

CLIMATE CHANGE

17/2026

Teil-Abschlussbericht

Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARETarget

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE)“

von:

Ralph Harthan (Projektleitung), Julia Repenning, Malte Bei der Wieden, Sibylle Braungardt, Vanessa Cook, Lukas Emele, Markus Haller, Klaus Hennenberg, Wolfram Jörß, Sylvie Ludig, Lorenz Moosmann, Mirjam Pfeiffer, Margarethe Scheffler, Dennis Seibert, Inia Steinbach, Kirsten Wiegmann

Öko-Institut, Berlin, Freiburg, Darmstadt

Meta Thurid Lotz, Tim Mandel, Matthias Rehfeldt, Songmin Yu

Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 17/2026

KLIFOPLAN des Bundesministeriums für Umwelt,
Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3720 41 506 0

FB002020

Teil-Abschlussbericht

Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARETarget

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Transformation
zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland
(CARE)“

von

Ralph Harthan (Projektleitung), Julia Repenning, Malte
Bei der Wieden, Sibylle Braungardt, Vanessa Cook, Lukas
Emele, Markus Haller, Klaus Hennenberg, Wolfram Jörß,
Sylvie Ludig, Lorenz Moosmann, Mirjam Pfeiffer,
Margarethe Scheffler, Dennis Seibert, Inia Steinbach,
Kirsten Wiegmann

Öko-Institut, Berlin, Freiburg, Darmstadt

Meta Thurid Lotz, Tim Mandel, Matthias Rehfeldt,
Songmin Yu

Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Öko-Institut Consult GmbH
Borkumstr. 2
13189 Berlin

Abschlussdatum:

Dezember 2025

Redaktion:

Fachgebiet V 1.2 Strategien und Szenarien zu Klimaschutz und Energie
David Pfeiffer, Maximilian Pagel, Karlotta Schultz, Katja Purr, (Kirsten op de Hipt –
Layout)

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8099>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, März 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARETarget

Das CARETarget-Szenario zeigt einen Weg zur Treibhausgasneutralität bis 2045 in Deutschland auf. Es ist Teil der CARE-Szenarien, die im Rahmen des Forschungsprojektes „Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE)“ entwickelt wurden und unterschiedliche Pfade zur Treibhausgasneutralität darstellen.

CARETarget setzt auf aktuellen Politiken, Rahmen- und Inventardaten inklusive der IV. Bundeswaldinventur der Treibhausgas-Projektionen 2025 auf. Es fokussiert Vorschläge, die am aktuellen Policy Mix ansetzen, diesen ergänzen bzw. verschärfen, um die Lücke zu den Klimaschutzzielen zu schließen und Treibhausgasneutralität bis 2045 zu erreichen.

Im Ergebnis werden in CARETarget bis zum Jahr 2030 über alle Sektoren hinweg die summarischen Jahresemissionsmengen nach Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) eingehalten. Der weitere Verlauf der Emissionen folgt den Minderungszielen des KSG. Im Jahr 2045 werden noch rund 66,9 Mio. t CO₂-Äq. erzeugt und davon 50,8 Mio. t CO₂-Äq. in die Atmosphäre ausgestoßen. Zudem wird gezeigt, wie das Klimaschutzziel im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) erreicht werden kann. Konkret beträgt diese Netto-Senke 41,4 Mio. t CO₂-Äq. Durch die ergänzende geologische Speicherung von biogenem CO₂ aus Energiewirtschaft und Industrie (9,1 Mio. t CO₂-Äq.) sowie fossilem Carbon Capture and Storage (CCS, 16,3 Mio. t CO₂-Äq.) werden im Jahr 2045 Netto-Nullemissionen erreicht.

Abstract: Greenhouse gas neutrality in Germany: CARETarget

The CARETarget scenario shows a path to greenhouse gas neutrality in Germany by 2045. It is part of the CARE scenarios developed within the scope of the research project titled ‘Transformation to a completely greenhouse gas-neutral Germany (CARE)’ and presents different paths to greenhouse gas neutrality.

CARETarget is based on current policies, framework and inventory data, including the Fourth German National Forest Inventory of the 2025 greenhouse gas projections. It focuses on proposals that build on the current policy mix, supplementing or tightening them to close the gap to climate policy targets and to achieve greenhouse gas neutrality by 2045.

As a result, CARETarget complies with the total annual emission budgets specified in the German Climate Change Act (KSG) across all sectors for 2030. The further development of emissions follows the reduction targets of the KSG. In 2045, around 66.9 million tonnes of CO₂ equivalent (Mt CO₂eq) are still produced, 50.8 Mt CO₂eq of which are emitted into the atmosphere. The scenario also shows how the climate target can be achieved in the land use, land-use change, and forestry (LULUCF) sector. The net sink amounts to 41.4 Mt CO₂eq. By means of the supplementary geological storage of biogenic CO₂ from the energy sector and industry (9.1 Mt CO₂eq) and fossil carbon capture and storage (CCS, 16.3 Mt CO₂eq), net zero emissions are achieved in 2045.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis	16
Zusammenfassung.....	21
Summary	25
1 Einleitung.....	29
2 Rahmendaten	31
3 Gesamtergebnisse	32
3.1 Treibhausgasemissionen.....	32
3.2 Kohlenstoffbilanz	42
3.3 Nachfrage nach synthetischen Energieträgern.....	43
3.4 Primärenergieverbrauch	45
3.4.1 Primärenergieverbrauch nach Energieträgern	45
3.4.2 Verbrauch von Biomassebrennstoffen und Abgleich mit Biomasse-Aufkommen	46
3.5 Endenergieverbrauch.....	48
3.6 Bruttostromverbrauch	50
4 Energiewirtschaft	51
4.1 Narrativ	51
4.2 Maßnahmen und Instrumente.....	52
4.2.1 Ausstieg aus fossilen Brennstoffen in der Strom- und gekoppelten Fernwärmeerzeugung und Ausbau von Wasserstoffkraftwerken.....	52
4.2.2 Aufbau von Carbon Capture-Anlagen für die Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen und Generieren von Negativ-Emissionen	54
4.2.3 Beschleunigter Ausbau der erneuerbaren Energien.....	55
4.2.4 Dekarbonisierung der Fernwärme	57
4.2.5 Ausbau der Elektrolyse	58
4.2.6 Umstellung von einem Erdgasnetz auf ein Wasserstoffnetz	58
4.3 Zentrale Ergebnisse.....	60
5 Industrie	69
5.1 Narrativ	69
5.2 Maßnahmen und Instrumente.....	69
5.2.1 Allgemeine Prozesswärme.....	69
5.2.2 CO ₂ -Abscheidung, Transport und Speicherung	71

5.2.3	Grundstoffchemie	71
5.2.4	Verarbeitung von Steinen und Erden (hier: Zement und Kalk).....	72
5.2.5	Eisen und Stahl.....	73
5.2.6	Reduktion der CO ₂ -Emissionen in der Aluminiumproduktion (R).....	74
5.2.7	Reduktion der Prozessemissionen in der Zinkproduktion (R).....	74
5.2.8	Reduktion von Paraffinwachsen aus fossilen Quellen (R)	74
5.2.9	Reduktion und Ersatz von Lösemitteln (R).....	75
5.2.10	EU-weiter HFKW-Phase-Out (R).....	75
5.2.11	Inverkehrbringungsverbote für SF ₆ in elektrischen Schaltanlagen (R)	76
5.2.12	Initiative für die optimierte Entsorgung von SF ₆ aus elektrischen Schaltanlagen (R).....	76
5.2.13	Förderprogramm zum Ersatz persistenter Klimagase in der Halbleiter- und Photovoltaikindustrie (R)	77
5.2.14	Weitere Kategorien.....	77
5.3	Zentrale Ergebnisse.....	78
6	Gebäude	87
6.1	Narrativ	87
6.2	Maßnahmen und Instrumente.....	88
6.2.1	Raumwärme und Warmwasser	88
6.2.1.1	Gebäudeenergiegesetz inkl. 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe	88
6.2.1.2	Mindesteffizienzstandards (MEPS).....	89
6.2.1.3	Reform der Steuern, Abgaben, Umlagen bei den Energiepreisen.....	89
6.2.1.4	Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).....	90
6.2.1.5	Gas-Ausstieg	91
6.2.1.6	Energieeffizienzverpflichtungssystem mit „Weißen Zertifikaten“	92
6.2.1.7	Heizungsoptimierung.....	92
6.2.1.8	Gebäudeindividueller Sanierungsfahrplan (iSFP)	93
6.2.1.9	Sanierungsvorgaben für öffentliche Gebäude.....	93
6.2.2	Geräte und Prozesse	94
6.2.2.1	Vorgezogene Ökodesign-Anforderungen für fossil betriebene Geräte im GHD-Sektor	94
6.2.2.2	Ausweitung des Stromspar-Checks für Haushalte.....	94
6.3	Zentrale Ergebnisse.....	95
7	Verkehr	100
7.1	Narrativ	100
7.2	Maßnahmen und Instrumente.....	101

7.2.1	Anpassung der Kfz-Steuer (Einführung einer Klimaabgabe).....	101
7.2.2	Tempolimit.....	101
7.2.3	Umweltbonus / Kaufprämie für Pkw	102
7.2.4	THG-Quote/Energetische Quoten für erneuerbare Kraftstoffe	102
7.2.5	Fortführung des Deutschlandtickets.....	102
7.2.6	Radverkehrsförderung.....	103
7.2.7	Umgestaltung der Besteuerung von Dienstwagen	103
7.2.8	Abschaffung der Entfernungspauschale	103
7.3	Zentrale Ergebnisse.....	104
8	Landwirtschaft.....	113
8.1	Narrativ	113
8.2	Maßnahmen und Instrumente.....	114
8.2.1	Preissteuerung auf der Ebene des Endverbrauchs	114
8.2.2	Reduktion der energiebedingten Emissionen.....	116
8.2.3	Reduktion der Emissionen durch technische Maßnahmen.....	116
8.2.4	Strukturelle Änderungen in der Landwirtschaft und Extensivierung	117
8.2.5	Weitere Maßnahmen.....	119
8.3	Zentrale Ergebnisse.....	119
8.3.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen.....	119
8.3.2	Entwicklung der Flächennutzung.....	122
8.3.3	Entwicklung der Nutztierbestände und der Produktion tierischer Produkte	123
8.3.4	Entwicklung der Stickstoffeinsätze	125
8.3.5	Entwicklung des landwirtschaftlichen Energieverbrauchs	126
8.3.6	Unsicherheiten und Diskussion.....	127
8.3.6.1	Futterzusatzstoffe.....	128
8.3.6.2	Nitrifikationsinhibitoren	128
8.3.6.3	Verbraucherreaktion	129
9	Abfallwirtschaft und Sonstiges.....	132
9.1	Narrativ	132
9.2	Maßnahmen und Instrumente.....	132
9.2.1	Kreislaufwirtschaftsgesetz	132
9.2.2	Reduktion von Lebensmittelabfällen und -verlusten	133
9.2.3	Ausweitung und Beschleunigung der Deponiebelüftung	134
9.2.4	Optimierte Gaserfassung	135

9.2.5	Optimierte Abwasserbehandlung.....	136
9.2.6	Reduktion der Proteingehalte im Abwasser.....	136
9.3	Zentrale Ergebnisse.....	137
10	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	139
10.1	Narrativ	139
10.2	Maßnahmen und Instrumente.....	140
10.2.1	Vernässung landwirtschaftlich genutzter organische Böden (Ackerland, Grünland; Moorbodenschutz)	140
10.2.2	Zunahme langlebiger Holzprodukte	142
10.2.3	Kohlenstoffzunahme auf landwirtschaftlichen Flächen	144
10.2.4	Waldbewirtschaftung	145
10.2.5	Waldmehrung	147
10.2.6	Optimierung des Wassermanagements bestehender Feuchtgebiete.....	147
10.2.7	Weitere Maßnahmen.....	148
10.3	Zentrale Ergebnisse.....	148
	Quellenverzeichnis	158

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Brutto-Emissionsminderung in CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045.....	22
Abbildung 2:	Netto-Emissionsminderung in CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045 (inkl. LULUCF und technischer Senken)	23
Figure 3:	Gross emission reduction in CARETarget and the 2025 projections (MMS), 2025-2045.....	26
Figure 4:	Net emission reduction in CARETarget and the 2025 projections (MMS), 2025-2045 (incl. LULUCF and technical sink measures)	27
Abbildung 5:	Erzeugte Treibhausgase in den KSG-Sektoren im Szenario CARETarget, 2023-2045.....	32
Abbildung 6:	Entwicklung der Brutto-Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045.....	33
Abbildung 7:	Brutto- und Netto-Emissionsminderung im Szenario CARETarget, 2025-2045.....	34
Abbildung 8:	Emissionsminderung in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) mit und ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels im nationalen Verkehr, 2025-2045	37
Abbildung 9:	Brutto-Emissionsminderung in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	39
Abbildung 10:	Netto-Emissionsminderung in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045 (inkl. LULUCF und technischer Senken).....	40
Abbildung 11:	Kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der sektoralen Jahresemissionsmengen und der Jahresemissionsgesamtmenge (2021-2030), CARETarget	41
Abbildung 12:	Kumulierte sektorale Jahresemissionsmengen und kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der KSG-Sektoren und gesamt (2021-2030), Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS)	42
Abbildung 13:	Kohlenstoffströme in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) im Jahr 2045 in Mio. t Kohlenstoff.....	43
Abbildung 14:	Einsatz von Wasserstoff in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	44
Abbildung 15:	Einsatz von synthetischen Flüssigkraftstoffen in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	45
Abbildung 16:	Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	46

Abbildung 17:	Endenergieverbrauch nach Energieträgern in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045 ...	49
Abbildung 18:	Bruttostromverbrauch nach Endverbrauchern in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	50
Abbildung 19:	Annahmen zum Rückgang der Leistung von Kohlekraftwerken, CARETarget, 2025-2038.....	52
Abbildung 20:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	60
Abbildung 21:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (2025-2045)	62
Abbildung 22:	Vergleich der Nettostromerzeugung und des EE-Anteils am Bruttostromverbrauch zwischen CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	63
Abbildung 23:	Installierte Leistungen erneuerbarer Energien in CARETarget, 2025-2045.....	64
Abbildung 24:	Entwicklung der installierten Leistung von Müll-Heizkraftwerken, die mit Carbon Capture ausgestattet sind, CARETarget, 2035-2045	65
Abbildung 25:	Netzgebundene Netto-Wärmeerzeugung im Vergleich zwischen CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	67
Abbildung 26:	Resultierende Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	68
Abbildung 27:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	79
Abbildung 28:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (2025-2045).....	81
Abbildung 29:	Endenergiebedarf Industrie, CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	82
Abbildung 30:	Direkter Elektrifizierungsgrad der Prozesswärme nach Subsektor, CARETarget, 2023-2045	83
Abbildung 31:	Direkter Elektrifizierungsgrad der Prozesswärme nach Subsektor, Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	84
Abbildung 32:	Prozesswärmebedarf Industrie, Dampf, CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	85

Abbildung 33:	Prozesswärmebedarf Industrie, Industrieöfen, CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045.....	86
Abbildung 34:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045.....	95
Abbildung 35:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025	96
Abbildung 36:	Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser je Energieträger in den Szenarien CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS).....	97
Abbildung 37:	Flächengewichtete energetische Sanierungsrate für Wohn- und Nichtwohngebäude in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2010-2050	98
Abbildung 38:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Geräte und Prozesse in den Sektoren Haushalte und GHD in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) nach Energieträgern, 2023-2045.....	99
Abbildung 39:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045.....	104
Abbildung 40:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045	105
Abbildung 41:	Pkw-Bestand nach Antriebstypen, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	107
Abbildung 42:	Antriebsverteilung der Neuzulassungen bei Pkw, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2035	108
Abbildung 43:	Antriebsverteilung der Neuzulassungen bei Lkw > 12 Tonnen zGG, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045.....	109
Abbildung 44:	Personenverkehrsleistung, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045.....	110
Abbildung 45:	Güterverkehrsleistung (nationale Verkehre), CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	111
Abbildung 46:	Nationaler Endenergiebedarf im Sektor Verkehr, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	112
Abbildung 47:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045.....	120

Abbildung 48:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045	121
Abbildung 49:	Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft im Vergleich zum MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025, 2030-2045	122
Abbildung 50:	Entwicklung der Tierbestände Landwirtschaft, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	124
Abbildung 51:	Entwicklung der Stickstoffeinsätze, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	126
Abbildung 52:	Entwicklung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	127
Abbildung 53:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (2025-2045)	137
Abbildung 54:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	138
Abbildung 55:	Anteil der wiedervernässten landwirtschaftlichen Fläche auf organischen Böden im Zeitverlauf, CARETarget, 2020-2050 .	142
Abbildung 56:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen und der Aufnahme durch Senken im Sektor LULUCF, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045	149
Abbildung 57:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor LULUCF in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045	150
Abbildung 58:	Analyse Treibhausgasminderungen durch CARETarget-Maßnahmen und Auswirkungen der Rahmenbedingungen für die Waldmodellierung im Jahr 2045.....	152
Abbildung 59:	Entwicklung der Flächenkulisse im LULUCF-Sektor, CARETarget, 2023-2045.....	154
Abbildung 60:	Sensitivitätsanalyse zur Treibhausgasbilanz der lebenden Bäume für zwei Klimaszenarien und deren Einordnung, CARETarget, 1990-2045.....	156
Abbildung 61:	Zusätzlicher Zufluss und mittlerer Zufluss der Jahre 2014-2023 an langlebigen Holzprodukten in den Holzproduktspeicher, CARETarget, 2025-2045.....	157

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Überblick über verwendete Rahmendaten, CARETarget, 2023-2045	31
Tabelle 2:	Treibhausgasemissionen im Szenario CARETarget nach Sektoren in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045....	34
Tabelle 3:	Vergleich der Treibhausgasemissionen entsprechend unterschiedlicher Bilanzierungen von E-fuels in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045	37
Tabelle 4:	Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoff im Szenario CARETarget in ausgewählten Jahren zwischen 2030 und 2045	40
Tabelle 5:	Verbrauch an Biomassebrennstoffen und Holz für stoffliche Holzprodukte in CARETarget in TWh, 2030 und 2045.....	46
Tabelle 6:	Aufkommen an Biomassebrennstoffen in CARETarget in TWh, 2030 und 2045.....	48
Tabelle 7:	Endenergieverbrauch nach Sektoren in CARETarget, 2023-2045	49
Tabelle 8:	Installierte Leistungen (Jahresmitte und Jahresende) der erneuerbaren Energien in CARETarget, 2023-2045	55
Tabelle 9:	Leistung von EE-Fernwärme in CARETarget, 2023-2045	57
Tabelle 10:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft, CARETarget, 2023-2045	60
Tabelle 11:	Flexibilitäten: Installierte Leistung der Elektrolyseure, Volllaststunden, Wasserstoffproduktion, Kapazität der Wasserstoffspeicher, sowie Kapazität, Stromerzeugung und Volllaststunden von Wasserstoffkraftwerken nebst Kapazitäten und Stromerzeugung aus Speichern und DSM, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	65
Tabelle 12:	Residualer Flexibilitätsbedarf in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045	66
Tabelle 13:	Prozesswärmeförderung	70
Tabelle 14:	Produktionsmengen Olefine.....	72
Tabelle 15:	Umfang CO ₂ -Abscheidung in der Industrie.....	73
Tabelle 16:	Produktionsmengen in Hochofenroute.....	73
Tabelle 17:	Weitere Kategorien im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung	77
Tabelle 18:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie, CARETarget, in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045	79
Tabelle 19:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude, CARETarget, in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045	95
Tabelle 20:	Kfz-Steuer im 1. Jahr in € je g CO ₂ /km (WLTP)	101

Tabelle 21:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr, CARETarget, in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045	105
Tabelle 22:	Produktbezogene Preiselastizitäten, Treibhausgasemissionen und Endverbraucherpreise für die Berechnung für ausgewählte tierische Lebensmittel sowie die resultierenden Preisaufschläge, Eigenpreiselastizitäten und Preisannahmen für verschiedene Fleischsorten und Milch	114
Tabelle 23:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft, CARETarget, 2023-2045	120
Tabelle 24:	Entwicklung der Flächennutzung in CARETarget, 2022-2045	123
Tabelle 25:	Entwicklung der Produktion tierischer Produkte in Deutschland in CARETarget, 2023-2045	124
Tabelle 26:	Vergleich von unkompensierten Eigenpreiselastizitäten tierischer Lebensmittel aus unterschiedlichen Studien	130
Tabelle 27:	Vergleich des Treibhausgaspreises bei unterschiedlichen Elastizitäten, 2040-2045	130
Tabelle 28:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges, CARETarget, 2023-2045	138
Tabelle 29:	Zielwerte für Bodenvernässung von Ackerland und Grünland, CARETarget, 2030-2050	141
Tabelle 30:	Zusätzlicher Zufluss an Holzprodukten (Mio. m ³), CARETarget, 2030-2045	143
Tabelle 31:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen und der Aufnahme durch Senken im Sektor LULUCF, CARETarget, 2023-2045	149
Tabelle 32:	Analyse Treibhausgasminderungen durch CARETarget-Maßnahmen und Auswirkungen der Rahmenbedingungen für die Waldmodellierung, 2023-2045	152
Tabelle 33:	Entwicklung der Flächenkulisse im LULUCF-Sektor, CARETarget, 2023-2045	154

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
BAU	Business as usual (Szenario)
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BEG	Bundesförderung effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEV	Battery electric vehicle
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	Block-Heizkraftwerk
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMLEH	Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BWI	Bundeswaldinventur
CARE	Climate protection
CCS	Carbon Capture and Storage
CH₄	Methan
CI	Carbon inventory
CNG	Compressed natural gas
CRF	Common Reporting Format
CRT	Common Reporting Table
CS	CARESupreme
DAC	Direct Air Capture
DACCS	Direct air Capture and Storage
DDOCm	Abbaubarer organischer Kohlenstoff, massebezogen
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DOC	Degradable Organic Carbon
DSM	Demand side management
EED	EU-Effizienzrichtlinie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EER	Einschlagsrückrechnung
EEV	Endenergieverbrauch

Abkürzung	Erläuterung
EF	Emissionsfaktor
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EH	Effizienzhaus
el	Elektrisch
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EnSimiMaV	Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ENTSOG	European Network of Transmission System Operators for Gas
EUA	European Union Allowance
EU-ETS	Europäisches Emissionshandelssystem
EU-ETS-2	Zweites europäisches Emissionshandelssystem
EVS	Einkommens- und Verbrauchsstichprobe
FAME	Fatty acid methyl ester
FCEV	Fuel cell electric vehicle
FEP	Flächenentwicklungsplan
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FM	Frischmasse
Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
GAK	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GV(E)	Großvieheinheit
GW	Gigawatt
GWP	Global Warming Potential
h	Stunden
H ₂	Wasserstoff
ha	Hektar
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HFKW	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
iSFP	Gebäudeindividueller Sanierungsfahrplan

Abkürzung	Erläuterung
JE	Jahresende
JEM	Jahresemissionsmengen
JM	Jahresmitte
KIS-2030	Klimaschutzinstrumente-Szenario 2030
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KSPr	Klimaschutzprogramm
KSpTG	Kohlendioxidspeicherung- und -transportgesetz
kt	Kilotonne
KVBG	Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LED	Leuchtdiode (light-emitting diode)
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LF	Landfläche
LiSE	Livestock and Soil Emissions
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LPG	Liquefied petroleum gas
LULUCF	Land use, land-use change and forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MEPS	Minimum Energy Performance Standards
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MMS25	Mit-Maßnahmen-Szenario der Treibhausgas-Projektionen 2025
Mt	Megatonne
MWh	Megawattstunde
MWMS	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
MWSt	Mehrwertsteuer
N	Stickstoff
NCV	Unterer Heizwert (Net calorific value)
NE	Nichteisen
NEP	Netzentwicklungsplan
NF ₃	Stickstofftrifluorid
NIR	National Inventory Report

Abkürzung	Erläuterung
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative
NMVOC	Non-methane volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan)
N₂O	Lachgas
NWG	Nichtwohngebäude
NWS	Nationale Wasserstoffstrategie
ODS	Ozone-depleting substance
OMS	Ohne-Maßnahmen-Szenario
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
PJ	Petajoule
Pkm	Personenkilometer
PtG	Power-to-Gas
PtL	Power-to-Liquid
PV	Photovoltaik
R	Ressourcenverbrauch
REACH	EU-Chemikalienverordnung (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)
RED	Erneuerbare-Energien-Richtlinie
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biologic Origin
S	CARESupreme
SCR	Selektive katalytische Reduktion
SF₆	Schwefelhexafluorid
SPr	Sofortprogramm
T	CARETarget
TCO	Total Cost of Ownership (Gesamtkosten des Betriebs)
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilometer
TWh	Terawattstunde
TYNDP	Ten Year Network Development Plan
UBA	Umweltbundesamt
WACCS	Waste Carbon Capture and Storage

Abkürzung	Erläuterung
WG	Wohngebäude
WindSeeG	Windenergie-auf-See-Gesetz
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure
WP	Wärmepumpe
WPG	Wärmeplanungsgesetz
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht

Zusammenfassung

In diesen Bericht wird das CARETarget-Szenario dargestellt. Es ist Teil der CARE¹-Szenarien, die Wege zur umfassenden Defossilisierung Deutschlands mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 aufzeigen, siehe Harthan et al. (2025).

