Action. The IEA's 8th Annual Global Conference on Energy Efficiency. Hg. v. International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-the-decade-for-action> (11.11.2024).
- IEA (2023b): Net Zero Roadmap. A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. 2023 Update. Hg. v. International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf (30.10.2024).

IEA (2021): Präsentation. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report (Revised version, March 2022). Hg. v. International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions_f262b91c-en (04.12.2024).

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

infas (2024): Internetseite. Evaluation Deutschlandticket. Hg. v. Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (infas). Online verfügbar unter: <https://www.infas.de/erhebungen/evaluation-deutschlandticket/> (11.11.2024).

Innovation Fund Expert Group (2023): Präsentation. Innovation Fund. Innovation Fund Expert Group - 1st Meeting after renewal, 23 March 2023. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter: https://climate.ec.europa.eu/document/download/e51cbc63-c081-4039-8119-3d1d4e210f4b_en?filename=2023-03-29_IFEG_ppt_FINAL.pdf (06.11.2024).

International Carbon Action Partnership (ICAP) (2023): Interaktive Grafik. ICAP Allowance Price Explorer. Hg. v. adelphi consult GmbH (adelphi). Online verfügbar unter: <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> (14.03.2024).

IPCC (2022): Kapitel. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Sammelwerk, S. 3-33. Hg. v. Cambridge University Press. Online verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf (28.10.2024).

IPCC (2019): Kapitel. Glossary. In: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Sammelwerk, S. G1-G19. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Online verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_02_Glossary.pdf (03.01.2025).

Jost, P., Mack, M., Hillje, J. (2024): Studie. Aufgeheizte Debatte?. Eine Analyse der Berichterstattung über das Heizungsgesetz- und was wir politisch daraus lernen können. Hg. v. Das Progressive Zentrum e. V (Das Progressive Zentrum, DPZ). Online verfügbar unter: https://www.progressives-zentrum.org/wp-content/uploads/2024/04/240418_DPZ_Studie_Aufgeheizte-Debatte.pdf (22.10.2024).

Kaestner, K., Burkhardt, A., Püttbach, K., Sommer, S., Blesl, M. (2023a): Langfristige Verteilungswirkungen einer CO₂-Bepreisung - ein neuartiger modelltechnischer Ansatz. Ariadne-Analyse. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.48485/pik.2023.014> (18.10.2024).

Kaestner, K., Kruse, L., Schwarz, A., Sommer, S. (2023b): Der CO₂-Preis in Deutschland: Möglichkeiten der Rückverteilung und Verteilungswirkungen. RWI Materialien No. 158. Hg. v. Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (RWI). Online verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/281197/1/1878477064.pdf> (18.10.2024).

KBA (2024a): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen (FZ 27). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html (28.10.2024).

KBA (2024b): Daten. Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, 1. Januar 2024 (FZ 13). Stand: Mai 2024. Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz13_b_uebersicht.html (03.12.2024).

KBA (2024c): Internetseite. Monatliche Neuzulassungen. Kraftfahrzeuge mit alternativem Antrieb (FZ 28). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz28/fz28_gentab.html (14.03.2024).

KBA (2024d): Neuzulassungen von Personenkraftwagen im Jahr 2023 nach ausgewählten Haltergruppen sowie nach ausgewählten Kraftstoffarten bzw. Energiequellen (unveröffentlicht). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA).

KBA (2024e): Qualitätsbericht Verkehr in Kilometern (VK). Inländerfahrleistung. Version: V 1.0, Stand: Juni 2024. Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/vk_methodik/vk_qualitaetsbericht_202406_pdf.pdf?_blob=publicationFile&v=11 (04.12.2024).

KBA (2023): Daten. Bestand nach ausgewählten Merkmalen (FZ 27). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen (FZ 27). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html (27.03.2023).

Kellner, M., Rütten, K., Callaghan, M., Kögel, N., Kalkuhl, M., Knopf, B., Edenhofer, O. (2023): Systematische Verteilungsanalyse zur Wärmewende: Welche Haushalte tragen die Kosten und wie kann die Entlastung aussehen?. Hg. v. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change gGmbH (MCC). Online verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2023_MCC_Systematische_Verteilungsanalyse_zur_Waermewende.pdf.pdf (25.10.2024).

Kemmler, A., Ziegenhagen, I., Piégsa, A., Auf der Maur, A., Kirchner, A. (2024): Präsentation. Klimaschutzinvestitionen für die Transformation des Energiesystems nach Sektoren und Anwendungen. Stand: 18.07.2024. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: <https://www.prognos.com/sites/default/files/2024-07/Klimaschtzinvestitionen-Prognos-2024-07-18.pdf> (01.11.2024).

Kenkmann, T., Cludius, J., Hünecke, K., Schumacher, K., Stieß, I., Friedrich, T., Nitschke, L., Raschewski, L., Meemken, S., Beermann, A.-C. (2024): Soziale Aspekte von Umweltpolitik im Bedürfnisfeld Wohnen. Status quo: Gesellschaftliche Trends und bestehendes Instrumentarium. Teilbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://foes.de/publikationen/2024/2024-03_UBA_soziale_aspekte_Umweltpolitik.pdf (29.11.2024).

KfW (2024): Internetseite. Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Worst Performing Building (WPB) – die neue Gebäudekategorie. Hg. v. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Online verfügbar unter: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%3%b6rderung-f%3%bc3%bcr-effiziente-Geb%3%a4ude/Worst-Performing-Building-\(WPB\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%3%b6rderung-f%3%bc3%bcr-effiziente-Geb%3%a4ude/Worst-Performing-Building-(WPB)/) (22.10.2024).

Knoche, A., Kaestner, K., Frondel, M., Gerster, A., Henger, R., Milcetic, M., Oberst, C., Pahle, M., Schwarz, A., Singhal, P. (2024): Fokusreport Wärme und Wohnen: Zentrale Ergebnisse aus dem Ariadne Wärme- & Wohnen-Panel 2023. Ariadne-Report. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/waermepanel23/> (04.12.2024).

Knopf, B., Illenseer, N. (2023): Die Finanzierung der Transformation: Klimafonds, Klimageld und Kernhaushalt. Hg. v. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change gGmbH (MCC). Online verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2023_MCC_Die_Finanzierung_der_Transformation.pdf (08.03.2024).

Knopf, B., Verspohl, I., Schaffert, A., Zeller, M.-L. (2024): Eine sozial gerechte und klimaneutrale Zukunft sichern. 11 Thesen für eine Klimasozialpolitik. Hg. v. Zukunft KlimaSozial ZKS gGmbH (ZKS). Online verfügbar unter: https://zukunft-klimasozial.de/wp-content/uploads/2024/06/Zukunft-KlimaSozial_11-Thesen-fuer-eine-Klimasozialpolitik.pdf (31.10.2024).