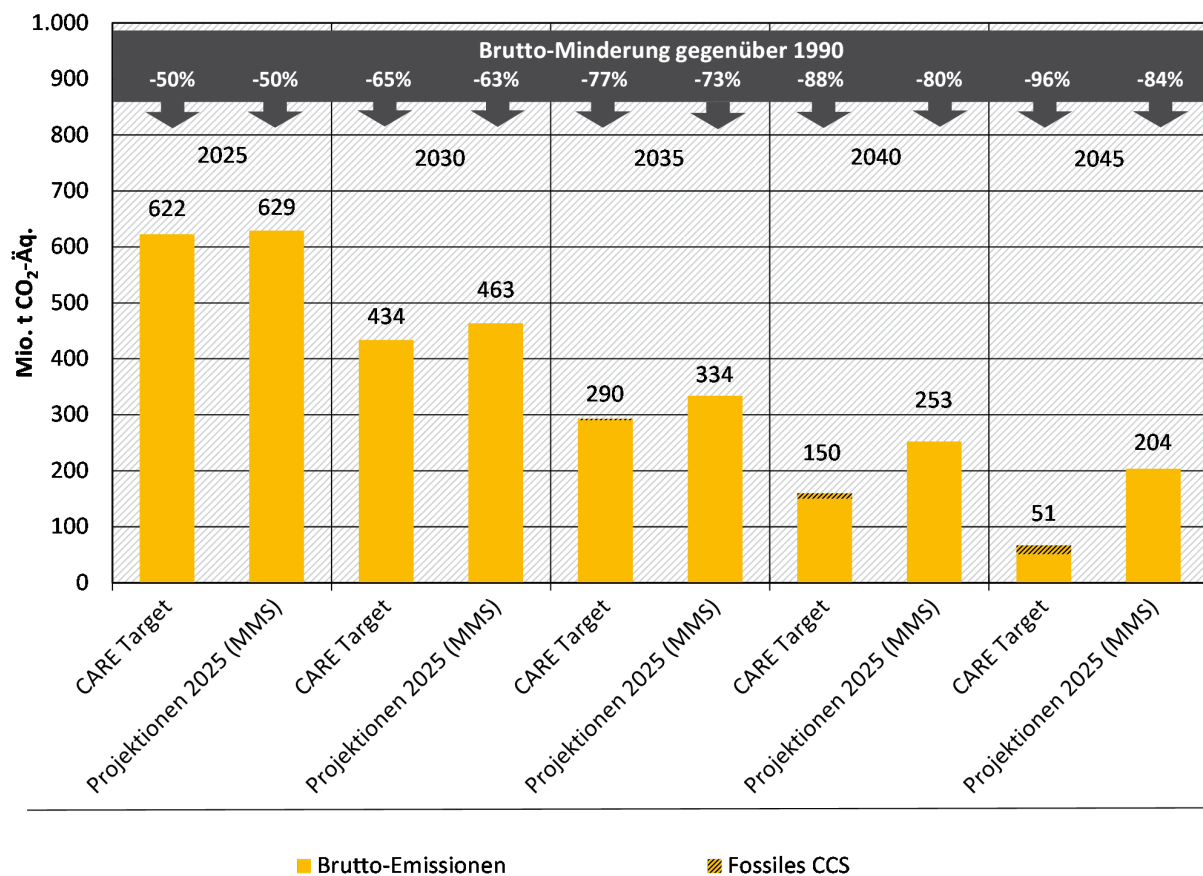
CARETarget baut auf den aktuellen Politiken, Rahmen- und Inventardaten der Treibhausgas-Projektionen 2025 (inklusive der IV. Bundeswaldinventur) (Förster et al. 2025a) auf und zeigt, wie das zentrale Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG), Treibhausgasneutralität bis 2045, erreicht werden kann. Es fokussiert Vorschläge, die am aktuellen Policy Mix ansetzen, um die Lücke zu den Klimaschutzzielen zu schließen.

Es wird gezeigt, wie bis zum Jahr 2030 über alle Sektoren hinweg die summarischen Jahresemissionsmengen nach KSG eingehalten werden. Der weitere Verlauf der Emissionen bis 2040 orientiert sich an den Minderungszielen des KSG. Im Jahr 2040 sind das umgerechnet Bruttoemissionen von 150 Mio. t CO₂-Äq., bevor bis 2045 Treibhausgasneutralität erreicht wird.

Im Jahr 2045 werden noch rund 67 Mio. t CO₂-Äq. erzeugt. **Durch die Netto-Aufnahme von 41,4 Mio. t CO₂-Äq. im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), die Abscheidung und Speicherung von biogenem CO₂ (Bioenergy Carbon Capture and Storage, BECCS) im Umfang von 9,1 Mio. t sowie von fossilem Kohlenstoff (Carbon Capture and Storage, CCS) im Umfang von 16,3 Mio. t CO₂-Äq. werden im Jahr 2045 Netto-Nullemissionen erreicht.** Darüber hinaus werden im Jahr 2045 rund 2 Mio. t CO₂ aus Kunststoffen eingespeichert, die aus atmosphärischem CO₂ hergestellt wurden. Diese Mengen werden nur nachrichtlich in der Treibhausgasbilanz berücksichtigt. Die im Jahr 2045 noch in die Atmosphäre ausgestoßenen Treibhausgase (Bruttoemissionen) betragen 50,6 Mio. t CO₂-Äq..

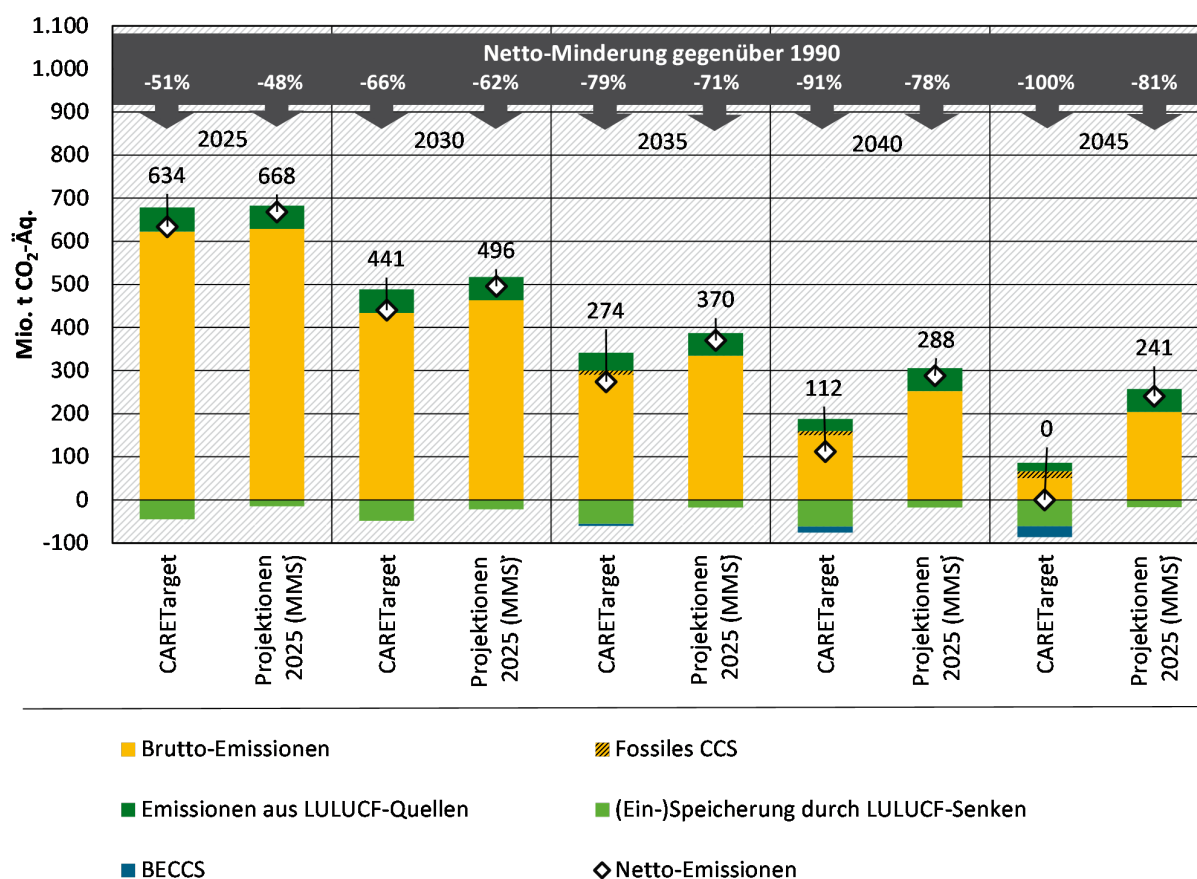
Es wird deutlich, dass in den verbleibenden knapp 20 Jahren weiterhin tiefgreifende Anstrengungen in allen Sektoren erforderlich sind. Gleichwohl kann Treibhausgasneutralität bis 2045 in Deutschland noch gelingen. Mit den im CARETarget-Szenario aufgezeigten Instrumenten und Maßnahmen wird dafür eine Roadmap beschrieben. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2045 im Vergleich zu den derzeitigen Politiken (Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) der Treibhausgas-Projektionen 2025). Die verbleibenden Bruttoemissionen im Szenario CARETarget werden insbesondere durch die LULUCF-Senken sowie durch BECCS kompensiert, um Netto-Nullemissionen zu erreichen.

¹ Climate protection.

Abbildung 1: Brutto-Emissionsminderung in CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkungen: Brutto-Emissionen ergeben sich aus den erzeugten Treibhausgasen abzüglich der abgeschiedenen und gespeicherten Treibhausgase aus fossilem CCS, die als Nullemissionen gelten. Brutto-Emissionen entsprechen also der Kategorie, die zwar fossile Kohlenstoffabscheidung (Nullemissionen), aber noch keine technischen oder natürlichen Senken (Negativemissionen) anrechnet. Sie entsprechen den jährlichen, prozentualen Minderungszielen aus §3 Abs. 1 und Anlage 3 des KSG.

Abbildung 2: Netto-Emissionsminderung in CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045 (inkl. LULUCF und technischer Senken)

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung:

Die Netto-Emissionen beinhalten die Brutto-Emissionen und zusätzlich alle Negativemissionen, die sich aus technischen Entnahmen und dem LULUCF-Sektor ergeben. Sie sind maßgeblich für die Netto-Ziele in §3 Abs. 2 des KSG (Netto-Treibhausgasneutralität, negative Treibhausgasemissionen). Die prozentuale Netto-Minderung berechnet sich ggü. den Brutto-Emissionen im Jahr 1990.

Um dies zu erreichen, braucht es in der Energiewirtschaft, als Fundament für die Defossilisierung der Nachfragesektoren Verkehr, Industrie und Gebäude, ein Festhalten am Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG) sowie einen stetig ambitionierten Ausbau der erneuerbaren Energien und der Strominfrastruktur. Darüber hinaus ist ein gezielter, mengenmäßig begrenzter Aufbau von CO₂-Abscheideeinrichtungen an Müllverbrennungsanlagen und Biomassekraftwerken notwendig.

Im Industriesektor erfordert die Erreichung des Zielpfades zunächst eine quantitative Steigerung bestehender Instrumente zur Elektrifizierung der Prozesswärmeerzeugung und der Einführung klimafreundlicher Produktionsverfahren. Dies beinhaltet auch einen beschleunigten Austausch von Bestandsanlagen. Darüber hinaus müssen nicht vermeidbare, prozessbedingte Treibhausgasemissionen durch andere technische Maßnahmen² adressiert werden. In CARETarget erfolgt dies unter anderem über CCS in der Kalk- und Zementherstellung. Es wird

² Zur Vermeidung durch nicht-technische Maßnahmen (Kreislaufwirtschaft, Materialeffizienz, Materialsubstitution, Suffizienz) siehe Harthan et al. (2025).

unterstellt, dass CCS in der Industrie den Brennstoffwechsel zu defossilisierter Prozesswärmeerzeugung an den betroffenen Standorten nicht hemmt.

Im Gebäudesektor werden fossile Wärmeerzeuger nach ihrem Lebensende zugunsten erneuerbarer ausgetauscht. Dafür zentral ist die 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe im Gebäudeenergiegesetz. Es kommen vor allem dezentrale Wärmepumpen und der Anschluss an ein Fernwärme-Netz zum Einsatz. Die energetische Sanierungsrate verdoppelt sich, was die Effizienz erhöht. Die Gebäude mit dem größten Potenzial Energie einzusparen werden zuerst saniert. Dafür sorgen energetische Mindesteffizienzstandards für Wohn- und Nichtwohngebäude. Haushaltsgeräte und Anwendungen für Prozesswärme im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen werden energieeffizienter durch ambitionierte Vorgaben in der Ökodesign-Richtlinie.

Im Verkehrssektor bietet eine beschleunigte Elektrifizierung und ein effizienterer Betrieb von Pkw im Personenverkehr das größte Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasen. Dies geschieht durch gezielte Maßnahmen wie eine Klimaabgabe zum Zeitpunkt der Anschaffung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sowie die Einführung eines allgemeinen Tempolimits. Gleichzeitig gilt es, klimaschädliche Subventionen wie die steuerliche Bevorzugung von Plug-in-Hybriden im Rahmen der Dienstwagenbesteuerung oder die Entfernungspauschale abzubauen. Flankierend leisten die Fortführung des Deutschlandtickets sowie eine dauerhaft erhöhte und verlässliche Förderung des Radverkehrs einen wichtigen Beitrag zur Attraktivitätssteigerung ressourcenschonender Mobilitätsformen.

Ein wesentlicher Treiber für die Emissionsreduktion im Landwirtschaftssektor ist der Einsatz von Preissteuerungsinstrumenten auf der Seite der Verbraucherinnen und Verbraucher. Über die Erhöhung der Mehrwertsteuer auf tierische Produkte und die Einführung eines Treibhausgaspreises für tierische Produkte wird ein eindeutiges Preissignal gesetzt, in dessen Folge die Nachfrage nach tierischen Produkten sinkt. Die veränderten Nachfragemuster haben auch Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion und führen zu sinkenden Tierbeständen. Darüber hinaus werden technische Minderungsmaßnahmen wie die Vergärung von Wirtschaftsdüngern, aber auch der Einsatz von Zusatzstoffen in der Fütterung und in den Stickstoffdüngern zur Verringerung der landwirtschaftlichen Emissionen eingesetzt. Im Jahr 2045 können durch die technischen Maßnahmen die verbleibenden Emissionen um weitere 17 % gegenüber dem MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 gemindert werden. Trotz aller Maßnahmen hat der Landwirtschaftssektor im Jahr 2045 die höchsten Treibhausgasemissionen.

Aufgrund der langablaufenden organischen Prozesse im Abfallsektor ist eine vollständige Dekarbonisierung auch in ambitionierten Szenarien nicht möglich. Daher müssen alle verfügbaren Maßnahmen ausgeschöpft werden: im Bereich der Deponien wird die Deponiebelüftung auf alle geeigneten Deponien ausgeweitet, organische Abfälle werden weitestgehend getrennt gesammelt und durch eine Reduktion der Lebensmittelabfälle vermindert. Auch im Bereich der Abwasserbehandlung werden Emissionen durch eine geringere Proteinaufnahme in der Ernährung und eine Optimierung der Anlagen reduziert. In Summe können die Emissionen so auf 3 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045 reduziert werden.

Im LULUCF-Sektor werden zum einen bestehende Treibhausgasquellen reduziert und zum anderen Senken zur CO₂-Festlegung gestärkt. Insbesondere durch die Wiedervernässung von organischen Böden sinken die Treibhausgasemissionen aus Quellen, es verbleiben aber im Jahr 2045 noch Treibhausgasemissionen von 34 Mio. t CO₂-Äq. Durch Maßnahmen im Bereich Holzprodukte, Anlage von Agroforst, Waldmehrung und Waldbewirtschaftung wird im Jahr 2045 eine Senke von -75 Mio. t CO₂-Äq. erreicht, so dass die Netto-Treibhausgasbilanz des LULUCF-Sektors im Jahr 2045 -41 Mio. t CO₂-Äq. beträgt.

Summary

This report presents the CARETarget scenario. It is part of the CARE³ scenarios, which outline paths to comprehensive defossilisation of Germany with the goal of achieving greenhouse gas neutrality by 2045, see Harthan et al.(2025).

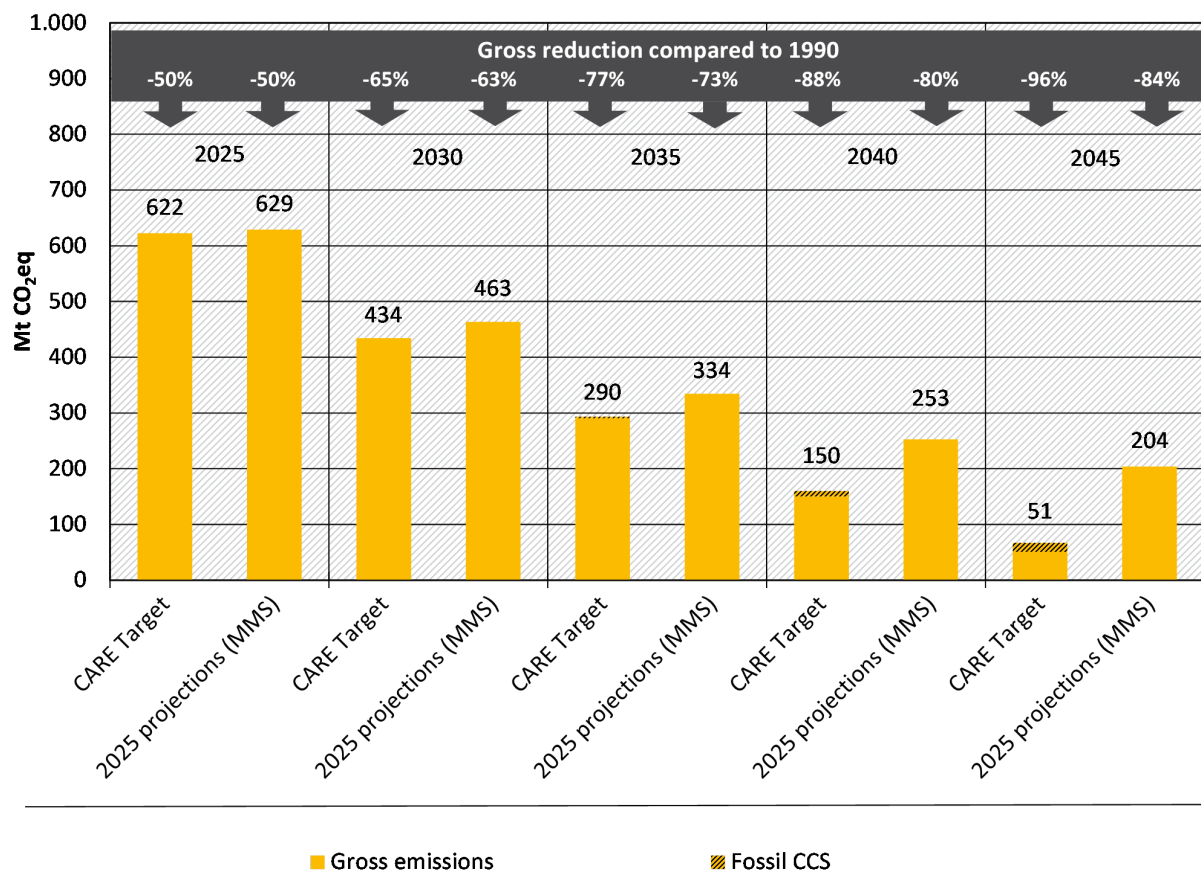
CARETarget is based on current policies, framework and inventory data from the 2025 greenhouse gas projections (including the Fourth National Forest Inventory)(Förster et al. 2025a and shows how the central goal of the Climate Change Act (KSG) – greenhouse gas neutrality by 2045 – can be achieved. It focuses on proposals that build on the current policy mix in order to close the gap to meeting the climate policy targets.

The scenario shows how the total annual emissions across all sectors are kept within the budgets up to 2030 that are set by the KSG. The further development of emissions up to 2040 is based on the reduction targets of the KSG. In 2040, this equates to gross emissions of 150 Mt CO₂eq, with greenhouse gas neutrality achieved by 2045.

In 2045, around 67 million tonnes of CO₂ equivalent (Mt CO₂eq) are still produced. **Net zero emissions are achieved in 2045 through the net removal of 41.4 Mt CO₂eq by the land use, land use change and forestry (LULUCF) sector, the capture and storage of biogenic CO₂ (Bioenergy Carbon Capture and Storage, BECCS) amounting to 9.1 Mt and of fossil CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) amounting to 16.3 Mt CO₂eq.** Furthermore, around 2 Mt CO₂ from plastics produced from atmospheric CO₂ are stored in 2045. These quantities are only included in the greenhouse gas balance for information purposes. The greenhouse gases still emitted into the atmosphere in 2045 (gross emissions) amount to 50.6 Mt CO₂eq.

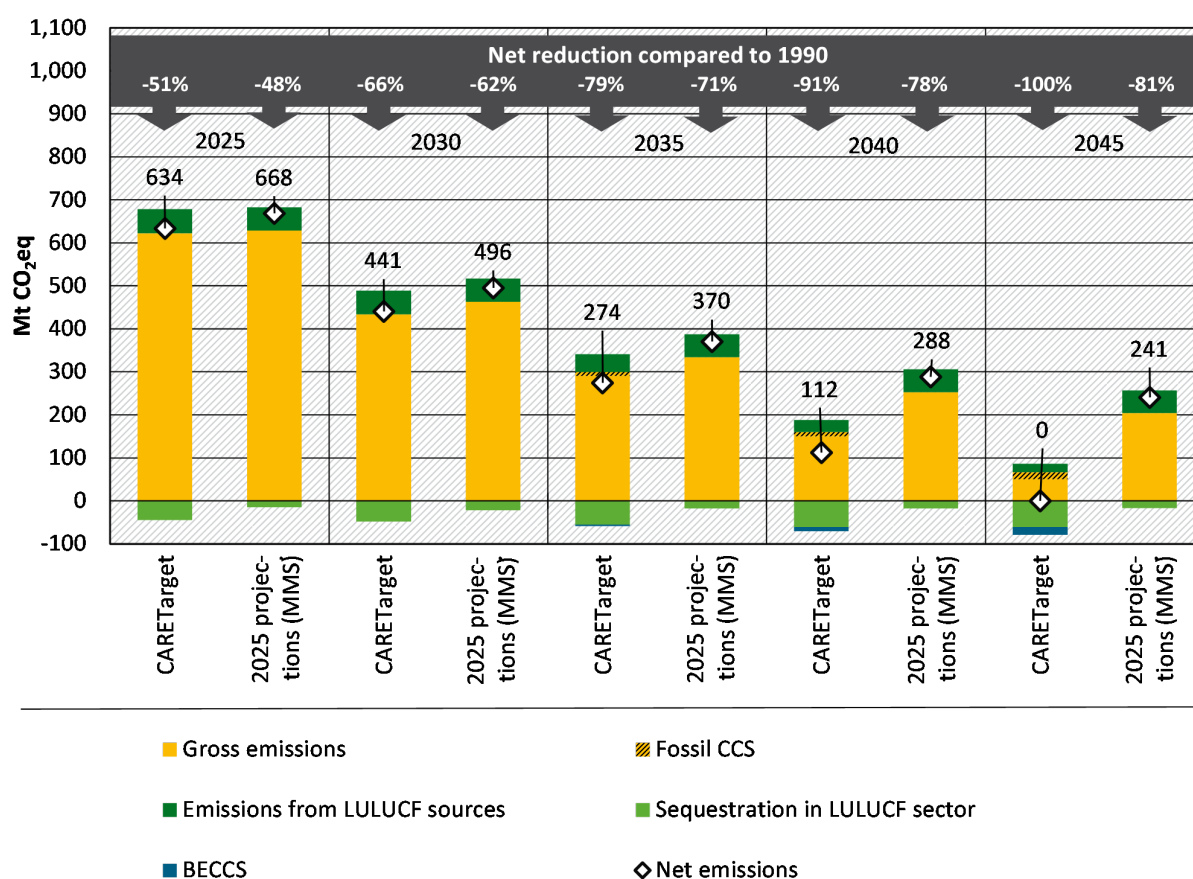
It is clear that profound efforts continue to be necessary in all sectors over the 20 years that remain until 2045. Greenhouse gas neutrality can still be achieved in Germany by 2045. The instruments and measures outlined in the CARETarget scenario show a roadmap for achieving this. Figure 3 and Figure 4 show the development of greenhouse gas emissions up to 2045 compared to current policies ('with measures scenario' (MMS) of the 2025 Projection Report). The remaining gross emissions in the CARETarget scenario are balanced by LULUCF sinks and BECCS in particular in order to achieve net zero emissions.

³ Climate protection.

Figure 3: Gross emission reduction in CARETarget and the 2025 projections (MMS), 2025-2045

Source: UBA (2023), model calculations by Oeko-Institut and Fraunhofer ISI

Notes: The gross emissions are calculated from the greenhouse gases produced minus the greenhouse gases captured and stored via fossil CCS, which are considered zero emissions. The gross emissions therefore correspond to the category that takes fossil carbon capture (zero emissions) into account but does not yet take technical or natural sinks (negative emissions) into account. They correspond to the annual percentage reduction targets set out in Section 3(1) and Annex 3 of the KSG.

Figure 4: Net emission reduction in CARETarget and the 2025 projections (MMS), 2025-2045 (incl. LULUCF and technical sink measures)

Source: UBA (2023), model calculations by Oeko-Institut and Fraunhofer ISI

Notes: The net emissions include the gross emissions and all negative emissions resulting from technical removals and the LULUCF sector. They are crucial for the net targets in Section 3 (2) of the KSG (net greenhouse gas neutrality, negative greenhouse gas emissions). The net reduction in percentage terms is calculated against the gross emissions in 1990.

To achieve this, the energy industry needs to adhere to the German Renewable Energy Sources Act (EEG) as a foundation for defossilising the transport, industry and buildings sectors and to realise a continuously ambitious expansion of renewable energies and of the electricity infrastructure. Furthermore, a targeted, quantitatively limited expansion of carbon capture systems at waste incineration plants and biomass power plants is necessary.

In the industry sector, achieving the target path initially requires a quantitative increase in existing instruments for the electrification of process heat generation and the introduction of climate-friendly production processes. This also includes the accelerated replacement of existing plants. In addition, unavoidable, process-related greenhouse gas emissions must be addressed by other technical measures⁴. In CARETarget, this is achieved by, for example, CCS in lime and cement production. It is assumed that CCS in industry does not inhibit the fuel switch to defossilised process heat generation at the sites concerned.

In the buildings sector, fossil fuel heat generators will be replaced by renewable ones once they reach the end of their service life. A key aspect of this is the German Building Energy Act's requirement that all newly installed heating systems use a minimum of 65 % renewable energy.

⁴ On abatement using non-technical measures (the circular economy, material efficiency, material substitution and sufficiency), see Harthan et al. (2025).

Decentralised heat pumps and connection to a district heating network are primarily used for this purpose. The energy renovation rate doubles, which increases efficiency. The buildings with the greatest potential for energy savings will be renovated first. This is ensured by minimum energy efficiency standards for residential and non-residential buildings. Household appliances and process heat applications in the tertiary sector are becoming more energy-efficient thanks to ambitious requirements in the EU's Ecodesign Directive.

In the transport sector, accelerated electrification and more efficient operation of passenger cars offer the greatest potential for reducing greenhouse gases. This will be achieved through targeted measures such as a climate levy at the time of purchase of vehicles with combustion engines and the introduction of a general speed limit. At the same time, it is important to reduce climate-damaging subsidies such as tax breaks for plug-in hybrids within the framework of company car taxation or the mileage allowance. In addition, the continuation of the Germany-wide ticket ('Deutschland-Ticket') and the permanently increased and reliable promotion of cycling are making an important contribution to increasing the attractiveness of resource-saving modes of transport.

A key driver for reducing emissions in the agricultural sector is the use of price control instruments on the consumer side. Increasing VAT on animal products and introducing a greenhouse gas price for animal products send a clear price signal, resulting in a decline in demand for animal products. The changed demand patterns also have an impact on agricultural production and lead to declining livestock numbers. In addition, technical mitigation measures such as the fermentation of farm manure, but also the use of additives in feed and nitrogen fertilisers, are used to reduce agricultural emissions. In 2045, technical measures reduce remaining emissions by a further 17 % compared to the MMS of the 2025 Projection Report. Despite all these measures, the agricultural sector still has the highest greenhouse gas emissions in 2045.

Due to the long-term organic processes in the waste sector, complete decarbonisation is not possible even in ambitious scenarios. Therefore, all available measures must be exhausted: with a view to landfills, landfill ventilation is extended to all suitable landfills, organic waste is collected separately as far as possible and reduced by decreasing food waste. With a view to wastewater treatment, emissions will also be reduced by lowering protein intake in the diet and optimising facilities. In total, emissions can thus be reduced to 3 Mt CO₂eq in 2045.

In the LULUCF sector, existing greenhouse gas sources are reduced and sinks for carbon sequestration are increased. In particular, the rewetting of organic soils reduces GHG emissions from sources, but greenhouse gas emissions of 34 Mt CO₂eq nevertheless remain in 2045. Measures relating to wood products, agroforestry, forest expansion and forest management achieve a sink of -75 Mt CO₂eq in 2045, resulting in a net greenhouse gas balance of -41 Mt CO₂eq for the LULUCF sector in 2045.

1 Einleitung⁵

In diesem Bericht werden die Ausgestaltung und die Ergebnisse des Szenarios CARETarget dargestellt. Es ist Teil der CARE-Szenarien, die im Rahmen des Forschungsprojektes „Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE)“ entwickelt wurden. Sie zeigen Wege zur umfassenden Defossilisierung Deutschlands mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 auf. Im Vergleich zu den Szenarien CARESupreme und CARETech (Harthan et al. 2025) fokussiert CARETarget einen Pfad entlang der Ziele im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) und baut auf dem bestehenden Policy-Mix auf.

Wesentliche Grundlage des ersten Szenarios, CARESupreme, ist eine umfassende Dekarbonisierung. Dabei sollen bis 2030 eine Treibhausgasminderung von -70 % gegenüber 1990 (ohne LULUCF) und bis 2040 mindestens -90 % (idealerweise -92 %) (ohne LULUCF) erreicht werden. Im Jahr 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral (einschließlich LULUCF) sein. Das Bundes-Klimaschutzgesetz dient als Orientierung zur Erreichung sektoraler Ziele. Der Grundgedanke (Narrativ) von CARESupreme entspricht dem Szenario GreenSupreme aus der 2019 fertiggestellten RESCUE-Studie (Purr et al. 2019). Dabei wird angenommen, dass Klima- und Ressourcenschutz in Wirtschaft und Gesellschaft verinnerlicht sind. Effizienz und Suffizienz sind Teil des alltäglichen Handelns.

Das zweite Szenario, CARETech, weist das gleiche Ambitionsniveau wie CARESupreme auf, wobei ebenfalls Treibhausgasneutralität (mit LULUCF) bis 2045 erreicht werden soll. Gleichmaßen sollen die (sektoralen) Zwischenziele erreicht werden. Die Ausgestaltung der klimapolitischen Instrumente des Szenarios CARETech basiert auf CARESupreme, wobei Instrumente in Bezug auf Effizienz und Suffizienz auf das Niveau des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) der Treibhausgas-Projektionen 2024 abgesenkt bzw. teilweise gestrichen wurden. Die aufgrund geringerer Effizienz und Suffizienz entstehenden Zielerreichungslücken in CARETech wurden überwiegend durch Technologiewechsel und zusätzlichen Energiebedarf (z. B. Erneuerbare Energien, Strom, Wasserstoff) gedeckt.

Das in diesem Bericht dargestellte Szenario CARETarget weist im Vergleich zu CARESupreme und CARETech kein eigenes Narrativ zum Ausloten von Grenzen des Lösungsraumes auf.

CARETarget basiert auf den aktuellen Politiken, insbesondere den in den Treibhausgas-Projektionen 2025 enthaltenen Instrumenten, und ergänzt bzw. verschärft das Modellinstrumentarium, um die Klimaziele zu erreichen. Für das Szenario CARETarget wurden sektorale Jahresemissionsmengen (JEM) vom Auftraggeber vorgegeben. Diese dienten als Orientierungsrahmen für die sektorale Modellierung. **Ziel in CARETarget ist es, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, vornehmlich die sektorübergreifenden Gesamtminderungen in den Zieljahren zu erreichen.**

Zentraler Unterschied zwischen CARESupreme und CARETech sowie CARETarget ist, dass erstere auf den Treibhausgas-Projektionen 2024 und der dortigen Datengrundlage (Harthan et al. 2024) sowie auf für CARESupreme und CARETech abgestimmten Rahmenannahmen basieren, während in CARETarget die Rahmendaten der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Kemmler et al. 2025) genutzt wurden. Gleichmaßen werden in CARETarget die Treibhausgas-Inventardaten von 2025 verwendet, während CARESupreme und CARETech auf dem Treibhausgas-Inventar von 2024 basieren. CARETarget bietet damit eine unmittelbare Anschlussfähigkeit an die aktuelle Datengrundlage.

⁵ Teile dieses Kapitels sind Harthan et al. (2025) entnommen.

Die grundsätzliche Modellierungsmethodik entspricht dem Vorgehen in CARESupreme und CARETech. Eine Beschreibung kann Harthan et al. (2025) entnommen werden.

In Sektorworkshops zwischen Umweltbundesamt und den Forschungsnehmenden wurden für jeden Sektor die konkreten Instrumente festgelegt, mit denen die Treibhausgasminderungsziele erreicht werden sollen. Dabei wurden klimapolitische Instrumente konkret parametrisiert, beispielsweise Gesetze, Regulierungen, ökonomische Instrumente oder finanzielle Fördermechanismen (z.B. Haushaltsmittel). Die klimapolitischen Instrumente zielen auf ein breites Spektrum an Klimaschutzmaßnahmen und damit verbundenen Treibhausgasminderungen.

Die Instrumentierung baut auf dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) (bzw. – wo geeignet – dem Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)) der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2024) auf. Für Treibhausgasneutralität und Kompatibilität mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz und anderen Gesetzen wird in CARETarget Treibhausgasneutralität durch eine starke natürliche Kohlenstoffsenke ergänzt durch CCS, BECCS und WACCS (Waste Carbon Capture and Storage)⁶ erreicht.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die wichtigsten dem Szenario CARETarget zugrundeliegenden Rahmenannahmen. Kapitel 3 beschreibt die Gesamtergebnisse von CARETarget. Kapitel 4 bis Kapitel 10 zeigen die Ergebnisse der einzelnen Sektoren.

⁶ Darüber hinaus war in CARETarget die Nutzung von DACCS (CO₂-Abscheidung aus der Luft mit unterirdischer Speicherung) zulässig. DACCS war jedoch zur Zielerreichung nicht notwendig und kam deshalb nicht zum Einsatz.

2 Rahmendaten

Für CARETarget wurden die allgemeinen Rahmendaten der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Kemmler et al. 2025) verwendet. Die Rahmendaten betreffen die Entwicklung demographischer und gesamtwirtschaftlicher Parameter, die Entwicklung der Primärenergiepreise, die Preise im europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) und im Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) bzw. im zweiten europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS-2) sowie Preise für Wasserstoff (H₂). Informationen zur Herleitung der Annahmen sowie weitere Details können Kemmler et al. (2025) entnommen werden.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Rahmendaten, die für die Modellierung von CARETarget verwendet werden.

Tabelle 1: Überblick über verwendete Rahmendaten, CARETarget, 2023-2045

	Einheit	2023	2030	2035	2040	2045
Bevölkerung	Mio.	83,4	84,1	84,0	83,7	83,2
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. Euro ₂₀₂₃	4.186	4.441	4.632	4.858	5.124
Primärenergiepreise						
Rohöl Brent	Euro ₂₀₂₃ /MWh (NCV)	45	38	37	36	34
Steinkohle	Euro ₂₀₂₃ /MWh (NCV)	17	7	7	6	5
Erdgas	Euro ₂₀₂₃ /MWh (NCV)	60	21	19	18	17
Wasserstoff	Euro ₂₀₂₃ /MWh (NCV)			137	126	118
EU-ETS-Preis	Euro ₂₀₂₃ /EUA	86	95	140	169	181
CO₂-Preis (BEHG bzw. EU-ETS 2)	Euro ₂₀₂₃ /t	30	102	150	188	217

Quelle: Kemmler et al. (2025)

Weitere wichtige Rahmenannahmen:

- ▶ Wasserstoff (H₂): wird gemäß Nationaler Wasserstoffstrategie (NWS) national hergestellt. Zusätzlicher Wasserstoff kann importiert werden.
- ▶ Synthetische Flüssigkraftstoffe (PtL): werden z.T. inländisch produziert, z.T. importiert.
- ▶ Keine Restriktionen bezüglich Stromimport bzw. -export
- ▶ Biomasse: wenn möglich, ausgeglichene Biomasse-Bilanz, Biomasse-Importe sollen auf jeden Fall auf aktuelles Niveau begrenzt werden; Import von Biokraftstoffen ist zulässig

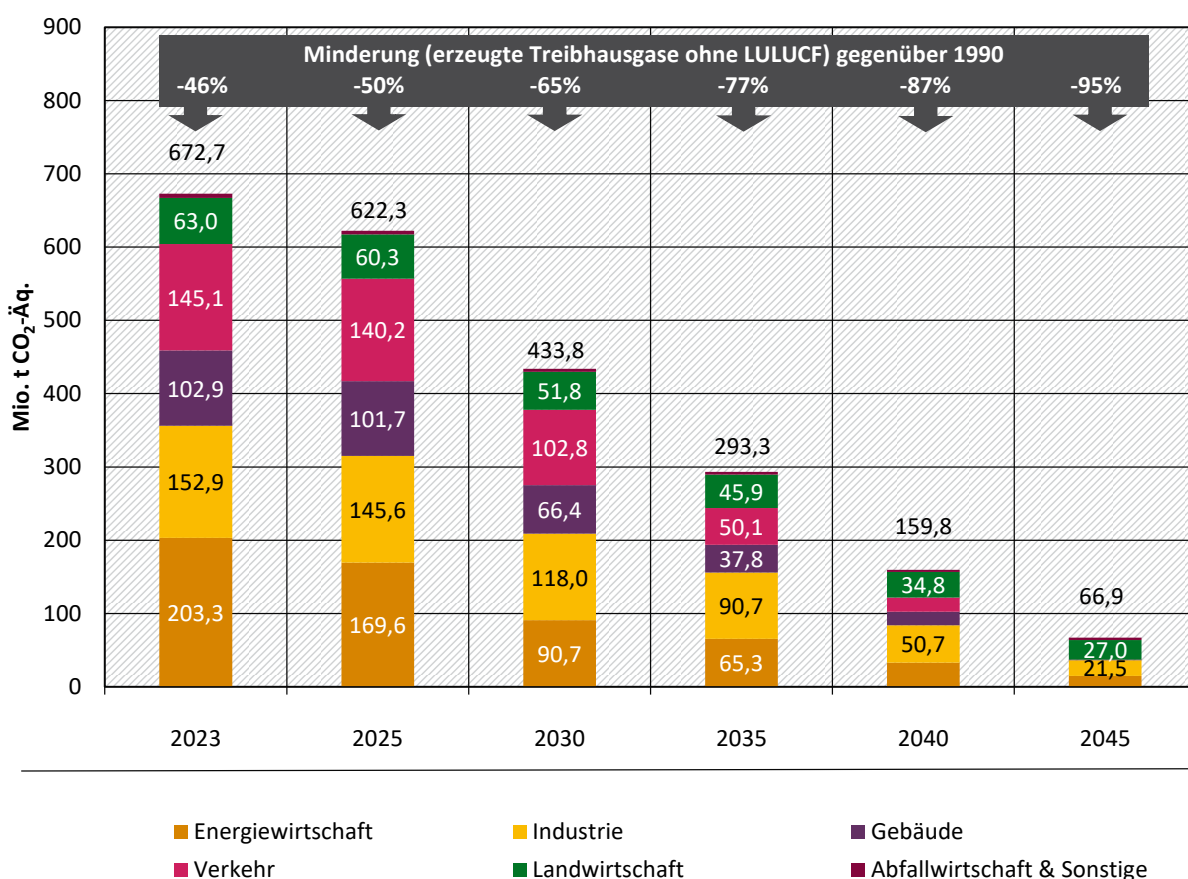
Sektorale Annahmen können den Sektor-Kapiteln entnommen werden.