KohleAusG (2022): Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (Bfj). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/kohleausg/KohleAusG.pdf> (01.11.2024).

Kölschbach Ortego, A., Steitz, J., Krahé, M. (2023): Artikel. Geldbrief. Über Unsicherheit, Investitionen und was der Staat tun kann. Stand: 7. Dezember 2023. Hg. v. Dezernat Zukunft - Institut für Makrofinanzen. Online verfügbar unter: <https://dezernatzukunft.org/en/ueber-unsicherheit-investitionen-und-was-der-staat-tun-kann/> (03.01.2025).

Kopernikus-Projekt Ariadne, Prognos, BCG, ISI, F., PIK (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: https://ariadneprojekt.de/media/2022/03/2022-03-16-Big5-Szenarienvergleich_final.pdf (01.11.2022).

Krämer, A., Mietzsch, O. (2024): Analysen. Zukunft Deutschlandticket: Verkehrswende, Finanzierung und wohlfahrtsökonomische Wirkung. Wirtschaftsdienst 104 (9), S. 636–643.

Krebs, T., Steitz, J. (2021): Öffentliche Finanzbedarfe für Klimainvestitionen im Zeitraum 2021-2030. Forum New Economy Working Papers, No. 03/2021. Hg. v. Forum for a New Economy. Online verfügbar unter: https://www.agora-energiawende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_09_Klimainvest2030/FNE_AEW_Klimainvest2030_WEB.pdf (04.11.2024).

Kübler, K. (2024): Energie und Wachstum: Der Blick auf das "Große Ganze". Energiewirtschaftliche Tagesfragen 74 (10), S. 20-25.

Kugoth, J. (2024): Artikel. Deutschlandticket. Forscher halten Ariadne-Studie für „nicht plausibel“. Tagesspiegel Background Verkehr und Smart Mobility, 14.10.2024 (lizenzierter Inhalt). Hg. v. Verlag Der Tagesspiegel GmbH (Tagesspiegel). Online verfügbar unter:

<https://background.tagesspiegel.de/verkehr-und-smart-mobility/briefing/forscher-halten-ariadne-studie-fuer-nicht-plausibel> (06.11.2024).

KVBG (2021): Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung* (Kohleverstromungsbeendigungsgesetz - KVBG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/kvbg/BjNR181810020.html> (12.04.2023).

Lage, J., Thema, J., Zell-Ziegler, C., Best, B., Cordroch, L., Wiese, F. (2023): Citizens call for sufficiency and regulation — A comparison of European citizen assemblies and National Energy and Climate Plans. *Energy Research & Social Science* 104.

Lehr, U., Flaute, M., Ahmann, L., Nieters, A., Hirschfeld, J., Welling, M., Wolff, C., Gall, A., Kersting, J., Mahlbacher, M., Möllendorff, C. v. (2020): Vertiefte ökonomische Analyse einzelner Politikinstrumente und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_11_27_cc_43_2020_politikinstrumente-klimaanpassung.pdf (04.12.2024).

Leuser, L., Pellerin-Carlin, T. (2022): Energy Sufficiency. The missing lever to tackle the energy crisis. *Energy & Climate Policy Brief*, May 2022. Hg. v. Jacques Delors Institute. Online verfügbar unter: https://institutdelors.eu/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022/05/PB_220513_Energy-Sufficiency-The-missing-lever-to-tackle-the-energy-crisis_Leuser_EN.pdf (28.10.2024).

Lilliestam, J., Patt, A., Bersalli, G. (2022): On the quality of emission reductions: observed effects of carbon pricing on investments, innovation, and operational shifts. A response to van den Bergh and Savin (2021). *Environmental and Resource Economics* 83, S. 733–758.

Loder, A., Cantner, F., Dahmen, V., Bogenberger, K. (2024): Germany's Newest Fare: The Deutschlandticket – First Insights on Funding and Travel Behavior (Initial Paper Submittal for presentation at the 103rd Annual Meeting Transportation Research Board (TRB Annual Meeting 2024)). Hg. v. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (The National Academies). Online verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://mediatum.ub.tum.de/download/1720096/1720096.pdf&ved=2ahUKewiGkvusxrGjAxXBgv0HHWG_FK0QFnoECBUQAQ&usq=AOvWaw1xG4FRSh8hm0B-WX9dtAFm (05.11.2024).

Lösch, O., Friedrichsen, N., Eckstein, J., Richstein, J. C. (2022): Carbon Contracts for Difference as essential instrument to decarbonize basic materials industries. European Council for an Energy Efficient Economy. In: Summer Study proceedings (ecee Summer Study proceedings) 2022, 9-218-22. Hg. v. European Council for an Energy Efficient Economy (ecee). Online verfügbar unter: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/b3a1949c-97f6-4d69-a37d-9cb2458fb03b/content> (25.11.2024).

Ludden, V., Laine, A.-M., Vondung, F., Koska, T., Suerkemper, F., Thomson, H., Houillon, B. (2024): Support for the implementation of the Social Climate Fund. Note on good practices for cost-effective measures and investments. Hg. v. Europäische Kommission (Directorate-General for Climate Action (DG CLIMA)). Online verfügbar unter: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/af68b4c7-3508-11ef-b441-01aa75ed71a1/language-en> (21.10.2024).

Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D. (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Ariadne-Report. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.48485/pik.2021.006> (27.10.2022).

Lüpke, H. v., Marchewitz, C., Neuhoff, K., Aebischer, C., Kröger, M. (2022): Carbon Contracts for Difference as an Instrument for Strengthening Climate Cooperation between Industrialized and Emerging Economies. *DIW Weekly Report* (38), S. 229-235.

M-Five, Fraunhofer ISI, TUHH, TRIMODE, FH W-S, PTV Group, TU Dresden, BBG und Partner (2023): Bewertung von Ausgestaltungs-Varianten des Deutschlandtickets für den ÖPNV - Kurzstudie.

Maestre-Andrés, S., Drews, S., Bergh, J. v. d. (2019): Perceived fairness and public acceptability of carbon pricing: a review of the literature. *Climate Policy* 19 (9), S. 1186-1204.

Malin, L., Jansen, A., Kutz, V. (2022): Energie aus Wind und Sonne. Welche Fachkräfte brauchen wir?. *Studie 03/2022*. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW Köln). Online verfügbar unter: <https://www.kofa.de/media/Publikationen/Studien/Solar-und-Windenergie.pdf> (11.11.2024).

Martin, S., Scott, J. T. (2000): The nature of innovation market failure and the design of public support for private innovation. *Research Policy* 29 (4-5), S. 437-447.