3 Gesamtergebnisse

3.1 Treibhausgasemissionen

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der erzeugten Treibhausgase im Szenario CARETarget. Bis zum Jahr 2030 wird eine Treibhausgasminderung von rund 800 Mio. t CO₂-Äq. bzw. 65,0 % ggü. 1990 erreicht. **Im Jahr 2045 werden rund 67 Mio. t CO₂-Äq. erzeugt. Davon werden noch 50,6 Mio. t CO₂-Äq. in die Atmosphäre ausgestoßen**, siehe Abbildung 7. Die jährlichen Brutto-Emissionen (definiert als erzeugte Treibhausgase abzüglich fossiles CCS; ohne natürliche und technische Senken) liegen im Bereich der im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebenen Ziele (Abbildung 6). Darüber hinaus sind die Emissionen bzw. die Einspeicherung von CO₂ im LULUCF-Sektor zu berücksichtigen (Abbildung 7). Die Netto-Senke dieses Sektors beträgt im Jahr 2045 rund 41 Mio. t CO₂-Äq.⁷

Abbildung 5: Erzeugte Treibhausgase in den KSG-Sektoren im Szenario CARETarget, 2023-2045

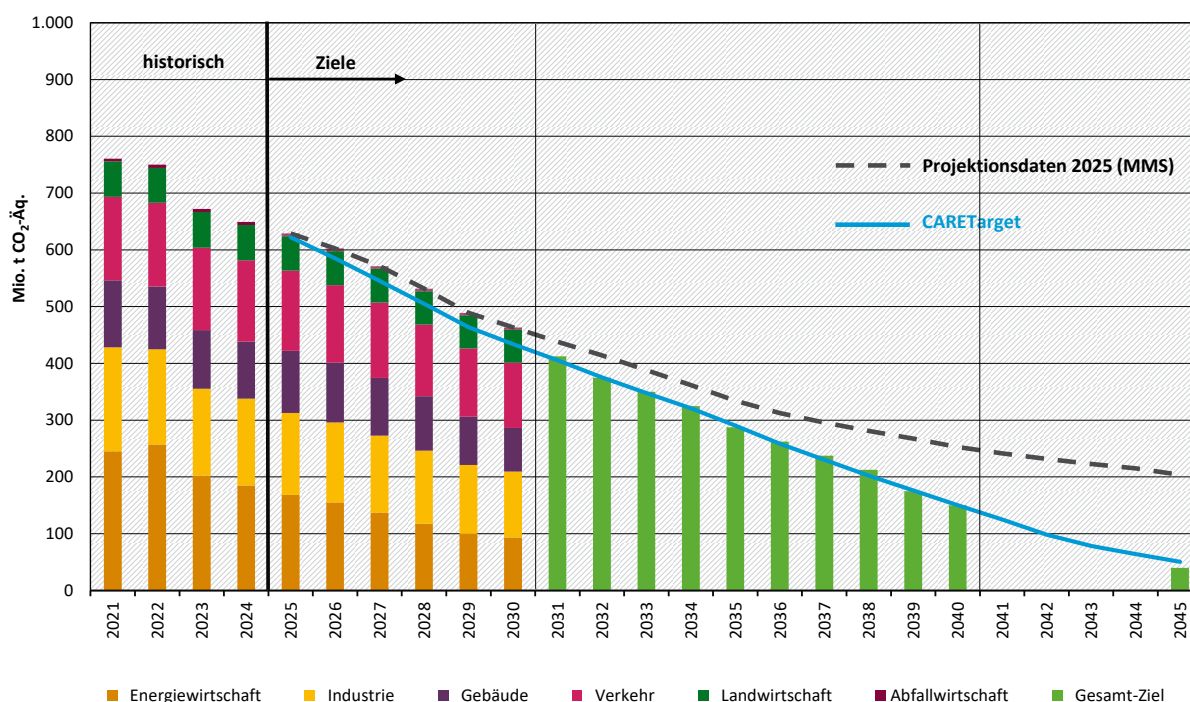


Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: Der Wert der erzeugten Treibhausgase beinhaltet alle Emissionen (exklusive des LULUCF-Sektors) ohne Kohlenstoffabscheidung. Das bedeutet, dass in diesem Wert auch alle fossilen Emissionen enthalten sind, die beispielsweise als Prozessemissionen in der Industrie oder an Müllverbrennungsanlagen entstehen und abgeschieden werden, um anschließend dauerhaft gespeichert werden („fossiles CCS“).

⁷ Die Berechnung der Emissionen und der CO₂-Aufnahme durch Senken im LULUCF-Sektor beruht auf der Submission 2025 des nationalen Treibhausgas-Inventars. In dieser Einreichung ist aufgrund methodischer Änderungen die Netto-Senke geringer als in den Einreichungen früherer Jahre.

Abbildung 6: Entwicklung der Brutto-Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045

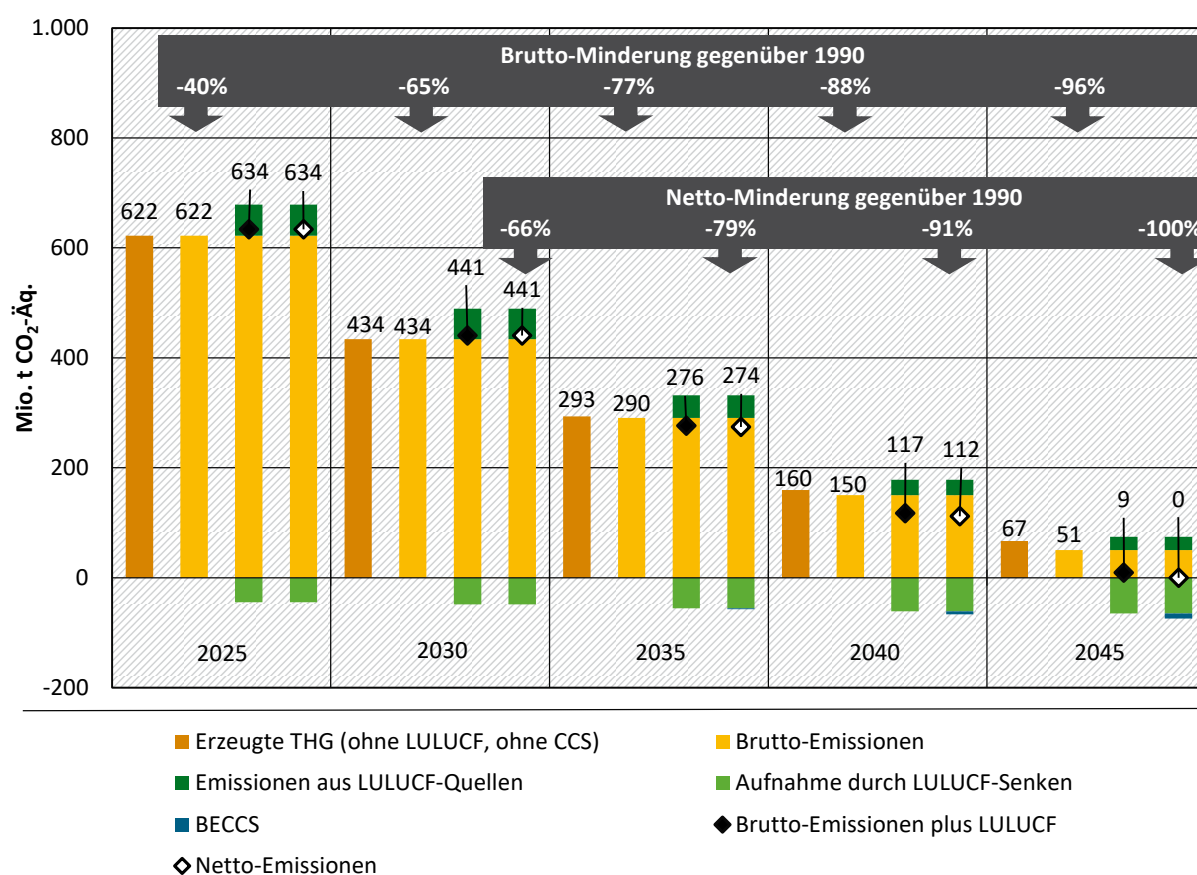


Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: Das in der Abbildung dargestellte Gesamt-Ziel für 2045 ist 40 Mio. t CO₂-Äq. Dabei handelt es sich nicht um ein gesetzlich festgelegtes Ziel für die Restemissionen, sondern um den Betrag des im KSG festgelegten Beitrags des LULUCF-Sektors für das Jahr 2045.

In Abbildung 6 ist zu sehen, dass die Brutto-Emissionen im Jahr 2045 über dem Senkenbeitrag des LULUCF-Sektors gemäß KSG (40 Mio. t CO₂-Äq.) und den Modellierungsergebnissen von 41 Mio. t CO₂-Äq. liegen. Die Lücke zwischen diesem Wert und den Brutto-Emissionen wird durch technische Senken geschlossen.⁸ **Die natürliche Kohlenstoffsенке (LULUCF) wird durch Negativemissionen aus der Energiewirtschaft (BECCS, WACCS) sowie BECCS in der Industrie ergänzt. So werden die erzeugten Treibhausgase entweder am Ausstoß in die Atmosphäre gehindert oder durch Negativemissionen in anderen Sektoren kompensiert, sodass im Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird (Abbildung 7).**

⁸ Im Folgenden werden biogene Kohlenstoffentnahmen konsequent mit einem Minus versehen, um ihre Wirkung als Negativemission zu verdeutlichen, auch wenn die Formulierung, z. B. Entnahme oder Senke, dies bereits impliziert. Die Abscheidung und Einspeicherung von Kohlendioxid fossilen Ursprungs wird mit einem (-) gekennzeichnet, da es eine Nullemission und keine Negativemission ist, jedoch eine negative Wirkung auf die erzeugten Emissionen hat.

Abbildung 7: Brutto- und Netto-Emissionsminderung im Szenario CARETarget, 2025-2045

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkungen:

Der Wert der erzeugten Treibhausgase beinhaltet alle Treibhausgase (exklusive des LULUCF-Sektors) ohne Kohlenstoffabscheidung. Das bedeutet, dass in diesem Wert auch alle fossilen Emissionen enthalten sind, die beispielsweise als Prozessemissionen in der Industrie oder an Müllverbrennungsanlagen entstehen und abgeschieden werden, um anschließend dauerhaft gespeichert werden („fossiles CCS“).

Brutto-Emissionen ergeben sich aus den erzeugten Treibhausgasen abzüglich der abgeschiedenen und gespeicherten Treibhausgase aus fossilem CCS, die als Nullemissionen gelten. Brutto-Emissionen entsprechen also der Kategorie, die zwar fossile Kohlenstoffabscheidung (Nullemissionen), aber noch keine technischen oder natürlichen Senken (Negativemissionen) anrechnet. Sie entsprechen den jährlichen, prozentualen Minderungszielen aus §3 Abs. 1 und Anlage 3.

Die Netto-Emissionen beinhalten die Brutto-Emissionen und zusätzlich alle Negativemissionen, die sich aus technischen Entnahmen und dem LULUCF-Sektor ergeben. Sie sind maßgeblich für die Netto-Ziele in §3 Abs. 2 (Netto-Treibhausgasneutralität, negative Treibhausgasemissionen). Die prozentuale Netto-Minderung berechnet sich ggü. den Brutto-Emissionen im Jahr 1990.

Tabelle 2: Treibhausgasemissionen im Szenario CARETarget nach Sektoren in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045

Sektor	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Erzeugte Treibhausgase (exkl. CCS, BECCS, WACCS, DACCS):						
Energiewirtschaft	203,3	169,6	90,7	65,3	33,1	14,8

Sektor	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Industrie	152,9	145,6	118,0	90,7	50,7	21,5
Gebäude	102,9	101,7	66,4	37,8	18,8	0,5
Verkehr	145,1	140,2	102,8	50,1	19,1	0,1
Landwirtschaft	63,0	60,3	51,8	45,9	34,8	27,0
Abfallwirtschaft und Sonstiges	5,5	5,0	4,1	3,6	3,2	3,0
Gesamt (erzeugte Treibhausgase)	672,7	622,4	433,8	293,3	159,8	66,9
<i>Minderung in Prozent gegenüber 1990</i>	<i>-46,3 %</i>	<i>-50,3 %</i>	<i>-65,4 %</i>	<i>-76,6 %</i>	<i>-87,2 %</i>	<i>-94,7 %</i>
Fossiles WACCS (Energiewirtschaft)	0,0	0,0	0,0	(-)1,2	(-)4,0	(-)6,2
Fossiles CCS aus Brennstoffen in der Industrie	0,0	0,0	0,0	(-)0,6	(-)1,4	(-)0,6
Fossiles CCS aus Industrieprozessen	0,0	0,0	0,0	(-)1,1	(-)4,0	(-)9,5
Gesamt inkl. fossiles CCS (=Brutto-Emissionen)	672,7	622,4	433,8	290,4	150,3	50,6
<i>Minderung in Prozent gegenüber 1990</i>	<i>-46,3 %</i>	<i>-50,3 %</i>	<i>-65,4 %</i>	<i>-76,8 %</i>	<i>-88,0 %</i>	<i>-96,0 %</i>
LULUCF	69,7	11,4	6,7	-14,3	-33,2	-41,4
LULUCF-Senke innerhalb des LULUCF-Sektors ⁹	-4,8	-44,8	-48,6	-55,7	-61,3	-65,1
Gesamt (inkl. LULUCF)	742,4	633,8	440,6	276,2	117,1	9,2

Technische Negativemissionen:

Biogenes WACCS (BECCS) (Energiewirtschaft)	0,0	0,0	0,0	-1,2	-3,1	-7,4
BECCS (Industrie)	0,0	0,0	0,0	-0,5	-2,0	-1,8
WACCS von Kunststoffen auf Basis von atmosphärischem CO ₂ (Energiewirtschaft) ¹⁰	0,0	0,0	0,0	0,0	(-)0,3	(-)2,1
DACCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt gespeichertes CO₂ (CCS, BECCS, DACCS, WACCS)	0,0	0,0	0,0	(-)4,6	(-)14,9	(-)27,6
Gesamt technische Negativemissionen aus BECCS	0,0	0,0	0,0	-1,7	-5,1	-9,1
Gesamt inkl. LULUCF und BECCS, WACCS, DACCS (=Netto-Emissionen)	742,4	633,8	440,6	274,5	112,0	0,0
<i>Minderung in Prozent gegenüber 1990</i>	<i>-40,5 %</i>	<i>-50,8 %</i>	<i>-65,8 %</i>	<i>-78,7 %</i>	<i>-91,3 %</i>	<i>-100,0 %</i>
Internationaler Luft- und Seeverkehr	32,1	31,0	30,1	25,6	17,1	8,5

⁹ Summe der Netto-Aufnahme durch Senken in jenen LULUCF-Kategorien, die eine Senke darstellen. In allen Jahren stellen die Kategorien Wälder und Holzprodukte eine Senke dar.

¹⁰ In CARETarget werden die Ausgangsstoffe für Kunststoffe auf Basis von atmosphärischem Kohlenstoff importiert. Die Senke entsteht im Ausland und die Einspeicherung im Inland wird nicht bilanziert. Eine Ausnahme stellt die Zeile „Gesamtes gespeichertes CO₂ (CCS, BECCS, DACCS, WACCS)“ dar, die keine Bilanz, sondern eine Mengenangabe ist. Da bei inländischer Abscheidung und über die gesamte Prozesskette eine Negativemission entstünde, ist der Posten hier aufgeführt, wenn auch nicht bilanziert.

Sektor	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Weitere Emissionen (nicht in der Zeile „Gesamt“ enthalten) ¹¹ :						
CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels im nationalen Verkehr	0,0	0,0	0,3	1,8	2,9	10,9
CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels im internationalen Luft- und Seeverkehr	0,0	0,0	0,6	3,0	12,1	22,3
CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von Kunststoffen auf Basis von atmosphärischem CO ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	2,0

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

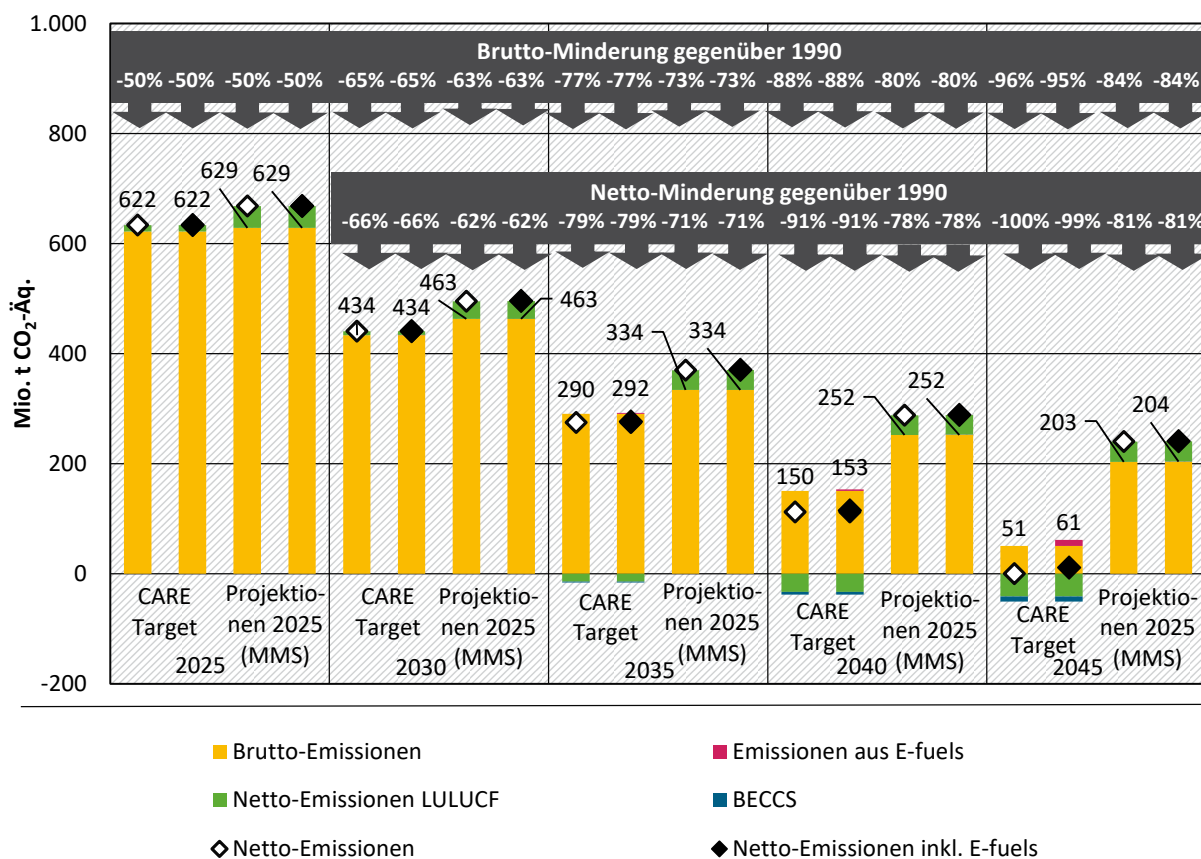
Wie in Tabelle 2 angegeben, sind CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels nicht in den Zeilen „Gesamt“ enthalten. Abbildung 8 zeigt die Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels im nationalen Verkehr im Kontext der Gesamtemissionen. Unter Berücksichtigung der Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels erhöhen sich die Brutto- und Netto-Emissionen im Jahr 2045 um rund 11 Mio. t CO₂-Äq. im Szenario CARETarget. Detaillierte Zahlen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Unterschiede in der Bilanzierung von E-fuels

Für alle Brennstoffe werden die verbrennungsbedingten Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) berechnet. Die Bilanzierung der Emissionen aus der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen strombasierten Brennstoffen (wie z. B. PtL-Kraftstoffe) in CARETarget weicht von den Regeln der Treibhausgasinventare ab. Die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von importierten PtL-Kraftstoffen werden separat angegeben und sind nicht in der Gesamtbilanz der Emissionen enthalten.

¹¹ Siehe untenstehende Box.

Abbildung 8: Emissionsminderung in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) mit und ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels im nationalen Verkehr, 2025-2045



Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: Pro Jahr und Szenario ist ein Balken ohne und ein Balken mit Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels dargestellt. Die Zahlenwerte über den Balken stellen Brutto-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq. dar.

Tabelle 3: Vergleich der Treibhausgasemissionen entsprechend unterschiedlicher Bilanzierungen von E-fuels in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045

Sektor	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Brutto-Treibhausgasemissionen:						
Exkl. E-fuels (CARETarget)	672,7	622,4	433,8	290,4	150,3	50,6
Minderung in % gegenüber 1990 <i>exklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels (CARETarget)	-46,3 %	-50,3 %	-65,4 %	-76,8 %	-88,0 %	-96,0 %
Exkl. E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	672,7	628,8	463,1	333,8	252,2	203,4
Minderung in % gegenüber 1990 <i>exklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	-46,3 %	-49,8 %	-63,0 %	-73,4 %	-79,9 %	-83,8 %

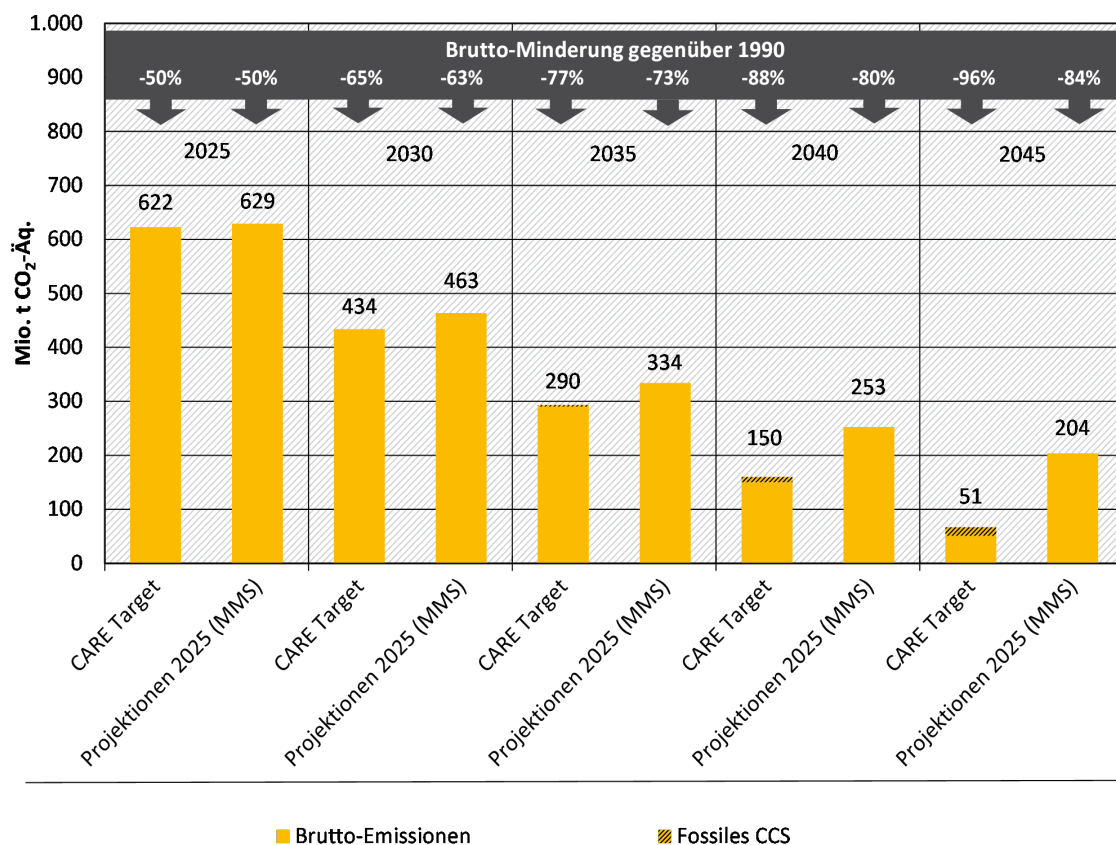
Sektor	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Inkl. E-fuels (CARETarget)	672,7	622,4	434,2	292,2	153,2	61,4
Minderung in % gegenüber 1990 <i>inklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels (CARETarget)	-46,3 %	-50,3 %	-65,4 %	-76,7 %	-87,8 %	-95,1 %
Inkl. E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	672,7	628,8	463,4	334,2	252,6	204,0
Minderung in % gegenüber 1990 <i>inklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	-46,3 %	-49,8 %	-63,0 %	-73,3 %	-79,8 %	-83,7 %
Netto-Treibhausgasemissionen (inkl. LULUCF, BECCS; DACCS):						
Exkl. E-fuels (CARETarget)	742,4	633,8	440,6	274,5	112,0	0,0
Exkl. E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	742,4	668,3	495,4	369,8	288,0	240,1
Inkl. E-fuels (CARETarget)	742,4	633,8	440,9	276,3	114,9	10,9
Minderung in % gegenüber 1990 <i>inklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels (CARETarget)	-42,4 %	-50,8 %	-65,8 %	-78,6 %	-91,1 %	-99,2 %
Inkl. E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	742,4	668,3	495,7	370,2	288,4	240,6
Minderung in % gegenüber 1990 <i>inklusive</i> der CO ₂ -Emissionen der Verbrennung von E-fuels (Projektionen 2025 (MMS))	-42,4 %	-48,1 %	-61,5 %	-71,3 %	-77,6 %	-81,3 %
CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels:						
... im nationalen Verkehr (CARETarget)	0,0	0,0	0,3	1,8	2,9	10,9
Minderung in % gegenüber 1990 im Sektor Verkehr <i>inklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels	-11,1 %	-14,1 %	-36,8 %	-68,2 %	-86,5 %	-93,3 %
Minderung in % gegenüber 1990 im Sektor Verkehr <i>exklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels	-11,1 %	-14,1 %	-37,0 %	-69,3 %	-88,3 %	-99,9 %
... im nationalen Verkehr (Projektionen 2025 (MMS))	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,5
Minderung in % gegenüber 1990 im Sektor Verkehr <i>inklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels	-11,1 %	-13,6 %	-29,5 %	-59,8 %	-81,2 %	-91,0 %
Minderung in % gegenüber 1990 im Sektor Verkehr <i>exklusive</i> der CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von E-fuels	-11,1 %	-13,6 %	-29,7 %	-60,0 %	-81,5 %	-91,3 %

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Abbildung 9 zeigt die Bruttoemissionen in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS). **Im Jahr 2045 werden rund 51 Mio. t CO₂-Äq. ausgestoßen.** Die Nettoemissionen, einschließlich der Emissionen aus LULUCF-Quellen, der Einspeicherung in

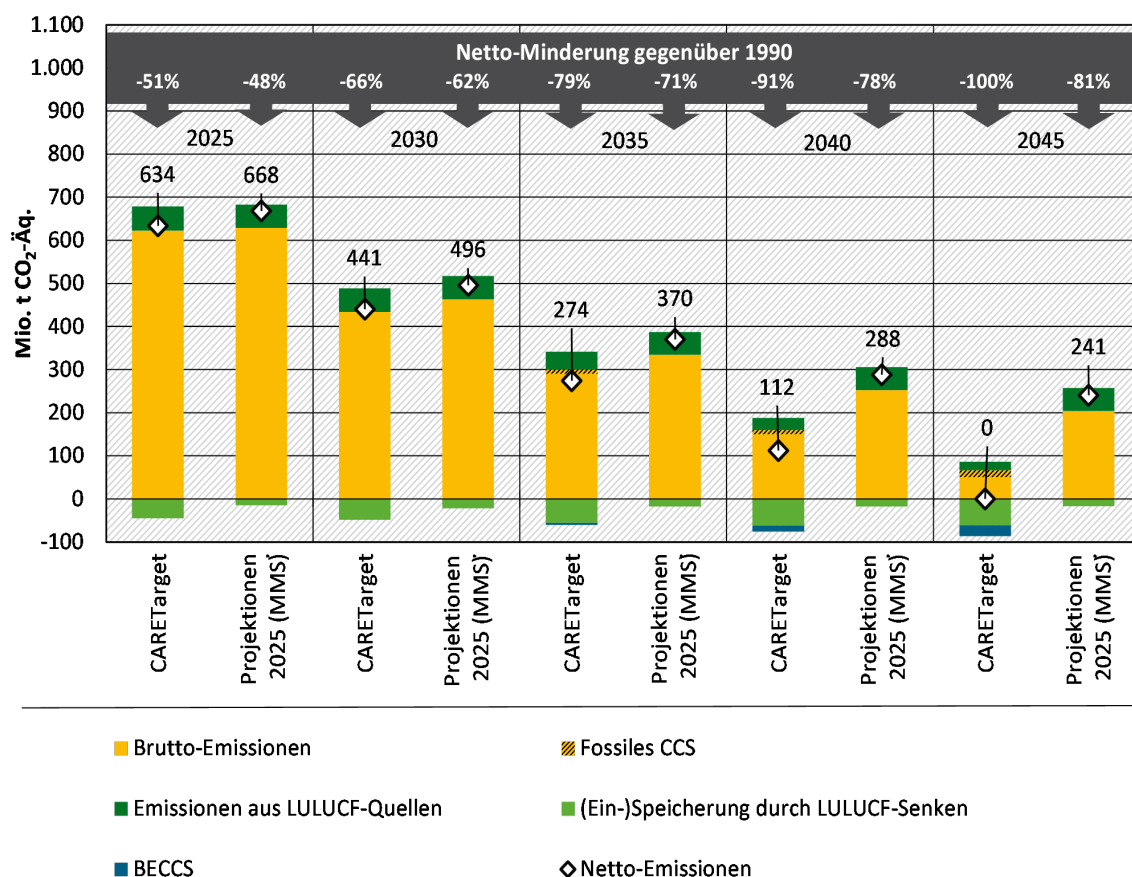
LULUCF-Senken sowie der Negativemissionen durch BECCS, sind in Abbildung 10 dargestellt. Insbesondere aufgrund der großen LULUCF-Senke erreicht das Szenario im Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität (0 Mio. t CO₂-Äq.).

Abbildung 9: Brutto-Emissionsminderung in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045



Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkungen: Brutto-Emissionen ergeben sich aus den erzeugten Treibhausgasen abzüglich der abgeschiedenen und gespeicherten Treibhausgase aus fossilem CCS, die als Nullemissionen gelten. Brutto-Emissionen entsprechen also der Kategorie, die zwar fossile Kohlenstoffabscheidung (Nullemissionen), aber noch keine technischen oder natürlichen Senken (Negativemissionen) anrechnet. Sie entsprechen den jährlichen, prozentualen Minderungszielen aus §3 Abs. 1 und Anlage 3.

Abbildung 10: Netto-Emissionsminderung in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045 (inkl. LULUCF und technischer Senken)

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung:

Die Netto-Emissionen beinhalten die Brutto-Emissionen und zusätzlich alle Negativemissionen, die sich aus technischen Entnahmen und dem LULUCF-Sektor ergeben. Sie sind maßgeblich für die Netto-Ziele in §3 Abs. 2 (Netto-Treibhausgasneutralität, negative Treibhausgasemissionen). Die prozentuale Netto-Minderung berechnet sich ggü. den Brutto-Emissionen im Jahr 1990.

Tabelle 4 zeigt eine detaillierte Aufstellung der Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoff (CCS) im Szenario CARETarget (das Szenario MMS enthält kein CCS). In der Energiewirtschaft wird CCS in der Abfallverbrennung eingesetzt. Dadurch wird biogenes und fossiles CO₂ aus Abfall sowie CO₂ aus Kunststoffen, die auf Basis von atmosphärischem CO₂ hergestellt wurden, gespeichert. Außerdem wird biogenes CO₂ aus weiteren Biomasseanlagen der Energiewirtschaft gespeichert. In der Industrie wird sowohl fossiles als auch biogenes CO₂ aus Prozessen gespeichert. Außerdem geschieht BECCS an Industriekraftwerken und Prozessfeuerungen.

Tabelle 4: Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoff im Szenario CARETarget in ausgewählten Jahren zwischen 2030 und 2045

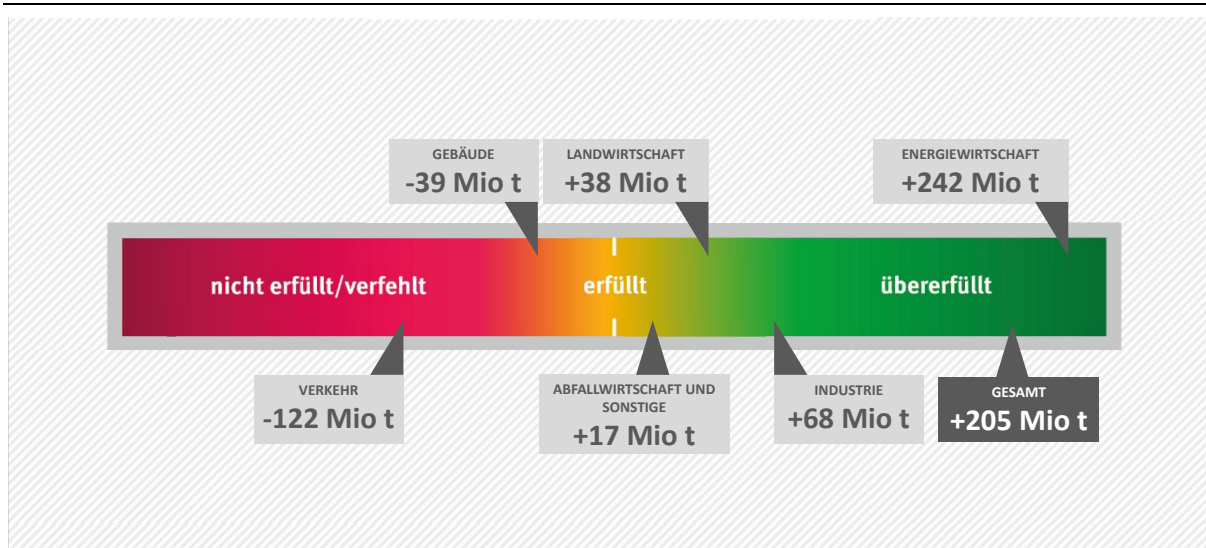
Sektor/Kategorie	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.				
Energiewirtschaft				
Fossiles WACCS	0,0	(-)1,2	(-)4,0	(-)6,2

Sektor/Kategorie	2030	2035	2040	2045
WACCS von Kunststoffen auf Basis von atmosphärischem CO ₂	0,0	0,0	-0,3	-2,1
Biogenes WACCS (BECCS)	0,0	-1,2	-3,1	-7,4
Industrie:				
Fossiles CCS aus Industrieprozessen	0,0	(-)1,1	(-)4,0	(-)9,5
Fossiles CCS aus Brennstoffen	0,0	(-)0,6	(-)1,4	(-)0,6
BECCS in der Industrie	0,0	(-)0,5	(-)2,0	(-)1,8
Summe CO₂-Abscheidung	0,0	(-)4,6	(-)14,9	(-)27,6
WACCS (fossil, atmosphärisch, biogen) gesamt	0,0	(-)2,4	(-)7,4	(-)15,7
BECCS gesamt	0,0	-1,7	-5,1	-9,1

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

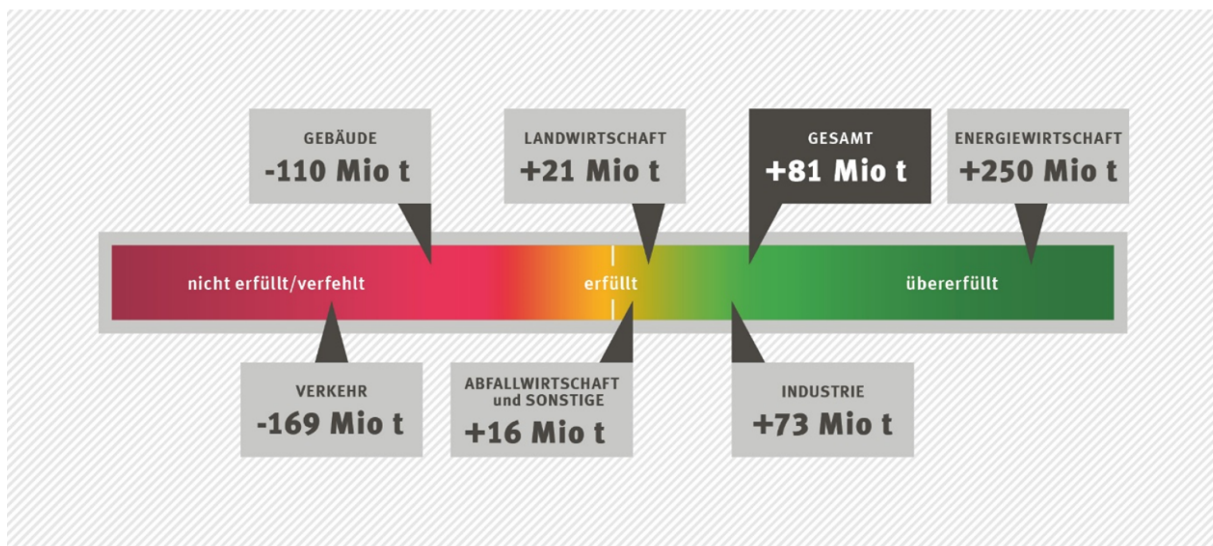
In Abbildung 11 ist die Differenz zwischen den kumulierten KSG-Jahresemissionsmengen 2021-2030 und den kumulierten Emissionen im Szenario CARETarget dargestellt. **Es wird deutlich, dass auch in CARETarget und den am aktuellen Policy Mix aufbauenden Vorschlägen des Szenarios bis 2030 in den Sektoren Verkehr und Gebäude die Ziele verfehlt werden.** Die kumulierten Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstige erzielen eine kumulierte Übererfüllung. **Die sektorübergreifenden Jahresemissionsgesamtmenen werden übererfüllt.** Dieselben Angaben für das MMS in den Treibhausgas-Projektionen 2025 sind in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 11: Kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der sektoralen Jahresemissionsmengen und der Jahresemissionsgesamtmenge (2021-2030), CARETarget



Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Abbildung 12: Kumulierte sektorale Jahresemissionsmengen und kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der KSG-Sektoren und gesamt (2021-2030), Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS)



Quelle: Wehnmann et al. (2025)

3.2 Kohlenstoffbilanz

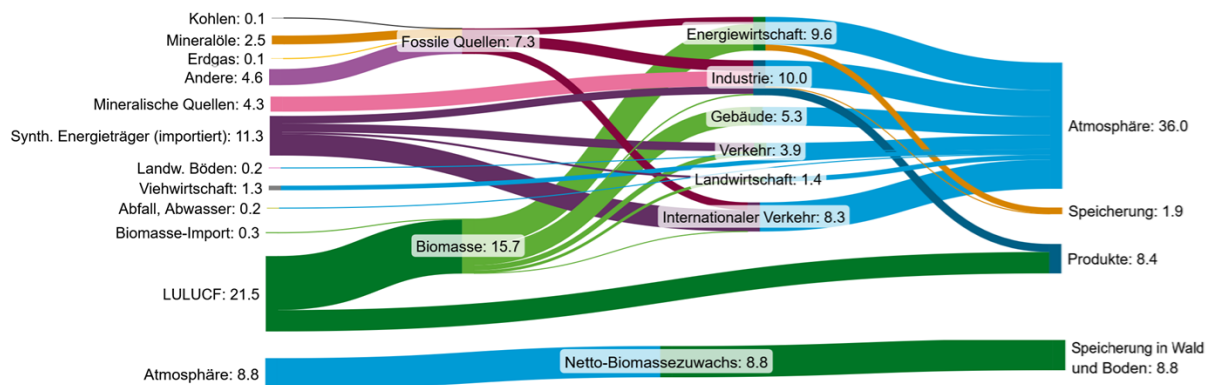
Bis ins Jahr 2045 nimmt in CARETarget die Nachfrage nach kohlenstoffbasierten Brennstoffen aufgrund der Elektrifizierung ab. Bei den verbleibenden Brennstoffen überwiegen Biomasse und synthetische Energieträger. Abbildung 13 zeigt die Kohlenstoffbilanz, d.h. die Flüsse von Kohlenstoff aus unterschiedlichen Quellen in die einzelnen Sektoren sowie die Flüsse von Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Methan (CH₄) in die Atmosphäre, in Form von CO₂ in geologische Formationen, und in Form von festen Kohlenstoffverbindungen in Produkte.

Der Großteil der Biomasse wird in der Energiewirtschaft eingesetzt. Ein Teil davon wird in technischen Kohlenstoffsenken gespeichert. Synthetische Energieträger werden hauptsächlich als flüssige Energieträger in der Industrie und im nationalen und internationalen Verkehr eingesetzt. Kohlenstoff aus dem Sektor Industrie sowie aus Biomasse aus dem LULUCF-Sektor wird in langlebigen Produkten gespeichert.

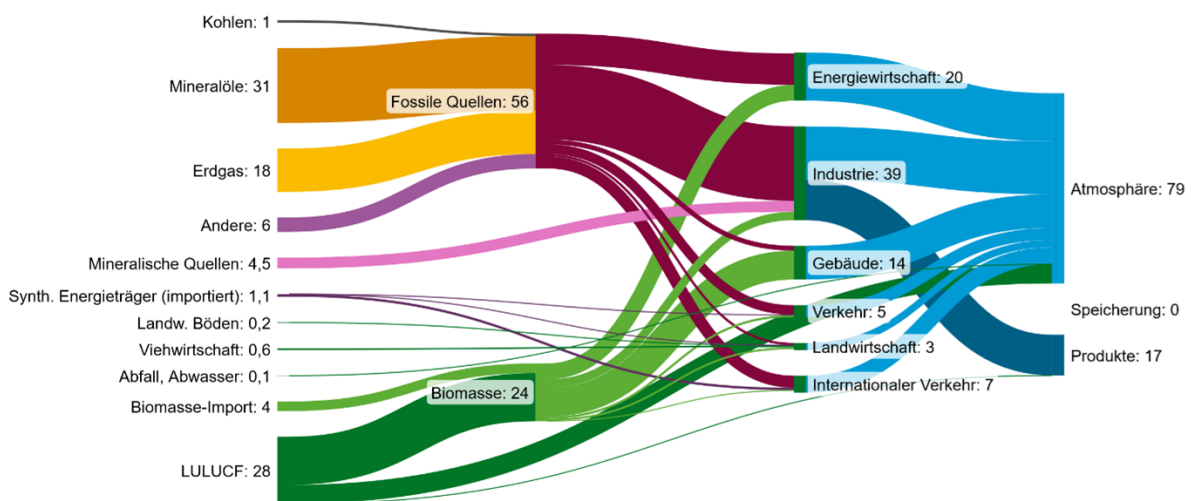
Im Jahr 2045 machen Grundstoffe für Industrieprozesse den überwiegenden Teil der fossilen Kohlenstoffquellen aus, vor allem für den nicht-energetischen Einsatz als Rohstoff (z. B. Kalkstein in der Zementproduktion oder Ausgangsstoffe in der chemischen Industrie).

Abbildung 13: Kohlenstoffströme in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) im Jahr 2045 in Mio. t Kohlenstoff

CARETarget:



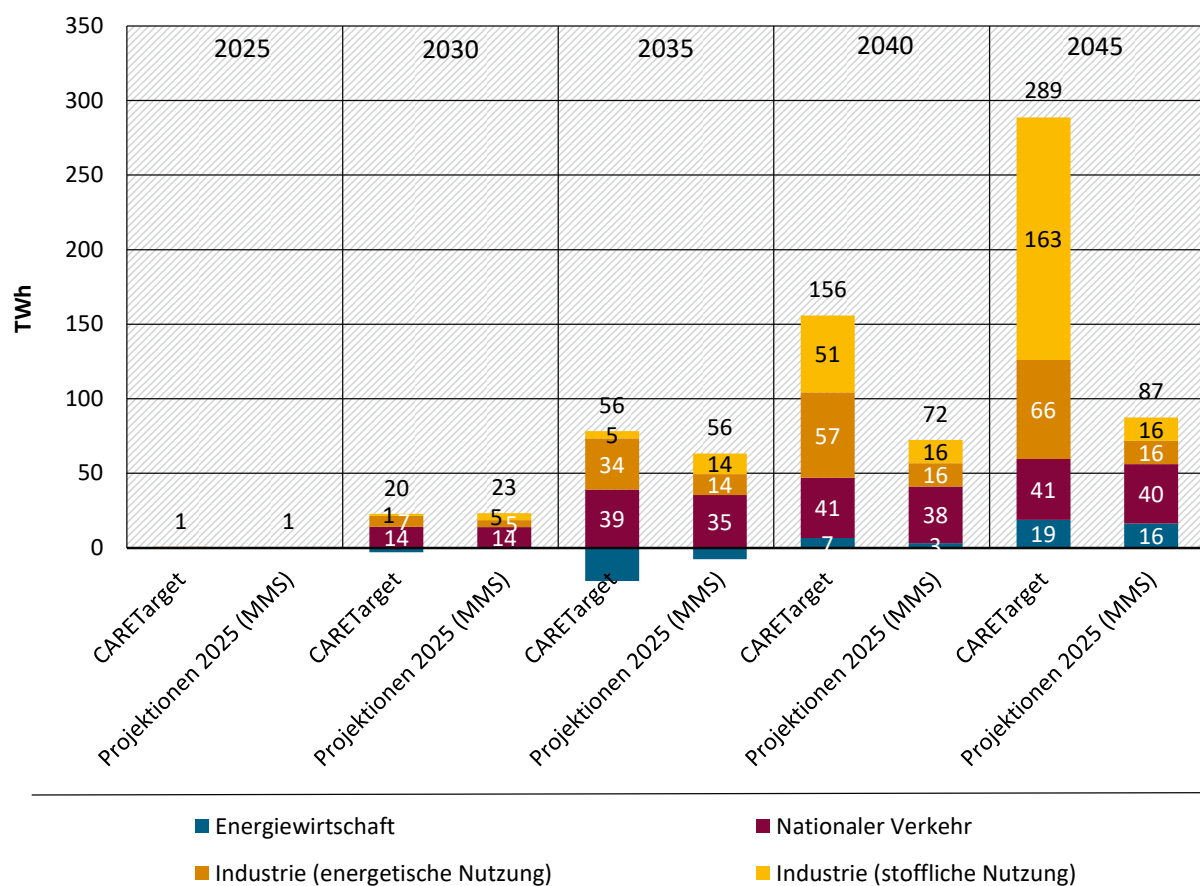
Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS):



Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI; Förster et al. (2025a).