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

Matthes, F., Renn, O., Mendelevitch, R., Camier, C., Kiesow, T. (2021): Orientierungshilfe „Good Practice“ für Ex-Ante-Evaluierungen von Klimaschutzmaßnahmen. Freiburg/Potsdam/Berlin: WKSP.

McKinsey & Company (2024): Studie. Zukunftspfad Stromversorgung. Hg. v. McKinsey & Company, Inc. Online verfügbar unter: <https://www.mckinsey.de/news/presse/2024-01-19-zukunftspfad-stromversorgung> (03.04.2024).

Meemken, S., Peiseler, F., Runkel, M., Zerzawy, F., Limbers, J., Auf der Maur, A. (2023): Reform umweltschädlicher Subventionen: Auswirkungen auf Klima, Gesellschaft und Wirtschaft. Hg. v. Bertelsmann Stiftung (BSt). Online verfügbar unter: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/reform-umweltschaedlicher-subventionen> (25.10.2024).

Mellwig, P. (2024): Klimaschutz in Mietwohnungen: Modernisierungskosten fair verteilen. Kurzstudie zur Weiterentwicklung und Aktualisierung des "Drittelmodells". Hg. v. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu). Online verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/energie/wende/klimaschutz-in-mietwohnungen-studie-bund-2024.pdf (31.10.2024).

Meyer, R., Fuchs, N., Thomsen, J., Herkel, S., Kost, C. (2024): Heizkosten und Treibhausgasemissionen in Bestandswohngebäuden – Aktualisierung auf Basis der GEG-Novelle 2024. Ariadne-Analyse. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-heizkosten-und-treibhausgasemissionen-in-bestandswohngebauden/> (04.12.2024).

Michelsen, C., Junker, S. (2024): Wirtschaftspolitische Unsicherheit: Investitionen bleiben aus. MacroScope Pharma. Economic Policy Brief 11.24. Hg. v. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V. (vfa). Online verfügbar unter: <https://www.vfa.de/download/macroscope-2411.pdf> (03.01.2025).

Mobilitätsforum Bund (2023): Internetseite. Nationaler Radverkehrsplan. Datum: 09.03.2023. Hg. v. Bundesamt für Logistik und Mobilität (BALM). Online verfügbar unter: <https://www.mobilitaetsforum.bund.de/DE/Themen/NationalerRadverkehrsplan/nationaler-radverkehrsplan.html#:~:text=Der%20NRVP%203.0%20strebt%20mehr%2C%20besseren%20und%20sichereren,sich%20von%203%2C7%20Kilometern%20auf%206%2C0%20Kilometer%20erh%C3%B6hen> (28.10.2024).

Motzer, N., Hamel, C., Agola, D., Riedel, J., Wagner-Harl, N., Stein, H. (2024): Deutschlandticket: Treiber der Mobilitätswende?. Eine repräsentative Umfrage. Hg. v. Fraunhofer-Allianz Verkehr. Online verfügbar unter: <https://www.verkehr.fraunhofer.de/content/dam/verkehr/de/documents/people-mobility/Deutschlandticket-Studie-2024.pdf> (01.11.2024).

Müller, H. (2025): Artikel. Zahlen, bitte! Wirtschaftspolitik auf den Punkt gebracht. #5 Was bleibt von Deutschlands Industrie übrig?. Stand: 10.01.2025. Hg. v. Bundeszentrale für politische Bildung (bpb). Online verfügbar unter: <https://www.bpb.de/themen/wirtschaft/zahlenbitte/558268/5-was-bleibt-von-deutschlands-industrie-uebrig/> (24.01.2025).

Müller, M. (2024): Factsheet. Fachkräftemangel nimmt trotz Wirtschaftsflaute bei Teilen der Dienstleister und am Bau wieder zu. KfW Research: KfW-ifo-Fachkräftebarometer Dezember 2024. Stand: 9. Dezember 2024. Hg. v. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Online verfügbar unter: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-ifo-Fachkr%C3%A4ftebarometer/KfW-ifo-Fachkraeftebarometer_2024-12.pdf (06.01.2025).

Murray, C. K. (2013): What if consumers decided to all 'go green'? Environmental rebound effects from consumption decisions. *Energy Policy* 54, S. 240–256.

Neusel, L., Hirzel, S. (2023): Einsparberechnungen für Förderinstrumente. *Energie erklärt* Nr. 2, Oktober 2023. Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Online verfügbar unter: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/c27e9e85-dd60-4c4f-8515-b5ed5dc28225> (20.01.2025).

Neusel, L., Hirzel, S., Berger, C., Heinrich, S., Weinert, K., Grodeke, A.-M., Kulkarni, P., Radgen, P., Löwenstein, A., Schumacher, K., Nissen, C., Ludig, S., Hünecke, K. (2024): Evaluation der "Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft" (Zuschuss und Kredit/ Förderwettbewerb). Projekt für das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) - Referat 123 / Projekt BfEE 08/2020. Jahresbericht 2023. Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/241217-evaluation-eew-jahresbericht-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (20.01.2025).

Neusel, L., Hirzel, S., Berger, C., Schlomann, B., Heinrich, S., Weinert, K., Grodeke, A.-M., Radgen, P., Grundler, A. T. A., Schumacher, K., Nissen, C., Ludig, S. (2023): Evaluation der "Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft" (Zuschuss und Kredit/ Förderwettbewerb). Projekt für das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) - Referat 123 / Projekt BfEE 08/2020. Jahresbericht 2022. Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Online verfügbar unter: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/d35aa3b9-7317-4e14-aab5-879e1cd5f93c> (03.12.2024).

Noka, V., Cludius, J. (2021): Working Paper. Energy Vulnerability and Energy Poverty: Experience and Approaches in the EU. Öko-Institut Working Paper 9/2021. Hg. v. Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-EnergyVulnerability_EnergyPoverty.pdf (21.10.2024).

Obst, T., Stockhausen, M. (2023): Makroökonomische Analyse von Lohn-Preis-Spiralen. Risiken von Zweitrundeneffekten in der gegenwärtigen Hochinflationsphase. IW-Analysen 155. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW). Online verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/thomas-obst-maximilian-stockhausen-makrooekonomische-analyse-von-lohn-preis-spiralen.html> (04.12.2024).

Oehlmann, M., Linsenmeier, M., Kahlenborn, W., Lehr, U., Flaute, M., Büchele, R., Andrä, P. (2019): Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz (III): Gesamtwirtschaftliche Effekte einer investitionsorientierten Klimaschutzpolitik. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-07_texte_19-2019_chancen-klimaschutz_gesamtwirtschaftliche-effekte.pdf (28.10.2024).

Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2017-2021): Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms (2016-2020). Hg. v. Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/umsetzung-aktionsprogramm-klimaschutz-2020-begleitung-der-umsetzung-der-massnahmen-des-aktionsprogramms-1> (01.11.2022).