3.3 Nachfrage nach synthetischen Energieträgern

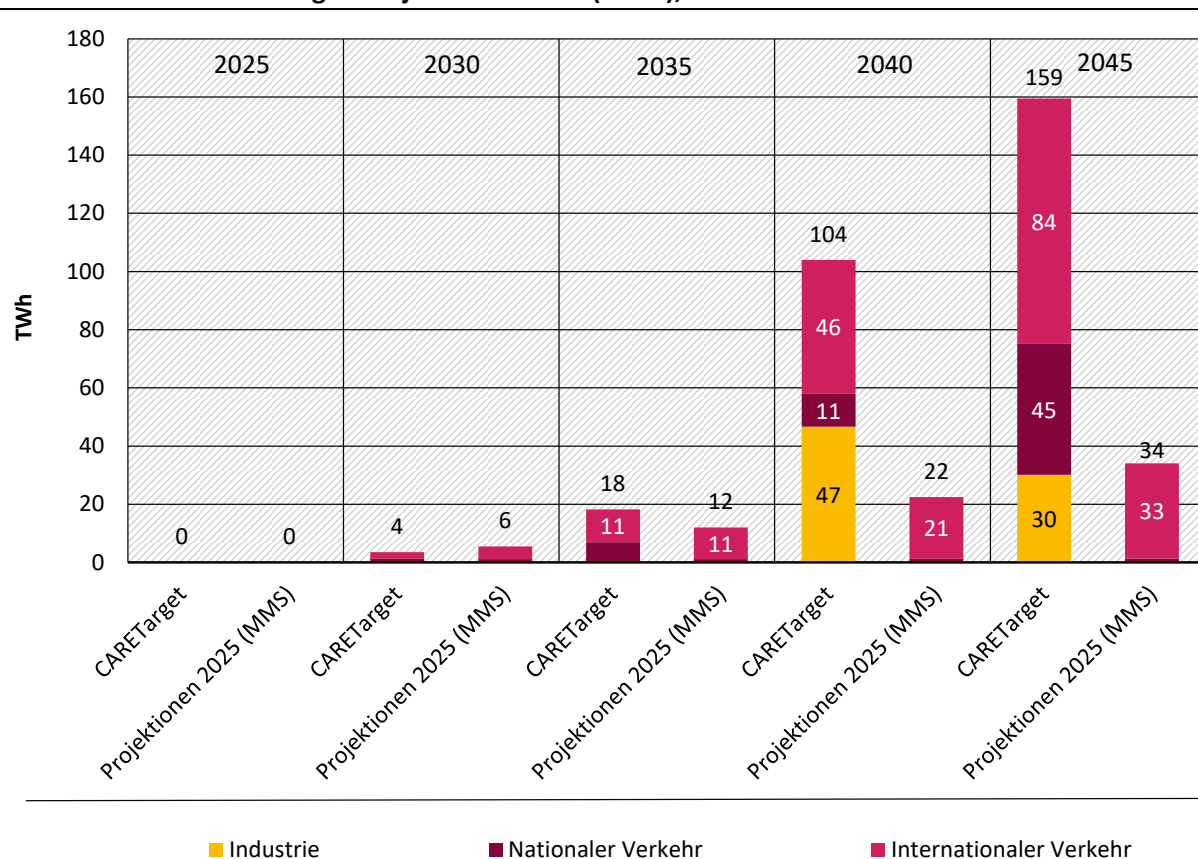
In CARETarget werden Wasserstoff sowie synthetische Flüssigkraftstoffe (Power-to-Liquid, PtL) als Ersatz für fossile Energieträger eingesetzt. Abbildung 14 zeigt die Entwicklung des Wasserstoffeinsatzes im Szenario CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS). Insbesondere in der Industrie wird Wasserstoff sowohl für die energetische Nutzung als Brennstoff als auch stofflich in chemischen Prozessen eingesetzt. Darüber hinaus wird in geringem Umfang Wasserstoff im Verkehr und in der Energiewirtschaft nachgefragt.

Abbildung 14: Einsatz von Wasserstoff in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: In CARETarget wird Wasserstoff für die Energiewirtschaft, für den Verkehr und für die energetische Nutzung in der Industrie im Inland produziert. Wasserstoff für die stoffliche Nutzung in der Industrie wird importiert.

Abbildung 15 zeigt den Einsatz von synthetischen Flüssigkraftstoffen im Zeitraum 2025-2045. **Die Industrie setzt im Jahr 2045 30 TWh an synthetischen Flüssigkraftstoffen ein. Im nationalen Verkehr werden 45 TWh und im internationalen Verkehr 84 TWh eingesetzt.**

Abbildung 15: Einsatz von synthetischen Flüssigkraftstoffen in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: ‚PtL für nationalen Verkehr‘ enthält auch PtL, das im landwirtschaftlichen Verkehr eingesetzt wird. Sämtliche synthetische Flüssigkraftstoffe werden importiert.

3.4 Primärenergieverbrauch

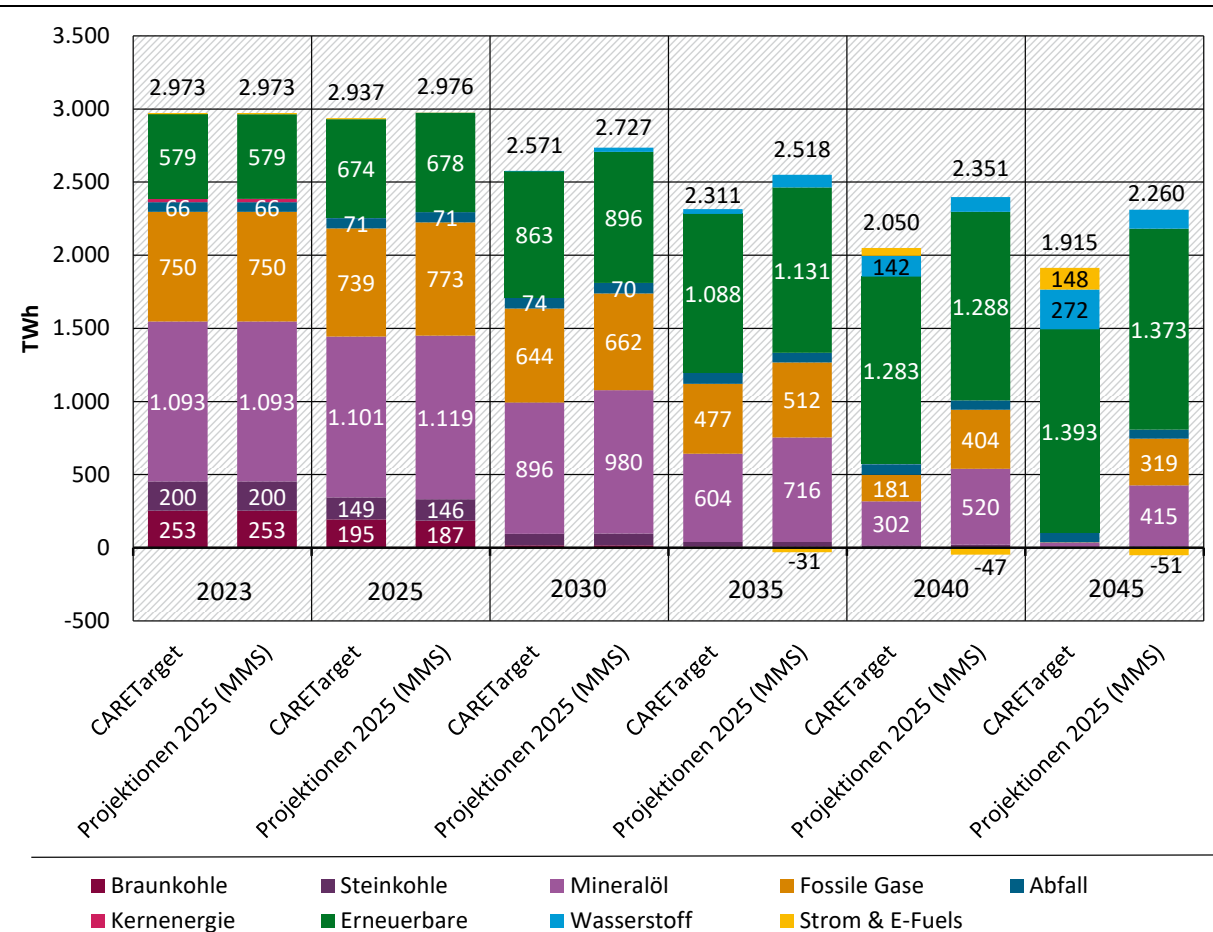
3.4.1 Primärenergieverbrauch nach Energieträgern

Abbildung 16 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in ausgewählten Jahren von 2023 bis 2045 in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS). Der Einsatz von Braun- und Steinkohle ist ab 2030 sehr gering. Ab 2035 stammt in CARETarget rund die Hälfte der Primärenergie aus erneuerbaren Energien (Biomasse, Windenergie, Solarenergie, Wasserkraft sowie Geothermie und Umweltwärme).

Im Jahr 2045 basiert der Primärenergieverbrauch nahezu vollständig auf erneuerbaren Energien oder daraus hergestellten Energieträgern. Fossile Energieträger, also Mineralöle und fossile Anteile im Abfall leisten nur einen marginalen Anteil von 5 %. Der Anteil erneuerbarer Energien (ohne E-fuels und Wasserstoff) am Primärenergieverbrauch erhöht sich bis 2045 auf rund 73 %. Da Strom und strombasierte Brennstoffe (E-fuels) wie Wasserstoff oder PtL-Kraftstoffe Sekundärenergieträger sind, geht für diese nur der Netto-Importsaldo in den Primärenergieverbrauch ein. Die Summe aus dem Stromhandelssaldo und dem Verbrauch an E-fuels liegt in den Jahren 2023 und 2025 nahe null. Ab 2040 werden größere Mengen an E-fuels importiert, um verbleibende Bedarfe in Industrie und internationalem Verkehr zu decken; dies ist in Abbildung 16 als Beitrag zum Primärenergieverbrauch ersichtlich. Der Anteil von E-fuels

am gesamten Primärenergieverbrauch steigt auf rund 8 % im Jahr 2045, und der Anteil von Wasserstoff am gesamten Primärenergieverbrauch erreicht rund 14 % in diesem Jahr.

Abbildung 16: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Anmerkung: Analog zur Energiebilanz werden Stromexporte als negative Werte berücksichtigt. In Jahren mit Netto-Export von Strom und E-fuels ist der Beitrag der Kategorie „Strom & E-fuels“ in der Abbildung negativ. Quelle: AGEb (2024a), AGEb (2024b), UBA (2024), Modellierung Fraunhofer ISI und Öko-Institut

3.4.2 Verbrauch von Biomassebrennstoffen und Abgleich mit Biomasse-Aufkommen

Im Szenario CARETarget werden in den energieverbrauchenden Sektoren im Jahr 2030 in Summe 267 TWh an Biomassebrennstoffen verbraucht (Tabelle 5). Bis zum Jahr 2045 sinkt dieser auf in Summe 203 TWh. In diesem Jahr entfallen rund zwei Drittel des Verbrauchs an Biomassebrennstoffen (etwa 133 TWh) auf feste Biomassebrennstoffe. Der Verbrauch an festen und gasförmigen Biomassebrennstoffen nimmt im Zeitverlauf in allen Sektoren ab. Eine Ausnahme ist eine Erhöhung in der Energiewirtschaft, die aber die Abnahme der anderen Sektoren nicht aufwiegt. Der Verbrauch an flüssigen Biomassebrennstoffen ist in den Jahren 2030 und 2045 etwa auf demselben Niveau bei rund 36 TWh.

Tabelle 5: Verbrauch an Biomassebrennstoffen und Holz für stoffliche Holzprodukte in CARETarget in TWh, 2030 und 2045

Kategorie Biomassebrennstoff	Sektor	2030	2045
Feste Biomassebrennstoffe	Energiewirtschaft	51,7	77,5

Kategorie Biomassebrennstoff	Sektor	2030	2045
	Industrie	40,7	1,5
	Gebäude	81,7	52,3
	Landwirtschaft	1,7	1,5
	Summe	175,7	132,9
Gasförmige Biomassebrennstoffe	Energiewirtschaft	38,0	29,1
	Industrie	0,7	0,0
	Gebäude	12,7	1,4
	Verkehr national	0,7	0,1
	Landwirtschaft	3,8	3,3
	Summe	55,9	33,8
Flüssige Biomassebrennstoffe	Industrie	0,4	4,8
	Verkehr national	29,7	22,4
	Landwirtschaft	1,5	4,9
	Verkehr international	4,2	3,7
	Summe	35,8	35,9
Summe	Total (energetisch)	267,4	202,6
Stoffliche Holznutzung	Zufluss in den Holzproduktspeicher*	139,7	183,3
Zwischensumme	Feste Biomassebrennstoffe und Zufluss in den Holzproduktspeicher	315,4	316,2
Summe	Total (energetisch und Zufluss in den Holzproduktspeicher)	407,0	385,9

Anmerkung: Der Verbrauch an Biomasse gesamt entspricht dem Primärenergieverbrauch. Gemäß der AGEb-Definition ist der Einsatz im internationalen Schiffsverkehr hier nicht enthalten. Der Einsatz biogener Brennstoffe (Biodiesel und Biomethan) im internationalen Schiffsverkehr beträgt 0,3 TWh im Jahr 2030 und 0,6 TWh im Jahr 2045. *Für die Umrechnung von Mengenflüssen in den Holzproduktspeicher (siehe Abschnitt 10.3) wird ein Faktor von 8.100 MJ/m³ angenommen.

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Dem Verbrauch an Biomassebrennstoffen steht das inländische Aufkommen an Biomassebrennstoffen gegenüber (Tabelle 6). Bei den festen Biomassebrennstoffen nehmen Rest- und Abfallstoffe den größten Anteil ein, gefolgt von Waldholz und Sägenebenprodukten. Feste Biomassebrennstoffe gehen im Szenario CARETarget zurück auf Werte von 176 TWh im Jahr 2030 und 133 TWh im Jahr 2045, da zum Senkenaufbau die Nutzung von Laubholz eingeschränkt und Waldholz sowie Rest- und Abfallholz vermehrt stofflich genutzt werden. Da die Nachfrage nach festen Biomassebrennstoffen höher ist als das inländische Angebot, werden im Jahr 2030 40 TWh und im Jahr 2045 33 TWh an festen Biomassebrennstoffen importiert. Bei gasförmigen Biomassebrennstoffen decken sich der Verbrauch und das inländische Aufkommen weitestgehend, wobei aber das Angebot an gasförmigen Biomassebrennstoffen von 2030 bis 2045 um 40 % abnimmt. Dabei geht das Angebot an Biogas aus Anbaubiomasse bis 2045 auf null zurück, während gasförmige Biobrennstoffe aus Wirtschaftsdünger und Rest- und Abfallstoffen

steigen. Das inländische Aufkommen an flüssiger Biomasse ist mit unter 7 TWh gering, und Importe¹² liegen bei knapp 30 TWh (Tabelle 6).

Tabelle 6: Aufkommen an Biomassebrennstoffen in CARETarget in TWh, 2030 und 2045

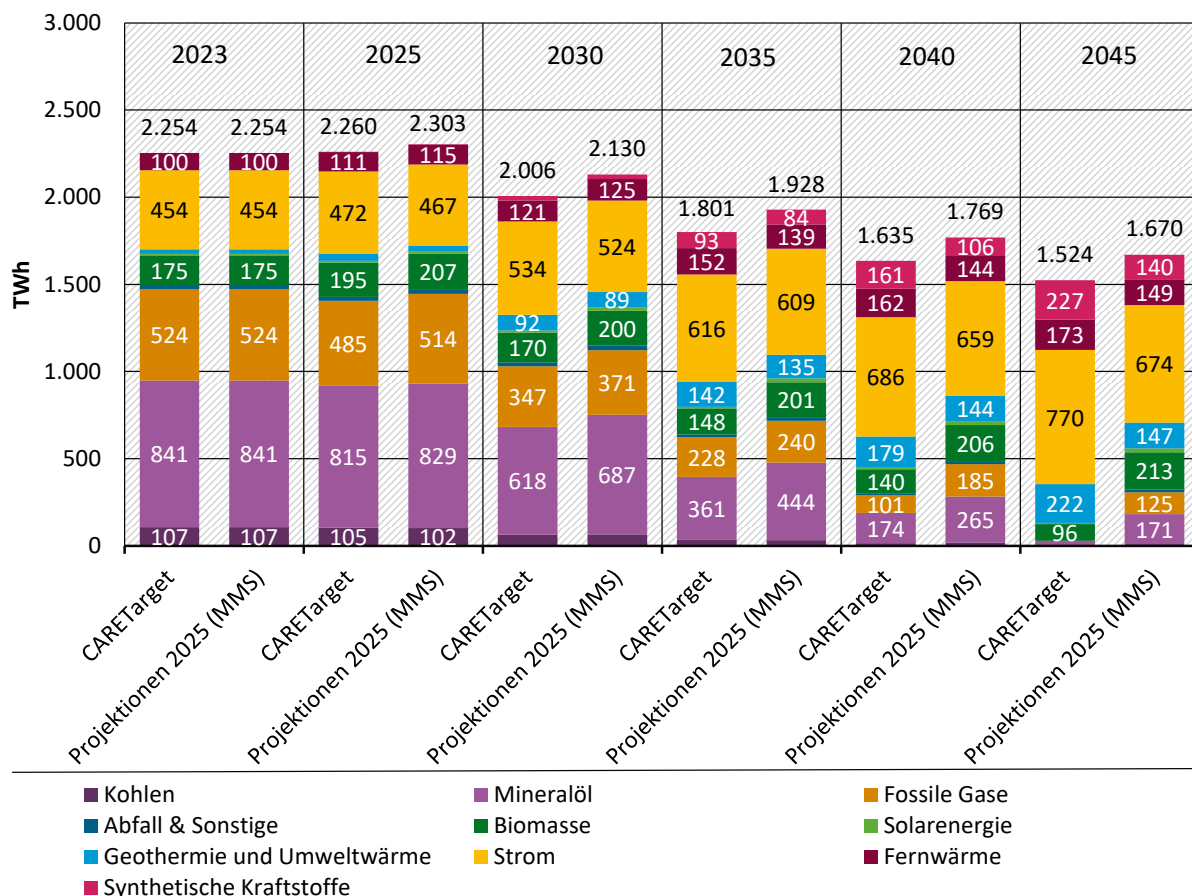
Kategorie Biomassebrennstoff	Biomassebrennstoff	2030	2045
Feste Biomassebrennstoffe	Waldholz inkl. Restholz und Rinde	53,5	35,3
	Sägenebenprodukte	20,0	9,8
	Rest- und Abfallstoffe	61,1	48,0
	Agroforst	0,1	3,8
	Paludikultur	0,6	2,6
	Netto-Import	40,4	33,4
	Summe	175,7	132,9
Gasförmige Biomassebrennstoffe	Anbaubiomasse	30,5	0,0
	Wirtschaftsdünger	8,6	17,6
	Rest- und Abfallstoffe	15,7	17,3
	Netto-Import	1,1	-1,0
	Summe	55,9	33,8
Flüssige Biomassebrennstoffe	Anbaubiomasse	4,0	0,0
	Rest- und Abfallstoffe	2,8	6,1
	Netto-Import	29,0	29,8
	Summe	35,8	35,9
Summe	Inländisch	196,8	140,5
	Netto-Importe	70,6	62,1
	Total	267,4	202,6

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut. *Negative Werte für den Netto-Import stellen einen Netto-Export dar.

3.5 Endenergieverbrauch

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs (EEV) in CARETarget ist im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) in Abbildung 17 dargestellt. Von 2025 bis 2030 nimmt der EEV in CARETarget um 11 % ab. **Zwischen 2025 und 2045 reduziert er sich um 33 %. Im Jahr 2045 macht Strom 51 % des Endenergieverbrauchs aus, gefolgt von Geothermie und Umweltwärme (15 %), Fernwärme (11 %) und synthetischen Kraftstoffen (8 %).**

¹² Es wird auf die Produktion von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse verzichtet. Importiert werden Biokraftstoffe aus Rest- und Abfallstoffen, da in Deutschland das Aufkommen an ungenutzten Rest- und Abfallstoffen niedriger ist. Alternativ könnten PtL-Kraftstoffe importiert werden.

Abbildung 17: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: AGEb (2024a), AGEb (2024b), UBA (2024), Modellierung Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Tabelle 7 zeigt die Entwicklung des EEV in den einzelnen Endverbrauchssektoren. Die größte Abnahme zwischen 2025 und 2045 weist der Verkehrssektor mit einem Minus von 44 % auf.

Tabelle 7: Endenergieverbrauch nach Sektoren in CARETarget, 2023-2045

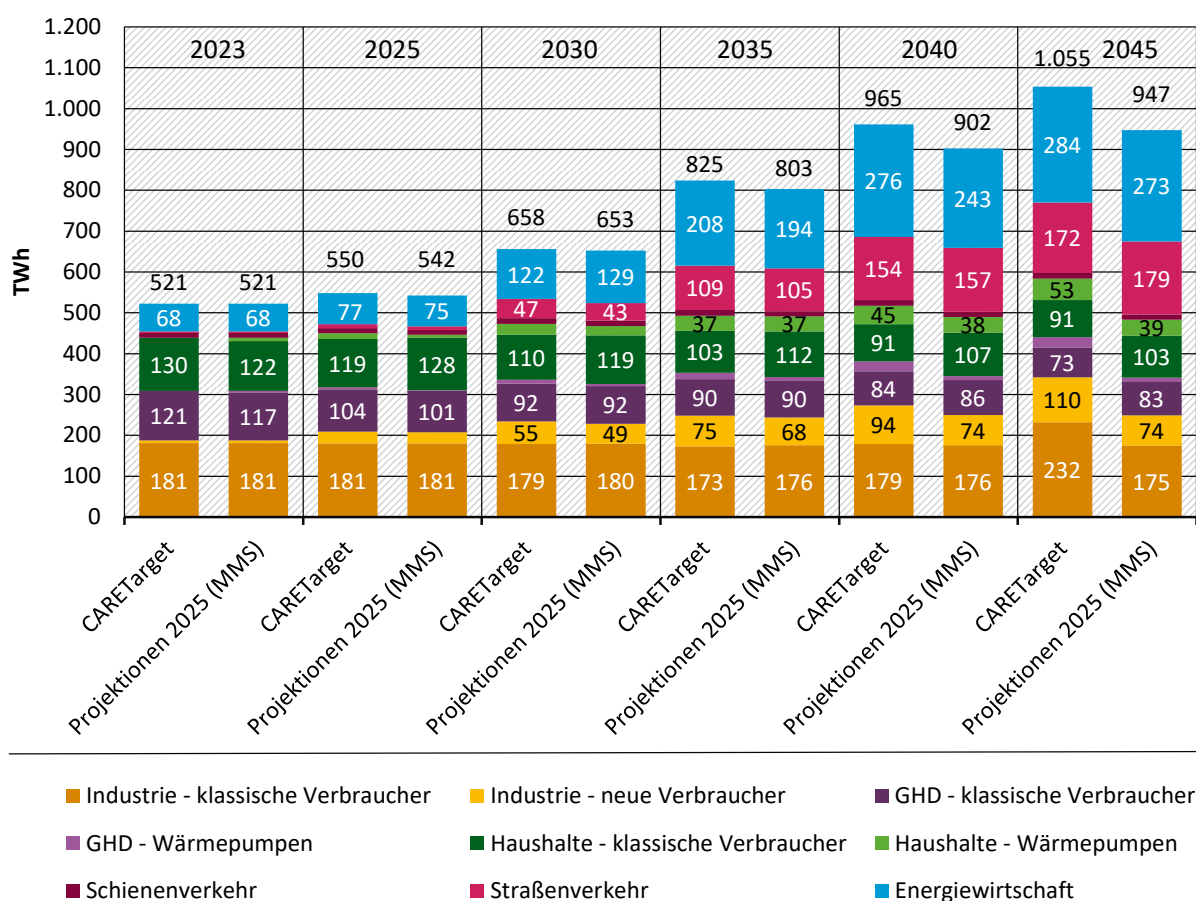
Sektor	2023	2025	2030	2035	2040	2045	Veränderung im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) (2045)
	TWh						Prozent
Industrie	613	608	580	553	529	507	-9 %
GHD	313	325	281	265	235	208	-2 %
Haushalte	631	626	551	498	454	418	-14 %
Verkehr	699	700	595	485	417	391	-5 %
Gesamt	2.256	2.259	2.006	1.801	1.635	1.524	-9 %

Quelle: UBA (2025a), Modellierung: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

3.6 Bruttostromverbrauch

Der Bruttostromverbrauch nimmt in CARETarget von 550 TWh im Jahr 2025 auf 1055 TWh im Jahr 2045 zu (Abbildung 18). Große Zunahmen ergeben sich durch die Elektrifizierung des Straßenverkehrs, durch die Elektrifizierung von Prozessen in der Industrie und durch den zusätzlichen Stromverbrauch in der Energiewirtschaft für die Herstellung von inländischem grünem Wasserstoff.

Abbildung 18: Bruttostromverbrauch nach Endverbrauchern in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Quelle: AGEb (2024a), Modellierung Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: Der Endenergieverbrauch ist die Summe aller Verbräuche ohne Energiewirtschaft.

4 Energiewirtschaft

4.1 Narrativ

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst die Umwandlung und Speicherung sowie den Transport von Energieträgern zur Bereitstellung von Strom und Wärme. Der bei Weitem größte Anteil der Treibhausgasemissionen hierbei entfiel 2023, sowie auch in den Jahren davor, auf die Strom- und gekoppelte Fernwärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen. Darüber hinaus wird die Umwandlung in Raffinerien und Kokereien sowie der Transport und die Lagerung von Brennstoffen dem Sektor Energiewirtschaft zugerechnet. Kraftwerke zur Strom- und gekoppelten Wärmeerzeugung, die vor allem zur Versorgung von Produktionsbetrieben des verarbeitenden Gewerbes dienen, sind dem Sektor Industrie zugeordnet.

Im Sektor Energiewirtschaft findet vor allem die Energieerzeugung zur Deckung des Energieverbrauchs der anderen Sektoren statt. Daher wirkt sich die Instrumentierung der Endverbrauchssektoren durch die Entwicklung der Strom- und Fernwärmenachfrage auf die Energiewirtschaft aus.

Ziel in CARETarget ist es, vornehmlich, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, die sektorübergreifenden Gesamtminderungen in den Zieljahren zu erreichen. In den Sektoren dienten sektorale Jahresemissionsmengen vom Auftraggeber als Orientierungsrahmen für die Modellierung. In CARETarget wird die Energiewirtschaft im Vergleich zu den anderen Sektoren zügig dekarbonisiert. Das an das Bundes-Klimaschutzgesetz angelehnte Sektorziel von höchstens 108 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2030 wird mit 91 Mio. t CO₂-Äq. deutlich unterschritten. In den Folgejahren sinken die Treibhausgasemissionen erneut stark bis zum Jahr 2045 auf knapp 9 Mio. t CO₂-Äq. Brutto-Emissionen. Dies impliziert, dass ein Ausstieg aus der Nutzung von Kohle und Erdgas erfolgt ist und nur geringe Restemissionen, etwa aus der Abfallverbrennung, anfallen.

Auf dem Pfad der Dekarbonisierung stammt der notwendige Strom größtenteils aus inländischer erneuerbarer Erzeugung aus Wind- und Solarenergie. Ebenso wird die Bereitstellung von Fernwärme auf erneuerbare Quellen wie Großwärmepumpen, Solarthermie und Geothermie umgestellt. Die notwendige Flexibilität wird bereitgestellt durch einen Ausbau der Speicherkapazitäten, vor allem der Batteriespeicher sowie durch eine zeitliche Flexibilisierung der Nachfrage bei der anstehenden Elektrifizierung der Sektoren Industrie, Verkehr und Gebäude. Gleichfalls trägt der Aufbau flexibler Elektrolysekapazitäten und die Umstellung von Erdgas-Kraftwerken auf Wasserstoff zur Flexibilität im Stromsystem bei. Ebenso trägt der Stromaustausch mit dem europäischen Ausland dazu bei. Strom-Importe und -Exporte sind im Rahmen der verfügbaren Kuppelkapazitäten in CARETarget berücksichtigt. Wasserstoff (H₂) wird gemäß Nationaler Wasserstoffstrategie (NWS) national hergestellt. Zusätzlicher Wasserstoff kann importiert werden. Synthetische Flüssigkraftstoffe (PtL) werden zum Teil im Inland produziert und zum Teil importiert.

Auch Biomasse trägt zur Stromerzeugung in CARETarget bei, wobei über alle Sektoren hinweg die Biomasse-Importe auf das aktuelle Niveau begrenzt werden.

In CARETarget kommen in der Energiewirtschaft sowohl BECCS als auch WACCS zum Einsatz, um über alle Sektoren einschließlich LULUCF im Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen.

4.2 Maßnahmen und Instrumente

4.2.1 Ausstieg aus fossilen Brennstoffen in der Strom- und gekoppelten Fernwärmeerzeugung und Ausbau von Wasserstoffkraftwerken

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

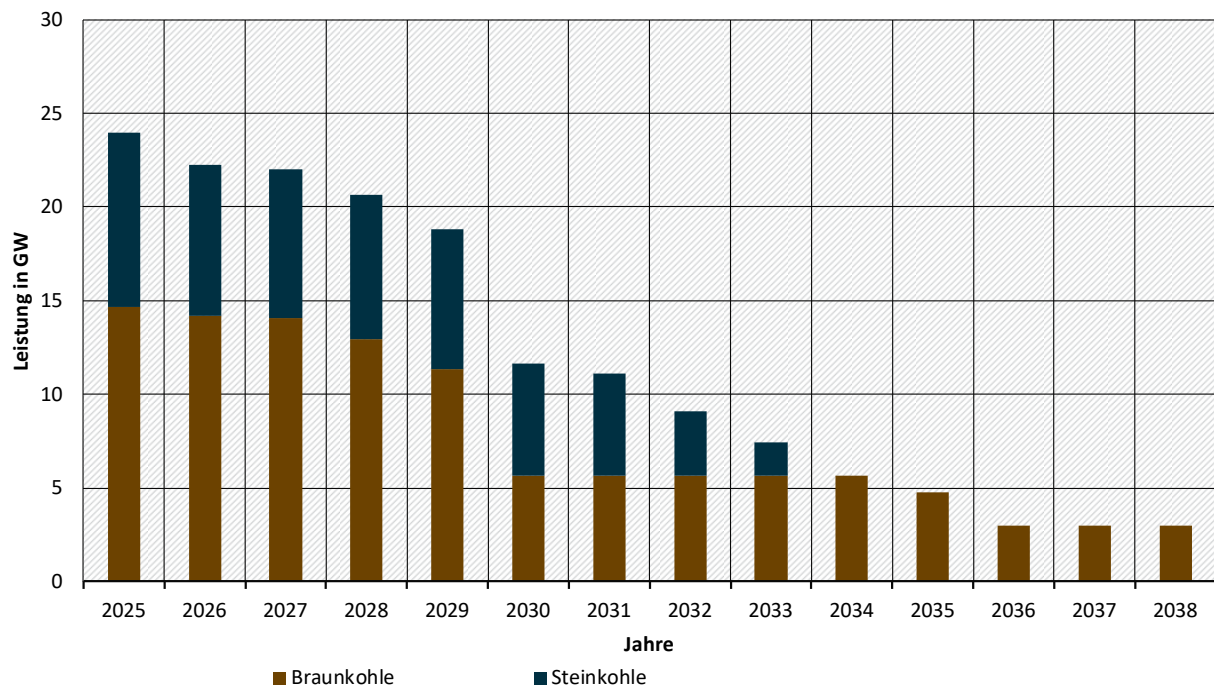
Kohle wird letztmalig im Jahr 2038 für die Strom- und gekoppelte Fernwärmeerzeugung im Sektor Energiewirtschaft verwendet. Der Erdgasausstieg erfolgt bis zum Jahr 2042.

Erdgaskraftwerke werden ab dem Jahr 2033 schrittweise auf die Nutzung von Wasserstoff umgerüstet bzw. durch neu errichtete Wasserstoffkraftwerke ersetzt. Der Einsatz von Mineralöl zur Erzeugung von Strom und Wärme wird bis 2045 auf nahezu null reduziert. Es verbleibt ein kleiner Anteil, da auch die Prozessfeuerungen im Industriesektor im Jahr 2045 noch kleine Mengen an Mineralöl nachfragen (siehe Abschnitt 5.3).

Parametrisierung

Kohlekraftwerke: Die Stilllegung der Kohlekraftwerke wird zum einen durch den EU-Emissionshandel (Kapitel 2) als auch durch die Vorgaben des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes (KVBG) bestimmt. Dem Strommarktmodell wird ein exogener Stilllegungspfad vorgegeben, wonach das letzte Steinkohlekraftwerk im Jahr 2033 und das letzte Braunkohlekraftwerk 2038 abgeschaltet wird (Abbildung 19).

Abbildung 19: Annahmen zum Rückgang der Leistung von Kohlekraftwerken, CARETarget, 2025-2038



Quelle: Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Kuppelgase, Heizöl und nicht-biogener Anteil des Abfalls: Kuppelgase (Raffineriegas, Gichtgas, Kokereigas, sonstige Kuppelgase) fallen durch Aktivitäten in anderen Sektoren an bzw. ihr Aufkommen wird durch Aktivitäten in anderen Sektoren bestimmt. Dies betrifft vor allem die Stahlherstellung mit fossilen Technologien (die kohlebasierte Stahlindustrie wird bis 2045 eingestellt, siehe Abschnitt 5.2.5) sowie die Nachfrage nach Mineralölprodukten wie Kraftstoffen und Heizöl. Ihre Nutzung in Kraftwerken geht entsprechend der Dekarbonisierung der Sektoren

Industrie und Verkehr zurück. Gleiches gilt für die Nutzung von schwerem Heizöl als Kuppelprodukt des Raffineriebetriebs. Nach dem Jahr 2035 können diese Brennstoffe, ebenso wie der nicht-biogene Anteil des Abfalls, noch in geringem Umfang zur Strom- und Fernwärmeversorgung genutzt werden. Der Anteil des im Abfall enthaltenen Kohlenstoffs, der nicht biogen ist, verursacht auch über 2045 hinaus, insbesondere vor dem Hintergrund einer Kreislaufwirtschaft, noch Treibhausgase im Sektor Energiewirtschaft. Die Nutzung von leichtem Heizöl in Kraftwerken der Energiewirtschaft (und Industrie) wird zum Jahr 2045 beendet. Der Einsatz von Mineralöl in der Strom- und Wärmeerzeugung wird bis zum Jahr 2045 nahezu vollständig beendet.

Gaskraftwerke und Wasserstoffkraftwerke: Zunächst erhöht sich die Leistung von Erdgaskraftwerken um rund 10 GW auf 44 GW im Jahr 2031. Ab dem Jahr 2034 beginnt der Ausstieg aus der Nutzung von Erdgas und ist im Sektor Energiewirtschaft bis zum Jahr 2042 abgeschlossen. Das erste wasserstoffbefeuerte Kraftwerk geht im Szenario im Jahr 2033 in Betrieb. Die Leistung von Wasserstoffkraftwerken erhöht sich bis zum Jahr 2045 auf rund 35 GW.

Die Außerbetriebnahme von Erdgaskraftwerken und der Zubau von Wasserstoffkraftwerken wird in diesem Szenario exogen vorgegeben. Zur Realisierung des Ausstiegs aus Erdgas und des parallelen Aufbaus von Wasserstoffkraftwerken kommen unterschiedliche politische und regulatorische Instrumente in Betracht, die sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen lassen: **ordnungsrechtliche Maßnahmen** und **preisliche bzw. ökonomische Anreize**.

Ordnungsrechtliche Instrumente setzen verbindliche Vorgaben durch Gesetze oder Verordnungen und können gezielt auf die Struktur des Kraftwerksparks einwirken. Eine Möglichkeit wäre die Einführung von technischen Mindestanforderungen für Erdgaskraftwerke, etwa durch die Festlegung eines Mindestwirkungsgrads oder eines CO₂-Grenzwerts. Solche Standards könnten ineffiziente oder besonders emissionsintensive Anlagen sukzessive aus dem Markt drängen und damit den Transformationsprozess beschleunigen.

Ein weiteres denkbare Instrument ist eine Altersreihung, wie sie bereits im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) Anwendung findet. Dabei wird für jedes Kraftwerk ein Abschaltjahr festgelegt, wodurch ein geordneter und planbarer Rückbau der fossilen Kapazitäten ermöglicht wird. Übertragen auf Erdgas-Kraftwerke könnte dies bedeuten, dass jährlich ein Zielwert für die maximal zulässige installierte Leistung festgelegt wird, der sich über die Jahre reduziert.

Darüber hinaus könnte eine gesetzlich verankerte Quote für die Beimischung von Wasserstoff in Erdgas-Kraftwerken eingeführt werden. Diese Quote würde im Zeitverlauf steigen und damit die Umstellung auf Wasserstoff schrittweise erzwingen. Voraussetzung dafür wäre, dass neue Erdgas-Kraftwerke bereits als „H₂-ready“ geplant und gebaut werden, also technisch für eine spätere Umrüstung auf Wasserstoff geeignet sind. Hierbei ist eine präzise Definition und Zertifizierung von „H₂-ready“-Standards wichtig, um Investitionssicherheit zu gewährleisten.

Neben ordnungsrechtlichen Vorgaben spielen ökonomische Steuerungsmechanismen eine zentrale Rolle. Der EU-Emissionshandel (ETS 1) ist ein etabliertes Instrument zur CO₂-Bepreisung, das fossile Energieträger wie Erdgas schrittweise verteuert. Allerdings sind die aktuellen Zertifikatspreise noch nicht hoch genug, um eine vollständige Verdrängung von Erdgas zu bewirken.

Zur Verstärkung des ETS könnte ein nationaler oder europäischer CO₂-Mindestpreis eingeführt werden, der eine Preisuntergrenze für Emissionen festlegt und damit verlässliche Rahmenbedingungen für Investitionen schafft. Ein solcher Mindestpreis würde die

Wirtschaftlichkeit von emissionsarmen Technologien wie Wasserstoffkraftwerken verbessern und gleichzeitig die fossile Verstromung weiter unattraktiv machen.

Ein weiteres Instrument zur Förderung von Wasserstoffkraftwerken sind Klimaschutzverträge. Wenn ein Unternehmen durch den Einsatz einer klimaneutralen Technologie (z. B. Wasserstoff statt Erdgas) höhere Betriebskosten hat, können im Rahmen von Klimaschutzverträgen diese Differenzkosten über einen vertraglich festgelegten Zeitraum hinweg kompensiert werden. Klimaschutzverträge können es Wasserstoffkraftwerken ermöglichen, sich schrittweise in der Merit Order durchzusetzen und damit auch marktwirtschaftlich tragfähig zu werden.

Ergänzend dazu können gezielte Ausschreibungen für Wasserstoffkraftwerke in Anlehnung an § 28g des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG 2023) erfolgen. Diese Ausschreibungen können Investitionen in wasserstoffbasierte Erzeugungskapazitäten fördern und gleichzeitig Versorgungssicherheit und Systemflexibilität gewährleisten.

Insgesamt wird durch diese Instrumente die Erzeugung aus alten Erdgaskraftwerken schrittweise reduziert und die von Wasserstoffkraftwerken erhöht. Dennoch wird die Leistung der Erdgaskraftwerke noch als Sicherheitsreserve beibehalten (ca. 60 GW regelbare Reserveleistung im Jahr 2045).

Insgesamt ist festzuhalten, dass ein **Instrumentenmix** notwendig ist, um den Übergang von Erdgas zu Wasserstoff im Kraftwerkspark erfolgreich zu gestalten. Während ordnungsrechtliche Maßnahmen den Rahmen setzen und Investitionssicherheit schaffen, sorgen ökonomische Anreize dafür, dass sich Wasserstoffkraftwerke auch unter Marktbedingungen behaupten können.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Zum einen bestehen bei dieser Maßnahme starke Wechselwirkungen mit den Endverbrauchssektoren. So hängt der Betrieb der Kraftwerke von der in den Endverbrauchssektoren resultierenden Stromnachfrage ab. Gleichmaßen müssen ausreichend Kraftwerke zur Verfügung stehen, um vor dem Hintergrund fluktuierender Erzeuger (Wind, PV) genug Leistung zur Abdeckung der Residuallast zur Verfügung zu stellen.

Darüber hinaus muss die Dekarbonisierung bzw. die Umstellung auf Wasserstoff-Kraftwerke schnell genug stattfinden, um die Klimaschutzziele laut KSG zu erreichen.

4.2.2 Aufbau von Carbon Capture-Anlagen für die Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen und Generieren von Negativ-Emissionen

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Um Netto-Treibhausgasneutralität über alle Sektoren hinweg zu erreichen, ist neben dem Beitrag natürlicher Senken auch eine technische CO₂-Speicherung notwendig¹³. In CARETarget kommt in der Energiewirtschaft sowohl BECCS als auch WACCS zum Einsatz¹⁴. Dies erfolgt ergänzend zu CCS in der Industrie, welches den Ausstoß von erzeugten Treibhausgasen durch Abscheidung und geologische Einspeicherung verhindert. In CARETarget findet eine technische CO₂-Speicherung somit sowohl in der Industrie (siehe Abschnitt 5.2.2) als auch in der Energiewirtschaft statt.

¹³ Die entsprechenden Mengen wurden von UBA vorgegeben.

¹⁴ Darüber hinaus war in CARETarget die Nutzung von DACCS (CO₂-Abscheidung aus der Luft mit unterirdischer Speicherung) zulässig. DACCS war jedoch zur Zielerreichung nicht notwendig und kam deshalb nicht zum Einsatz.

Parametrisierung

Die Parametrisierung von CCS in der Energiewirtschaft lehnt sich grundsätzlich an das MWMS in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2025b) an. Die Abscheiderate hierzu¹⁵ sowie die Negativemissionen durch BECCS und WACCS wurde jedoch so angepasst, dass im Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität über alle Sektoren erreicht wird. So beträgt 2035 der Anteil der Brennstoffe, für die in der Prozesskette eine geologische Einspeicherung angesetzt wird, 10 % für Industriemüll und den fossilen Anteil des Klärschlamms bzw. 7 % für feste Biomasse und den biogenen Anteil des Mülls. Im Jahr 2045 beträgt der Anteil 57 % (Müll) bzw. 29 % (Biomasse). Es werden jedoch ausschließlich Abfallstoffe für CCS eingesetzt, selbst wenn diese, wie im Fall biogenem Müll, zusammen mit anderen Biomassefraktionen (z.B. Hackschnitzel) bilanziert werden. Die CO₂-Abscheidung geht mit einem zusätzlichen Verbrauch von Strom und Wärme einher. Dabei wird unterstellt, dass für Anlagen mit CCS der elektrische Wirkungsgrad um 50 % des ursprünglichen Wertes sinkt und die thermische Wärmeauskopplung um 25 % zurückgeht. Der Abscheidegrad einer einzelnen CCS-Anlage beträgt 90 %.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Zum einen bestehen Wechselwirkungen zwischen der Bereitstellung von BECCS und WACCS und anderen Sektoren (und damit deren Instrumenten und Maßnahmen), da BECCS und WACCS genutzt werden, um insgesamt Treibhausgasneutralität über alle Sektoren zu erreichen. Zum anderen führt die zusätzliche Energienachfrage der Abscheideanlagen dazu, dass die Energiewirtschaft diese zusätzlich bereitstellen muss.

4.2.3 Beschleunigter Ausbau der erneuerbaren Energien

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Im Szenario CARETarget werden die erneuerbaren Energien zügig ausgebaut, um eine rasche Dekarbonisierung im Sektor Energiewirtschaft zu erreichen. Als Quelle für die mittelfristige Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien dient das EEG 2023 sowie das WindSeeG. Die Nutzung von Bioenergie geht im Zeitverlauf bis 2045 deutlich zurück, wobei der größte Rückgang bei der Biogas-Verstromung erfolgt.