Osterburg, B. (2024): Kapitel. Nährstoffströme in der Landwirtschaft: Woher kommen wir? - Status quo und Ausblick in die Zukunft. In: Nährstoffkreisläufe schließen - effiziente Ressourcennutzung in der Landwirtschaft. KTBL-Tagung am 19. und 20. März 2024. Konferenzschrift, S. 25-33. Hg. v. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). Online verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen_2024/KTBL-Tage-2024/KTBL-Tage_2024.pdf (27.05.2024).

Osterburg, B., Ackermann, A., Böhm, J., Bösch, M., Dauber, J., de Witte, T., Elsasser, P., Erasmi, S., Gocht, A., Hansen, H., Heidecke, C., Klimek, S., Krämer, C., Kuhnert, H., Moldovan, A., Nieberg, H., Pahmeyer, C., Plaas, E., Rock, J., Röder, N., Söder, M., Tetteh, G., Tiemeyer, B., Tietz, A., Wegmann, J., Zinnbauer, M. (2023): Flächennutzung und Flächennutzungsansprüche in Deutschland. Thünen Working Paper 224. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut). Online verfügbar unter: <https://econpapers.repec.org/paper/agsjhimwp/338736.htm> (27.05.2024).

OVG Berlin-Brandenburg (2024): Urteil: Oberverwaltungsgericht (OVG) Berlin-Brandenburg in der Verwaltungsstreitsache OVG 11 A 31/22, 15.06.2024. Hg. v. Land Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Justiz und Verbraucherschutz, vertreten durch die Senatorin für Justiz und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter: <https://gesetze.berlin.de/bsbe/document/NJRE001587926> (24.01.2025).

Pahle, M. (2024): Die CO₂-Bepreisung im Umbruch. Was ist vom ETS₂ zu erwarten, was kann ein Klimageld leisten?. FES impuls. Hg. v. Friedrich-Ebert-Stiftung e. V. (FES). Online verfügbar unter: <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/21122.pdf> (24.05.2024).

Peiseler, F., Runkel, M., Collmer, F., Zahn, P. (2024): MIV und ÖPNV im Kostenvergleich. Einsparung gesellschaftlicher Kosten durch den öffentlichen Personennahverkehr. Studie 04/2024. Hg. v. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS). Online verfügbar unter: https://foes.de/publikationen/2024/2024-04_FOES_OEPNV.pdf (29.11.2024).

PIK (2024): Artikel. Planetare Grenzen als Schlüsselkonzept, um Risiken für das Erdsystem zu mindern. Datum: 08.11.2024. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK). Online verfügbar unter: <https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/planetare-grenzen-als-schlüsselkonzept-um-risiken-fuer-das-erdsystem-zu-mindern> (24.01.2025).

PIK (2022): Blogartikel. Emissions Trading for building and transport - new Ariadne analyses. Stand: 22.06.2022. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK). Online verfügbar unter: <https://www.pik-potsdam.de/en/news/latest-news/emissions-trading-for-building-and-transport-new-ariadne-analyses> (04.12.2024).

- PIK, Fraunhofer ISE, DLR-FK, DLR-VE, DLR-VF, Fraunhofer IEE, Fraunhofer IEG, Fraunhofer ISI, Helmholtz-Zentrum Hereon, IER, MCC, PSI, RWI (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Ariadne-Report. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-2045-szenarienreport/> (28.10.2024).
- Pisani-Ferry, J., Mahfouz, S. (2023): The Economic Implications of Climate Action. A Report to the French Prime Minister.: Hg. v. France Stratégie Online verfügbar unter: https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/2023-the_economic_implications_of_climate_action-report_08nov-15h-couv.pdf (29.01.2025).
- Plötz, P., Rohde, C., Repenning, J., Auf der Maur, A., Becker, L., Braungardt, S., Deurer, J., Dünnebeil, F., Friedrichsen, N., Heidt, C., Hennenberg, K., Hermann, H., Jöhrens, J., Kasten, P., Köppen, S., Lutz, C., Scheffler, M., Thamling, N., Wunsch, M. (2024): Quantifizierung der Treibhausgaswirkung von staatlichen Begünstigungen in Deutschland. Bericht zum Vorhaben Wissenschaftliche Unterstützung Klimapolitik und Maßnahmenprogramm (14-BE-2203). Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/publikation/quantifizierung-der-treibhausgaswirkung-von-staatlichen-beguenstigungen-in-deutschland/> (25.10.2024).
- Preuss, M., Reuter, W. H., Schmidt, C. M. (2019): Verteilungswirkung einer CO₂-Bepreisung in Deutschland. Arbeitspapier, No. 08/2019. Hg. v. Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Online verfügbar unter: <https://hdl.handle.net/10419/204442> (25.10.2024).
- Prognos (2024): Defossilisierung und Klimaneutralität. Fachkräftebedarf und Fachkräftegewinnung in der Transformation. Studie. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: <https://www.dihk.de/resource/blob/125844/fb44e61c7128505cae35eac05f57d0b6/dihk-prognos-studie-fachkra-fte-fu-r-die-defossilisierung-data.pdf> (06.01.2025).
- Prognos, ifeu, FIW, ITG (2024a): Bericht. Förderwirkungen BEG EM 2022. Evaluation des Förderprogramms „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ in den Teilprogrammen BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM), BEG Wohngebäude (BEG WG) und BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) im Förderjahr 2022. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-em.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (03.12.2024).
- Prognos, ifeu, FIW, ITG (2024b): Bericht. Förderwirkungen BEG NWG 2022. Evaluation des Förderprogramms „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ in den Teilprogrammen BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM), BEG Wohngebäude (BEG WG) und BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) im Förderjahr 2022. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-nwg.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (08.11.2024).
- Prognos, ifeu, FIW, ITG (2024c): Bericht. Förderwirkungen BEG WG 2022. Evaluation des Förderprogramms „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ in den Teilprogrammen BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM), BEG Wohngebäude (BEG WG) und BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) im Förderjahr 2022. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-wg.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (03.12.2024).
- Prognos, ifeu, FIW, ITG (2024d): Kurzfassung der Evaluationsergebnisse. Förderwirkungen BEG 2022. Evaluation des Förderprogramms „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ in den Teilprogrammen BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM), BEG Wohngebäude (BEG WG) und BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) im Förderjahr 2022. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (22.10.2024).
- Prognos, ifeu, FIW, ITG (2023a): Bericht. Förderwirkungen BEG EM 2021. Evaluation des Förderprogramms „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ in den Teilprogrammen BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM), BEG Wohngebäude (BEG WG) und BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) im Förderjahr 2021. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2021-beg-em.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (22.10.2024).
- Prognos, ifeu, FIW, ITG (2023b): Kurzfassung der Evaluationsergebnisse. Förderwirkungen BEG 2021. Evaluation des Förderprogramms „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ in den Teilprogrammen BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM), BEG Wohngebäude (BEG WG) und BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) im Förderjahr 2021. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2021-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (03.02.2025).

- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Hg. v. Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende
Online verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045> (27.10.2022).
- Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose (2024): Gemeinschaftsdiagnose #1-2024. Frühjahr 2024. Deutsche Wirtschaft kränkelt – Reform der Schuldenbremse kein Allheilmittel. Hg. v. Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose. Online verfügbar unter: <https://www.ifw-kiel.de/de/publikationen/deutsche-wirtschaft-kaenkelt-reform-der-schuldenbremse-kein-allheilmittel-32707/>
- Puffert, D. (2022): Kapitel. Pfadabhängigkeit in der Wirtschaftsgeschichte. In: Evolutorische Ökonomik. Konzepte, Wegbereiter und Anwendungsfelder. Sammelwerk, S. 435–442. Hg. v. Springer Gabler (Springer Nature). Online verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-34287-6_30 (04.12.2024).
- PwC (2024): Studie. Investitions- und Energiekosten der Energiewende. Hg. v. PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC). Online verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/energiewirtschaft/klimaschutzinvestitionen-lohnen-sich.html> (01.11.2024).
- Rau, D., Lettow, F., Thamling, N. (2024): Auf die Zukunft bauen: so rechnen sich Sanierungen. Wirtschaftlichkeitsrechnungen von Sanierungen bei Bestandsgebäuden. Hg. v. World Wide Fund For Nature Deutschland (WWF Deutschland). Online verfügbar unter: <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klima/studie-auf-die-zukunft-bauen-so-rechnen-sich-sanierungen.pdf> (21.01.2025).
- Redaktion Ökolandbau.de (2024): Daten. Zahlen zum Öko-Landbau in Deutschland. Stand: 08.07.2024. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Online verfügbar unter: <https://www.oekolandbau.de/service/zahlen-daten-fakten/oeko-flaeche-und-anzahl-oeko-betriebe-in-deutschland/> (28.10.2024).
- Redaktion stahleisen.de (2021): Artikel. Salzgitter AG startet Bau von Eisenerz-Direktreduktionsanlage. Stand: 19.05.2021. Hg. v. Maerken Kommunikation GmbH. Online verfügbar unter: <https://www.stahleisen.de/2021/05/19/salzgitter-ag-startet-bau-von-eisenerz-direktreduktionsanlage/> (21.01.2025).
- Repenning, J., Schumacher, K., Bergmann, T., Blanck, R., Böttcher, H., Bürger, V., Cludius, J., Emele, L., Jörß, W., Hennenberg, K., Hermann, H., Loreck, C., Ludig, S., Matthes, F., Nissen, C., Scheffler, M., Wiegmann, K., Zell-Ziegler, C., Fleiter, T., Fries, B., Sievers, L., Pfaff, M., Thamling, N., Rau, D., Hartwig, J., Welter, S., Lösch, O., Wirz, A. (2018): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Zusammenfassung. Hg. v. Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Folgenabschaetzung-Klimaschutzplan-2050.pdf> (04.12.2024).
- Reuter, M., Narula, K., Patel, M. K., Eichhammer, W. (2021): Linking energy efficiency indicators with policy evaluation – A combined top-down and bottom-up analysis of space heating consumption in residential buildings. *Energy and Buildings* 244.
- Reuter, M., Patel, M. K., Eichhammer, W., Lapillonne, B., Pollier, K. (2020): A comprehensive indicator set for measuring multiple benefits of energy efficiency. *Energy Policy* 139.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Bloh, W. v., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L., Rockström, J. (2023): Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* 9 (37).
- Richstein, J. C., Kröger, M., Neuhoﬀ, K., Chiappinelli, O., Lettow, F. (2021): CFM TRACTION. Carbon Contracts for Difference. An assessment of selected socio-economic impacts for Germany. Hg. v. Climate Strategies, DIW Berlin, WiseEuropa, Climate-KIC. Online verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/dokumentenarchiv/17/diw_01.c.816075.de/cfm_traction_germany_april2021.pdf (29.11.2024).
- Richstein, J. C., Neuhoﬀ, K. (2022): Carbon contracts-for-difference: How to de-risk innovative investments for a low-carbon industry? *iScience* 25 (9).
- Richter, J. (2011): DIMENSION – A Dispatch and Investment Model for European Electricity Markets. EWI Working Paper No. 11/03. Hg. v. Institute of Energy Economics At the University of Cologne (EWI). Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2016/07/EWI_WP_11-03_DIMENSION.pdf (11.11.2024).

- Riedel, T., Bender, S., Hennig, P., Kroiher, F., Schnell, S., Schwitzgebel, F., Stauber, T., Stahlmann, J. K., Kühling, M. (2024): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter: https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/Projekte/2024/bundeswaldinventur/Downloads/BWI-2022_Broschuere_bf-neu_01.pdf (01.11.2024).
- Rockström, J., Donges, J. F., Fetzer, I., Martin, M. A., Wang-Erlandsson, L., Richardson, K. (2024): Planetary Boundaries guide humanity's future on Earth. *Nature Reviews Earth & Environment* 5, S. 773–788.
- Roux, N., Plank, B. (2022): The misinterpretation of structure effects of the LMDI and an alternative index decomposition. *MethodsX* 9.
- Rudschies, W. (2024): Artikel. Ausstieg Verbrennungsmotor: Werden die Hersteller nun wankelmütig?. Stand: 24.09.2024. Hg. v. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC). Online verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/auto/ausstieg-verbrennungsmotor/> (28.10.2024).
- Ruhnau, O., Stiewe, C., Muessel, J., Hirth, L. (2023): Natural gas savings in Germany during the 2022 energy crisis. *Nature Energy* 8, S. 621–628.
- Rusche, C. (2023): Deindustrialisierung - Eine Analyse basierend auf Direktinvestitionen. IW-Kurzbericht Nr. 43/2023, 28. Juni 2023. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (IW). Online verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/christian-rusche-eine-analyse-auf-basis-von-direktinvestitionen.html> (11.11.2024).
- Ryani, L., Campbell, N. (2012): Spreading the Net: The Multiple Benefits of Energy Efficiency Improvements. Information paper. IEA Energy Papers, No. 2012/08. Hg. v. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1787/5k9crzjbpkkc-en> (11.11.2024).
- Saarstahl (2024): Pressemitteilung. Nächster Schritt zur Transformation: Zentrale Anlagen für größtes europäisches Dekarbonisierungsprojekt Power4Steel bestellt. Datum: 11. Oktober 2024. Hg. v. Saarstahl AG (Sahrstahl). Online verfügbar unter: <https://www.saarstahl.com/aktuelles/pressemitteilungen/nachster-schritt-zur-transformation-zentrale-anlagen-fur-grosstes-europaisches-dekarbonisierungsprojekt-power4steel-bestellt?id=17507> (21.01.2025).
- Saarstahl (2023): Pressemitteilung. Zustimmung der EU-Kommission zur Förderung unseres Dekarbonisierungsprojekts. Datum: 19. Dezember 2023. Hg. v. Saarstahl AG (Sahrstahl). Online verfügbar unter: <https://www.saarstahl.com/aktuelles/news/zustimmung-der-eu-kommission-zur-forderung-unseres-dekarbonisierungsprojekts?id=14636> (21.01.2025).
- Salant, S. W. (2016): What ails the European Union's emissions trading system? *Journal of Environmental Economics and Management* 80, S. 6-19.
- Salzgitter AG (2024): Internetseite. Das Konzept für eine nachhaltige Zukunft: Unser Programm SALCOS®. Hg. v. Salzgitter Aktiengesellschaft (Salzgitter AG). Online verfügbar unter: <https://salcos.salzgitter-ag.com/de/salcos.html> (20.01.2025).
- Salzgitter AG (2022): Pressemitteilung. Starkes Signal für Transformationsprogramm SALCOS® der Salzgitter AG. Datum: 15.09.2022. Hg. v. Salzgitter Aktiengesellschaft (Salzgitter AG). Online verfügbar unter: <https://www.salzgitter-flachstahl.de/de/news/details/starkes-signal-fuer-transformationsprogramm-salcosr-der-salzgitter-ag-20105.html> (20.01.2025).
- Schill, W.-P., Aichner, N., Felder, L., Roth, A. (2022): Internetseite. Open Energy Tracker. Elektromobilität. Hg. v. Adeline Guéret, Alexander Roth, Felix Schmidt, Wolf-Peter Schill (Open Energy Tracker). Online verfügbar unter: <https://openenergytracker.org/docs/germany/emobility/> (12.11.2024).
- Schill, W.-P., Jöhrens, J., Räder, D., Beeh, H., Klingl, J., Werner, M. (2024): Klimaschutz im Straßengüterverkehr: Die Zukunft ist batterieelektrisch. *DIW Wochenbericht* 91 (47), S. 743-753.
- Schlomann, B., Brunzema, I., Kemmler, A., Bürger, V., Mendelevitch, R. (2022): Methodikpapier zur ex-ante Abschätzung der Energie- und THG-Minderungswirkung von energie- und Klimaschutzpolitischen Maßnahmen. Kurzpapier im Rahmen des Vorhabens «Projektionen zu nationalen und europäischen Energie- und Klimazielen und zu Wirkungen von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenprogrammen» im Auftrag des BMWK Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Ex-ante-Massnahmenbewertung.pdf> (29.10.2022).
- Schlomann, B., Rohde, C., Bentele, S. (2021): Mögliche Ausgestaltung eines Energieeinsparverpflichtungssystems für Deutschland. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/moegliche-ausgestaltung-eines> (12.11.2024).

Schmidt, C. M. (2023): Schwindende Attraktivität Deutschlands als Investitionsstandort. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 24 (3), S. 279-279.

Schnaars, P., Novirdoust, A. A., Terhorst, S. (2023): Präsentation. Investitionen der Energiewende bis 2030. Investitionsbedarf im Verkehrs-, Gebäude- und Stromsektor. EWI-Analyse. Hg. v. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Online verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/investitionen-der-energiewende-bis-2030/> (04.11.2024).

Schrems, I., Auf der Maur, A., Kemmler, A., Trachsel, T., Saad, N., Bach, S., Knautz, J. (2022): Wirkung des nationalen Brennstoffemissionshandels – Auswertungen und Analysen. Grundlagen für den ersten Erfahrungsbericht der Bundesregierung gemäß § 23 BEHG im Jahr 2022. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wirkung-des-nationalen-brennstoffemissionshandels> (18.10.2024).

Schröder, D., Kirn, L., Kinigadner, J., Loder, A., Blum, P., Xu, Y., Lienkamp, M. (2023): Ending the myth of mobility at zero costs: An external cost analysis. *Research in Transportation Economics* 97.

Schumacher, K., Nissen, C., Braungardt, S. (2022): Energetische Sanierung schützt Verbraucher*innen vor hohen Energiepreisen – Vorschläge für eine soziale Ausrichtung der Förderung. Sanierungskosten und Förderbedarf für vulnerable Hauseigentümer*innen. Kurzstudie, 21.07.2022. Hg. v. Öko-Institut e. V. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kurzstudie-Sanierung-Ein-und-Zweifamilienhaeuser.pdf> (05.11.2024).

Service-Public.fr (2023): Help to rent an electric car from 2024 (electric leasing). Stand: 21.12.2023. Hg. v. La direction de l'information légale et administrative (DILA). Online verfügbar unter: <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F37557?lang=en> (18.10.2024).

Shaffer, B., Auffhammer, M., Samaras, C. (2021): Comment. Make electric vehicles lighter to maximize climate and safety benefits. Tax heavy cars and shrink batteries to consolidate the gains from electrifying transport. *Nature* 598, S. 254-256.

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

SPD Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/ Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP). Online verfügbar unter: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf.

Spengler, L. (2018): Buch. Sufficiency as Policy. Necessity, Possibilities and Limitations. 1. Auflage. Hg. v. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG (Nomos). *Umweltsoziologie*, Band 5. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.5771/9783845284743> (30.10.2024).

SRU (2024): Suffizienz als „Strategie des Genug“: Eine Einladung zur Diskussion. Diskussionspapier, März 2024. Hg. v. Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU). Online verfügbar unter: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_03_Suffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=21 (06.11.2024).

Steuwer, S., Graaf, L., Oriol, J., Broer, R., Düvier, C. (2024): Wärmewende in Europa – Gute Praxis aus ausgewählten Ländern & Empfehlungen für Deutschland. Im Auftrag des Akademienprojektes Energiesysteme der Zukunft (ESYS). Hg. v. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Online verfügbar unter: <https://energiesysteme-zukunft.de/aktuelles/meldungen/gutachten-waermewende-in-deutschland> (04.12.2024).

Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE (2021): Branchenausblick 2030+: Die Chemieindustrie. Hg. v. Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE. Online verfügbar unter: <https://www.arbeit-umwelt.de/branchenausblick-2030-die-chemieindustrie/> (24.01.2025).

SVR Wirtschaft (2024a): Frühjahrsgutachten 2024 (Datum: 15. Mai 2024). Hg. v. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR Wirtschaft). Online verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/fg2024/FG2024_Gesamtausgabe.pdf (29.05.2024).

SVR Wirtschaft (2024b): Versäumnisse angehen, entschlossen modernisieren. Jahresgutachten 2024/25. Hg. v. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR Wirtschaft). Online verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202425/JG202425_Gesamtausgabe.pdf (03.12.2024).

- SVR Wirtschaft (2023): Wachstumsschwäche überwinden - In die Zukunft investieren. Jahresgutachten 2023/24. Hg. v. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR Wirtschaft). Online verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202324/JG202324_Gesamtausgabe.pdf (11.03.2024).
- TEHG (2021): Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen (Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz - TEHG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/tehg_2011/ (11.11.2024).
- Theobald, T., Hohlfeld, P. (2022): Materialengpässe setzen deutscher Automobilproduktion massiv zu. Fehlende Vorprodukte kosteten allein 2021 rund ein Prozent des Bruttoinlandsprodukts. IMK Policy Brief Nr. 141, November 2022. Hg. v. Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung der Hans-Böckler-Stiftung (IMK). Online verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/270372> (24.01.2025).
- Thomsen, J., Fuchs, N., Meyer, R., Wanapinit, N., Bampi, B. B., Gorbach, G., Engelmann, P., Herkel, S., Kost, C., Ulfers, J., Lohmeier, D., Prade, E., Sanina, N., Braun, M., Lenz, M. (2022): Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Endbericht. Hg. v. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) und Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE). Online verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up_Studie_final-1.pdf (29.05.2024).
- Thöne, M. (2022): Schafft der Staat die fünf großen Transformationen? ifo Schnelldienst 75 (9), S. 35-41.
- Thünen-Institut (2024): Wissenschaft erleben 2024/2. Stand: 19.12.2024. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut). Online verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/thuenen-institut/infothek/schriftenreihen/wissenschaft-erleben> (20.01.2025).
- Thyssenkrupp (2024a): Internetseite. tkH2Steel@: mit Wasserstoff zur klimaneutralen Stahlproduktion. Hg. v. thyssenkrupp Steel Europe AG (Thyssenkrupp). Online verfügbar unter: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/klimastrategie/klimastrategie.html> (20.01.2025).
- Thyssenkrupp (2024b): Pressemitteilung. thyssenkrupp Steel stellt wesentliche Eckpunkte für industrielles Zukunftskonzept vor. Datum: 25.11.2024. Hg. v. thyssenkrupp Steel Europe AG (Thyssenkrupp). Online verfügbar unter: <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemeldungen/presseedetailseite/thyssenkrupp-steel-stellt-wesentliche-eckpunkte-fur-industrielles-zukunftskonzept-vor-290356> (20.01.2025).
- Thyssenkrupp (2024c): Pressemitteilung. thyssenkrupp Steel treibt Aufbau der Wasserstoffwirtschaft intensiv voran: Ausschreibung zur Wasserstoffversorgung der ersten Direktreduktionsanlage am Standort Duisburg gestartet. Tagespresse, 16.02.2024. Hg. v. thyssenkrupp Steel Europe AG (Thyssenkrupp). Online verfügbar unter: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemittelungen/ausschreibung-zur-wasserstoffversorgung-der-ersten-direktreduktionsanlage-am-standort-duisburg-gestartet.html> (20.01.2025).
- TREMODO (2024): Daten. 240927_TREMODO_Daten_ERK.xlsx (unveröffentlicht).
- UBA (2025): Daten, Tabellen. Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2023. Stand: 15.01.2025. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://cms.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/2025_01_14_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v_1.0.xlsx (20.01.2025).
- UBA (2024a): Berechnung der bundesdeutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023 gemäß Bundesklimaschutzgesetz (unveröffentlicht). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- UBA (2024b): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2024. Nationales Inventardokument zum deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2022. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/38_2024_cc_berichterstattung_klimarahmenkonvention.pdf (28.10.2024).
- UBA (2024c): Daten und Grafiken. Emissionsübersichten KSG-Sektoren 1990-2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx (22.03.2024).

UBA (2024d): Internetseite. Datenanhang mit Kernindikatoren zum Projektionsbericht 2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenanhang-kernindikatoren-projektionsbericht-2024> (24.05.2024).

UBA (2024e): Internetseite. Umgebungswärme und Wärmepumpen. Stand: 24.10.2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#umgebungsw%C3%A4rme> (08.11.2024).

UBA (2024f): Internetseite. Umweltfreundliches Heizen dank effizienter Wärmepumpe. Stand: 16.05.2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/waermepumpe#--3> (11.11.2024).

UBA (2024g): Internetseite. Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeugbestand. Stand: 28.03.2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeugbestand#lange-der-verkehrswege> (20.01.2025).

UBA (2024h): Inventardaten aus dem ZSE (unveröffentlicht).

UBA (2024i): Präsentation. Energieverbrauch und Energieeffizienz in Deutschland. Zentrale Säule der Energiewende. Stand: 11/2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/uba_v1.4_energieverbrauch_und_energieeffizienz_in_d.pdf (27.12.2024).

UBA (2024j): Pressemitteilung. Detaillierte Treibhausgas-Emissionsbilanz 2022: Emissionen sanken um 40 Prozent gegenüber 1990 – EU-Klimaschutzvorgaben werden eingehalten. Erste offizielle Emissionsdaten für das Jahr 2023 gemäß Klimaschutzgesetz folgen Mitte März 2024. Nr. 02/2024, Datum: 15.01.2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/detaillierte-treibhausgas-emissionsbilanz-2022> (22.10.2024).

UBA (2024k): Sozio-ökonomische Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2023. Zwischenbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/17_2024_cc_folgenabschaetzung_projektionsbericht_2023.pdf (28.05.2024).

UBA (2024l): Sozio-ökonomische Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2024. Treibhausgas-Projektionen für Deutschland. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sozio-oekonomische-folgenabschaetzung-0#:~:text=Energie%2C%20Wirtschaft%20%7C%20Konsum-,Sozio%2D%C3%B6konomische%20Folgenabsch%3%A4tzung%20zum%20Projektionsbericht%202024,Investitionsbedarf%2C%20Kosteneinsparungen%20und%20gesamtwirtschaftlicher%20Auswirkungen> (06.01.2025).

UBA (2024m): Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-ergebnisse-kompakt> (03.04.2024).

UBA (2023a): Internetseite. Holzheizungen: Schlecht für Gesundheit und Klima. Stand: 03.08.2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/quellen-der-luftschadstoffe/holzheizungen-schlecht-fuer-gesundheit-klima#undefined> (08.11.2024).

UBA (2023b): Pressemitteilung. UBA-Prognose: Treibhausgasemissionen sanken 2022 um 1,9 Prozent. Mehr Kohle und Kraftstoff verbraucht – mehr Erneuerbare und insgesamt reduzierter Energieverbrauch dämpfen Effekte. Nr. 11/2023, Datum: 15.03.2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/uba-prognose-treibhausgasemissionen-sanken-2022-um> (22.10.2024).

UBA (2022a): Internetseite. Der Europäische Emissionshandel. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel> (27.10.2022).

UBA (2022b): Internetseite. Kraftwerke: konventionelle und erneuerbare Energieträger. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraftwerke-konventionelle-erneuerbare> (25.10.2022).

UBA (2022c): Internetseite. Primärenergieverbrauch. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch> (26.10.2022).

- UBA (2020): Internetseite. Klimaschutz und Dekarbonisierung im Industriesektor. Stand: 13.02.2020. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/klimaschutz-dekarbonisierung-im-industriesektor> (04.12.2024).
- UNFCCC (2024): Daten. Greenhouse Gas Inventory Data. Annual Fuel Consumption in TJ. Hg. v. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Online verfügbar unter: https://di.unfccc.int/flex_annex1?_gl=1*_q4ao5x*_ga*ODA3MzU0Mjk4LjE3MjQ3NTI4ODY*_ga_7ZZWT14N79*MTczNDMzNTYzOS4yMS4wLjE3MzQzMzU2NDMuMC4wLjA (03.01.2025).
- UNFCCC (2000): Review of the implementation of commitments and of other provisions of the convention. UNFCCC guidelines on reporting and review (FCCC/CP/1999/7). Hg. v. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Online verfügbar unter: <https://unfccc.int/resource/docs/cop5/07.pdf> (01.11.2022).
- VDV, DB (2024): Präsentation. Interpretierende Zusammenfassung. Kernaussagen der bundesweiten Marktforschung zum Deutschland-Ticket. - Berichtszeitraum 1. Halbjahr 2024 - Hg. v. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), Deutsche Bahn AG, DB Regio AG. Online verfügbar unter: <https://www.vdv.de/evaluation-deutschland-ticket-interpretationsbericht-1.-hj-2024.pdf?forced=true> (11.11.2024).
- Verde, S. F. (2020): The impact of the EU emissions trading system on competitiveness and carbon leakage: the econometric evidence. *Journal of Economic Surveys* 34 (2), S. 320-343.
- Verpoort, P. C., Ueckerdt, F., Beck, Y., Bietenholz, D., Dertinger, A., Fleiter, T., Grimm, A., Luderer, G., Neuwirth, M., Odenweller, A., Sach, T., Schimmel, M., Sievers, L. (2024a): Transformation der energieintensiven Industrie – Wettbewerbsfähigkeit durch strukturelle Anpassung und grüne Importe. Ariadne-Report. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/report-transformation-der-energieintensiven-industrie/> (24.01.2025).
- Verpoort, P. C., Ueckerdt, F., Schenk, A.-K. (2024b): Durch Import grüner Vorprodukte die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands stärken. Ariadne kompakt. Hg. v. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK), Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/ariadne-kompakt-durch-import-gruener-vorprodukte-die-wettbewerbsfaehigkeit-deutschlands-staerken/> (24.01.2025).
- Verron, H., Huckestein, B., Penn-Bressel, G., Röthke, P., Bölke, M., Hülsmann, W. (2005): Determinanten der Verkehrsentstehung. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2967.pdf> (20.01.2025).
- Weidner, H. (1992): Kapitel. Kriterien einer erfolgreichen Umweltpolitik. In: Grundlagen einer Umweltpolitik zur Überwindung der ökologischen Krise: Vorträge auf einer Arbeitstagung vom 7.-10. November 1991 auf der Insel Vilm. Tagungsband, S. 63-74. Hg. v. Ministerium für Umwelt und Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/123071/1/211436.pdf> (04.12.2024).
- Weikard, A. (2023): Artikel. Klimaschäden. So viel CO₂-Ausstoß verursacht der Ukrainekrieg. Stand: 04. Dez 2023. Hg. v. VDI Verlag GmbH (VDI nachrichten). Online verfügbar unter: <https://www.vdi-nachrichten.com/ukraine/so-viel-co2-ausstoss-verursacht-der-ukrainekrieg/> (22.01.2025).
- Weltbank (2024): Daten. Trade (% of GDP). Stand: 16.12.2024. Hg. v. The World Bank Group (Weltbank). Online verfügbar unter: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS> (24.01.2025).
- Whitehead, J., Franklin, J. P., Washington, S. (2015): Transitioning to energy efficient vehicles: An analysis of the potential rebound effects and subsequent impact upon emissions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 74, S. 250-267.
- WindSeeG (2024): Gesetz zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See (Windenergie-auf-See-Gesetz - WindSeeG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/BjNR231000016.html> (29.05.2024).
- Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Transformation zu einer klimaneutralen Industrie: Grüne Leitmärkte und Klimaschutzverträge. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Ministerium/Veroeffentlichung-Wissenschaftlicher-Beirat/transformation-zu-einer-klimaneutralen-industrie.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (01.11.2024).

WPG (2023): Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz - WPG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/wpg/BJNR18A0B0023.html> (22.10.2024).

Wuppertal Institut, ifeu, Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, IFOK (2016): Maßnahmenkatalog. Ergebnis des Dialogprozesses zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung. Hg. v. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Wuppertal Institut). Online verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6748/file/6748_Massnahmenkatalog.pdf (20.01.2025).

Zell-Ziegler, C., Best, B., Thema, J., Wiese, F., Vogel, B., Cordroch, L. (2022): Daten. European Sufficiency Policy Database. Hg. v. Energy Sufficiency Research Group ("The Role of Energy Sufficiency in Energy Transition and Society" / EnSu). Online verfügbar unter: <https://energysufficiency.de/policy-database/> (25.10.2024).

Zimmermann, K. (2018): Local climate policies in Germany. Challenges of governance and knowledge. *Cogent Social Sciences* 4 (1).

ZKS (2024): Policy Brief: Ein Klima-Sozialplan für Deutschland. Hg. v. Zukunft KlimaSozial ZKS gGmbH (ZKS). Online verfügbar unter: https://zukunft-klimasozial.de/wp-content/uploads/2024/09/Policy-Brief_Ein-Klima-Sozialplan-fuer-Deutschland.pdf (01.11.2024).

Zotz, F., Kling, M., Langner, F., Hothath, P., Born, H., Feil, A. (2019): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019_10_09_texte_117-2019_uba_weacycle_mit_summary_and_abstract_170719_final_v4_pdfua_0.pdf (31.10.2024).

Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15

10117 Berlin

www.expertenrat-klima.de