Parametrisierung

Der Ausbau der Solarenergie und Windenergie an Land erfolgt grundsätzlich entsprechend den Ausschreibungen und Zielen des EEG 2023. Darüber hinaus erfolgt eine Anpassung zu Erreichung der Treibhausgas-Neutralitätsziele. Der Ausbau von Windenergie auf See orientiert sich an einem Ausbauziel von 70 GW installierter Leistung bis zum Jahr 2045 gemäß Windenergie-auf-See-Gesetz (WindSeeG). Die Annahmen entsprechen denen der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2025a). Tabelle 8 zeigt die installierten Leistungen von Windenergie an Land und auf See sowie von Photovoltaik, jeweils zur Jahresmitte (relevant für die erzeugbare Strommenge) und zum Jahresende¹⁶.

Tabelle 8: Installierte Leistungen (Jahresmitte und Jahresende) der erneuerbaren Energien in CARETarget, 2023-2045

Technologie	Einheit	Stichtag*	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Windenergie an Land	GW	JM	59,5	67,4	99,9	141,0	160,0	160,0

¹⁵ Bezogen auf den Brennstoffeinsatz der genannten Energieträger insgesamt.

¹⁶ Bei sehr hohen unterjährig Ausbauraten weichen die Werte zur Jahresmitte von denen der installierten Leistung zum Jahresende, die in Zielformulierungen gemeint sind, teils erheblich ab.

Technologie	Einheit	Stichtag*	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Windenergie an Land	GW	JE	61,0	69,9	104,0	145,4	160,0	160,0
Windenergie auf See	GW	JM	8,3	10,1	22,0	39,3	54,8	69,2
Windenergie auf See	GW	JE	8,5	11,0	26,8	40,0	56,4	69,7
Photovoltaik	GW	JM	75,2	106,8	204,0	301,3	387,0	400,0
Photovoltaik	GW	JE	82,8	115,0	214,5	308,6	397,4	400,0
Biomasse	GW	JM	9,5	9,1	8,5	5,3	3,1	2,0
Biomasse	GW	JE	9,5	9,0	8,4	5,1	3,0	1,9

Anmerkungen: *JM: Jahresmitte; JE: Jahresende

Quelle: EEG 2023, WindSeeG, Förster et al. (2025a), eigene Annahmen und Darstellung Öko-Institut

Die installierte Leistung von Anlagen zur Nutzung von Bioenergie geht im Zeitverlauf von 9,5 GW im Jahr 2025 deutlich auf 1,9 GW im Jahr 2045 zurück, wobei der größte Rückgang bei der Biogas-Verstromung erfolgt. In CARETarget ist der Import von Biomasse weiterhin erlaubt, wobei über alle Sektoren hinweg die Biomasse-Importe auf aktuellem Niveau begrenzt sind.

Für Wasserkraft (Laufwasser, Speicherwasser) und Geothermie wird ein geringfügiger Zubau angenommen.

Rahmenbedingungen

Angelehnt an den ehrgeizigen Ausbau der erneuerbaren Energien wird auch für den Zubau von Batteriespeichern ein ambitionierter Pfad angenommen. Damit steigt die installierte Leistung von Batteriespeichern auf 38,6 GW im Jahr 2030 und 92,9 GW im Jahr 2045. Die Speicherkapazität der Batteriespeicher steigt im gleichen Zeitraum auf 42,9 GWh im Jahr 2030 und 105,6 GWh im Jahr 2045.

Für Pumpspeicher wird in CARETarget davon ausgegangen, dass die an das deutsche Übertragungsnetz angeschlossene Leistung leicht bis 2030 auf 10,6 GW und bis 2045 auf 11,1 GW ansteigt.

Für zeitflexible Stromverbraucher wird, insbesondere im Sektor Industrie, davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2045 2,7 GW der Nachfrage verschoben werden können (DSM). Neue Stromverbraucher im Bereich der Mobilität (batterieelektrische Fahrzeuge) und Fernwärme (Großwärmepumpen) werden entsprechend ihrer Speicherfähigkeit und der Energienachfrage ebenfalls als zeitflexibel angesehen. Bei Elektrofahrzeugen wird davon ausgegangen, dass nur ein Teil der Fahrzeugflotte systemorientiert geladen wird. Bidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen ist nicht berücksichtigt.

Die Pfade für die Entwicklung des Kraftwerksparks und der erneuerbaren Energien im europäischen Ausland folgen dem National Trends-Szenario¹⁷ des TYNDP 2022 der ENTSO-E (ENTSOG; ENTSO-E 2022). Neben inländischer Stromproduktion ist in CARETarget auch Stromimport zulässig (Abschnitt 4.1).

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Der Ausbau der erneuerbaren Energien dient zum einen dazu, die durch Dekarbonisierung, v.a. durch Kohle- und Gasausstieg, sowie durch die Entwicklung der Stromnachfrage bedingten

¹⁷ Analog zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2025a).

Bedarf an Stromerzeugung zu decken. Die Flexibilitätsoptionen (Batterien, Pumpspeicher sowie DSM) dienen dazu, die erneuerbare Stromerzeugung bestmöglich dem Bedarf anzupassen.

4.2.4 Dekarbonisierung der Fernwärme

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

In CARETarget wird auch die Versorgung mit netzgebundener Wärme zügig dekarbonisiert. Hierzu trägt zum einen der Ausstieg aus der Nutzung von Kohle sowie Erdgas und Heizöl in Kraftwerken des Sektors Energiewirtschaft (Abschnitt 4.2.1), zusammen mit dem Ausbau der wasserstoffbefeuerten Kraftwerke (Abschnitt 4.2.1), bei.

Zum anderen wird die erneuerbare Fernwärme (Solarthermie, Geothermie, Abwärme, Großwärmepumpen sowie Power-to-Heat) ausgebaut. Der Ausbau beruht dabei unter anderem auf den Instrumenten der kommunalen Wärmeplanung und der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW).

- Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) verpflichtet die Bundesländer zur Erstellung kommunaler Wärmepläne. Hierbei können die Länder die Pflicht auch auf die kommunale Ebene oder regionale Planungsverbände übertragen. Die Pläne umfassen eine Aufnahme des Status Quo, die Definition von Zielen, die Identifikation von Einspar- und Dekarbonisierungspotenzialen sowie die Ausarbeitung von Maßnahmen. Als Grundlage effektiver und effizienter Entscheidungen wird die kommunale Wärmeplanung im Kontext der Berechnung des Szenarios als Voraussetzung zur Dekarbonisierung angesehen und nicht gesondert parametrisiert. Ziel des WPG ist eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung bis spätestens 2045. 2030 soll bereits die Hälfte der Wärme in Wärmenetzen aus erneuerbaren Energien bzw. unvermeidbarer Abwärme stammen.
- Die BEW adressiert gezielt die Förderung der erneuerbaren Fernwärme durch die Förderung von Einzelmaßnahmen und systemische Förderung für Netze.

Die Nutzung von Biomasse (fest, gasförmig) zur Fernwärmeerzeugung geht, analog zur Stromversorgung, bis 2045 deutlich zurück.

Parametrisierung

Die Annahmen zur Entwicklung der installierten Kapazitäten für die netzgebundene Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Abwärme, Geothermie, Großwärmepumpen, Power-to-Heat und Wasserstoff im zeitlichen Verlauf sind in Tabelle 9 dargestellt. Den größten Beitrag leisten Großwärmepumpen, Power-to-Heat und Wasserstoff. Des Weiteren tragen die verbleibenden Abfall- und Biomassekraftwerke sowie Wasserstoff-KWK-Anlagen zur Wärmeerzeugung bei.

Tabelle 9: Leistung von EE-Fernwärme in CARETarget, 2023-2045

Technologie	Einheit	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Solarthermie	GW	0,0	0,1	0,6	0,8	1,0	1,1
Abwärme	GW	0,1	0,2	0,8	0,9	1,0	1,1
Geothermie	GW	0,4	0,5	1,2	1,4	1,6	1,8
Großwärmepumpen	GW	0,4	0,9	3,9	8,2	12,4	16,7
Power-to-Heat	GW	0,5	1,4	3,1	9,4	15,7	22,0

Technologie	Einheit	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Wasserstoff	GW	0,0	0,0	0,0	2,5	11,4	14,7
Gesamt	GW	1,4	3,1	9,6	23,1	43,1	57,4

Quelle: Eigene Annahmen Öko-Institut

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Dekarbonisierung hat zum einen direkte Wechselwirkungen mit den Instrumenten in den Sektoren Gebäude und Industrie. Sofern Maßnahmen und Instrumente in diesen Sektoren auf eine verstärkte Nutzung von Fernwärme setzen, so muss die Dekarbonisierung im Sektor Energiewirtschaft erfolgen.

Gleichermaßen wirkt sich die Fernwärmeerzeugung auf die Stromerzeugung im Sektor Energiewirtschaft aus. So erhöhen insbesondere Großwärmepumpen die Stromnachfrage, die in der Energiewirtschaft gedeckt werden muss. Power-to-Heat, insbesondere in Kombination mit einer Flexibilisierung der Nachfrage durch den Einsatz von Wärmespeichern, trägt dazu bei, die fluktuierende Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zu integrieren.

4.2.5 Ausbau der Elektrolyse

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

In CARETarget werden die Elektrolysekapazitäten in Deutschland gemäß der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) national hergestellt. Zusätzlicher Wasserstoff kann importiert werden. Damit leisten die Elektrolyseure neben dem Wasserstoff-Import einen Beitrag zur Deckung des Wasserstoffverbrauchs.

Parametrisierung

Im Rahmen dieser Maßnahmen werden 7,5 GW (2030), 15 GW (2035), 20 GW (2040) bzw. 25 GW (2045) zugebaut.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Diese Maßnahme hat nur indirekte Wechselwirkung mit der Deckung der Wasserstoffnachfrage in anderen Sektoren, da nur ein Teil des Wasserstoffes durch inländische Elektrolyseure gedeckt werden kann. Zusätzlicher Wasserstoff kann importiert werden.

Der Betrieb der Elektrolyseure wechselwirkt wiederum mit der Energiewirtschaft, da die zusätzliche Stromnachfrage durch die Kraftwerke gedeckt werden muss. Dabei trägt der flexible Einsatz der Elektrolyseure zur verbesserten Integration der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei.

4.2.6 Umstellung von einem Erdgasnetz auf ein Wasserstoffnetz¹⁸

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Das Erdgasnetz in Deutschland umfasst im Jahr 2020 knapp 34.000 km Transportnetz und über eine halbe Million Kilometer Verteilnetz (UBA 2022). Um das Gasnetz treibhausgasneutral zu machen, gibt es drei Optionen:

- Umrüstung auf Wasserstoff;

¹⁸ Dieses Instrument wurde analog zu Harthan et al. (2025) angesetzt.

- Rückbau;
- Stilllegung ohne Rückbau (z.B. durch Befüllung mit Inertgas).

Welche der drei Optionen gewählt werden kann, hängt von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten ab. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass es einen gewissen Zeitverzug gibt zwischen Rückgang des Erdgasverbrauchs und Möglichkeit zum Rückbau des Gasnetzes, da ein Netzstrang erst dann stillgelegt werden kann, wenn der letzte Verbraucher an diesem Strang umgerüstet ist.

Im Gasnetz gibt es Verdichter, die mit Erdgas befeuerten Gasturbinen angetrieben werden. Verdichter können auch elektrisch angetrieben werden. „Laut CRF-Tabellen für das Jahr 2018 verbrauchten die Erdgasverdichter der Inventarkategorie 1.A.3.e etwa 23,7 PJ an Erdgas und emittierten 1,3 Mio. t CO₂-Äq. Die damit verbundene mechanische Antriebsarbeit lässt sich mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 35 % für eine Gasturbine mit 8,3 J abschätzen. Würden diese Gasturbinen komplett durch Elektromotoren ersetzt werden, würde dies eine zusätzliche Stromnachfrage von 2,3 TWh bzw. 8,3 PJ bedeuten“ (Repenning et al. 2023).

Parametrisierung

Erdgas besteht hauptsächlich aus Methan, das ein starkes Treibhausgas ist. Wasserstoff ist kein direktes Treibhausgas. Daher ist für die Berechnung der diffusen Emissionen aus dem Gasnetz nur das Erdgasnetz, nicht aber das Wasserstoffnetz relevant. Da das Wasserstoffnetz nicht explizit modelliert ist, führen alle drei oben genannten Maßnahmenoptionen zu den gleichen parametrisierenden Größen: den verbleibenden Netzlängen im Erdgastransport- und Verteilnetz. Konkret wird folgende Parametrisierung für die Netzlängen angesetzt:

- Bis 2030 ändert sich an der Länge des Erdgasnetzes nichts, da noch zu viele Verbraucher am Netz hängen und daher noch kein nennenswerter Rückbau stattfinden kann. Dies stellt aber immerhin einen Fortschritt gegenüber dem Status quo dar, denn aktuell gibt es Planungen für einen Ausbau der Erdgasinfrastruktur (siehe z.B. den aktuellen Entwurf zum Netzentwicklungsplan Gas (FNB Gas - Die Fernleitungsnetzbetreiber 2023)).
- Der Rückbau nach 2030 erfolgt bis 2050 und nicht 2045, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass es einen gewissen Zeitverzug zwischen Rückgang des Erdgasverbrauchs und der Möglichkeit zum Rückbau des Gasnetzes gibt.

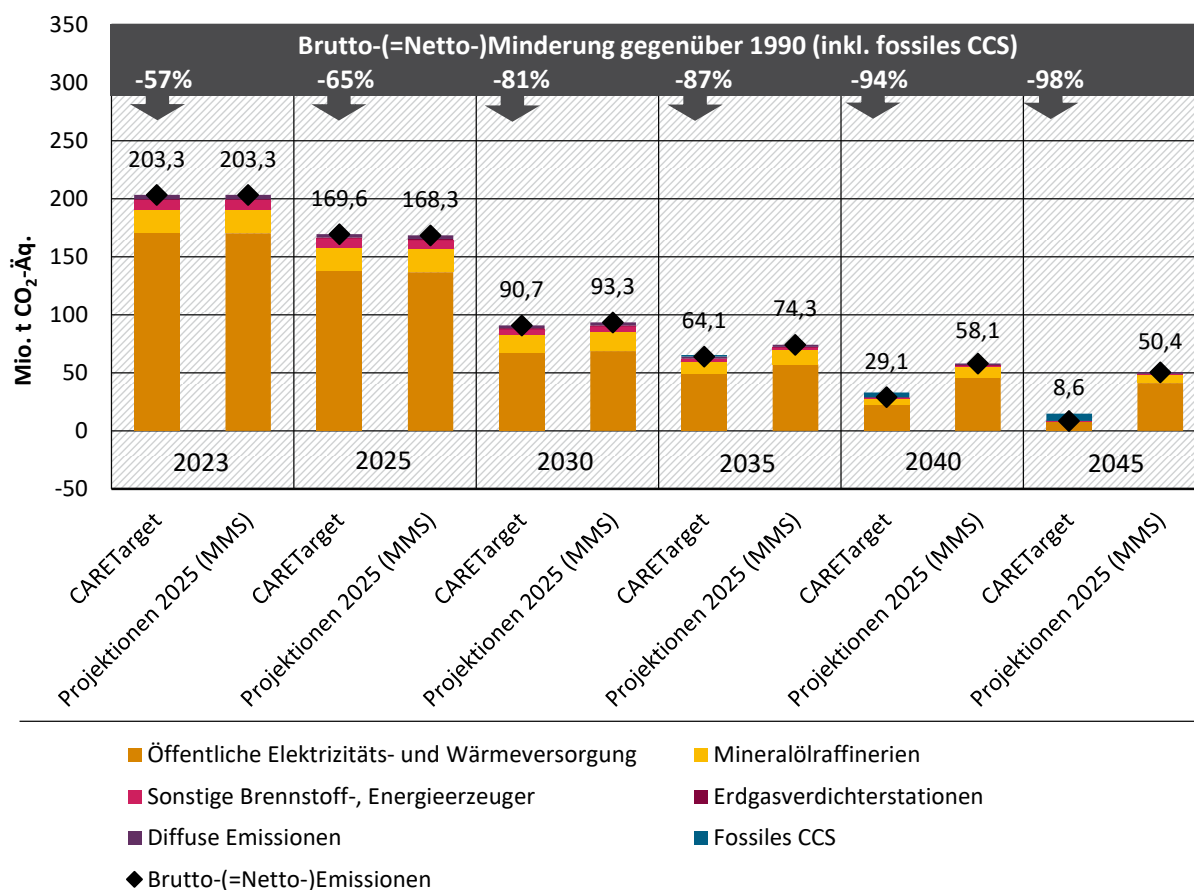
Die Parametrisierung der Verdichter im Erdgasnetz erfolgt in Anlehnung an Repenning et al. (2023): Für CARETarget „wird die Maßnahme so parametrisiert, dass unter Berücksichtigung der Entwicklung des Gasverbrauchs von den bestehenden mit Gasturbinen angetriebenen Verdichtern 10 % bis zum Jahr 2030 und 25 % bis zum Jahr 2040 auf elektrisch angetriebene Verdichter umgerüstet werden. Dies berücksichtigt, dass möglicherweise an einzelnen Standorten das lokale Stromnetz keinen Anschluss so starker und intermittierend arbeitender Verbraucher zulässt. Es sei explizit angemerkt, dass hier ausschließlich eine technische Abschätzung und keine ökonomische Bewertung erfolgen kann. Auch erfolgt die Modellierung ohne explizite Betrachtung einzelner Verdichterstandorte“ (Repenning et al. 2023). Auch für Verdichter im Wasserstoffnetz wird ein entsprechender Mix aus Verdichtern mit Gasturbinen und Verdichtern mit Elektromotoren unterstellt. Die Nutzung von Verdichtern mit Gasturbinen im Wasserstoffnetz ermöglicht eine gewisse Unabhängigkeit vom und Redundanz zum Stromnetz.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Diese Maßnahme interagiert mit den Instrumenten anderer Sektoren zum einen dadurch, dass der Gasverbrauch der Erdgasverdichter von der Gasnachfrage in den Verbrauchssektoren abhängt. Gleichmaßen wirkt sich die Umrüstung auf elektrische Verdichter auf die Stromnachfrage aus, die durch die Energiewirtschaft gedeckt werden muss.

4.3 Zentrale Ergebnisse

Abbildung 20: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Anmerkung: Im Sektor Energiewirtschaft kommt es zu keinen Negativemissionen, da BECCS Teil des separaten Sektors „Technische Senken nach §3b KSG“ ist. Deshalb sind die Brutto-Emissionen identisch mit den Netto-Emissionen.
Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellierung: Öko-Institut

Tabelle 10: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft, CARETarget, 2023-2045

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Erzeugte Treibhausgase (exkl. CCS, BECCS)						
Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung	170,2	137,8	67,1	50,5	26,3	14,4
Mineralölraffinerien	20,4	19,9	15,5	10,4	5,1	0,2

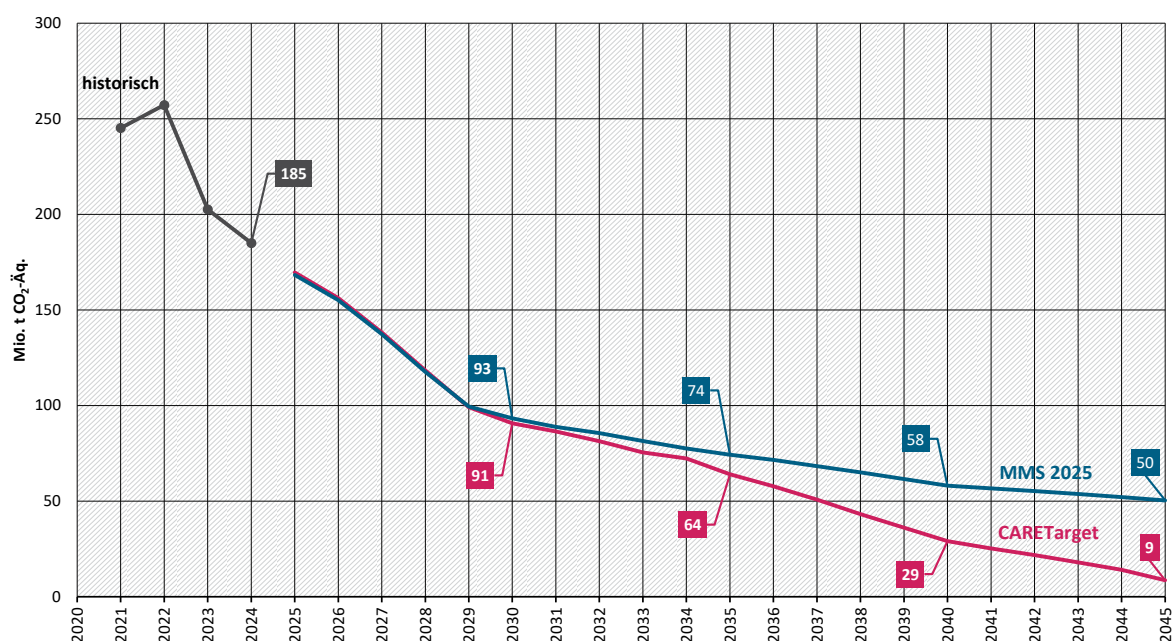
Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger	8,1	8,0	4,9	2,2	0,8	0,1
Erdgasverdichterstationen	0,9	0,9	0,8	0,5	0,1	0,0
Diffuse Emissionen	3,6	2,9	2,4	1,7	0,8	0,2
Erzeugte Emissionen	203,3	169,6	90,7	65,3	33,1	14,8
Fossiles CCS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fossiles WACCS	0,0	0,0	0,0	(-)1,2	(-)4,0	(-)6,2
Brutto-Emissionen (inkl. fossiles CCS) = Netto-Emissionen¹⁹	203,3	169,6	90,7	64,1	29,1	8,6
<i>Brutto-Minderung / Netto-Minderung gegenüber 1990</i>	<i>-57,3 %</i>	<i>-64,3 %</i>	<i>-80,9 %</i>	<i>-86,5 %</i>	<i>-93,9 %</i>	<i>-98,2 %</i>
Technische Negativemissionen gemäß § 3b (in der Energiewirtschaft)						
Biogenes WACCS (BECCS) ²⁰	0,0	0,0	0,0	-1,2	-3,1	-7,4
<i>Nachrichtlich:</i>						
WACCS von Kunststoffen auf Basis von atmosphärischem CO ₂ ²¹	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-2,1

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellierung: Öko-Institut

¹⁹ Im Sektor Energiewirtschaft kommt es zu keinen Negativemissionen, da BECCS Teil des separaten Sektors „Technische Senken nach §3b KSG“ ist. Deshalb sind die Brutto-Emissionen identisch mit den Netto-Emissionen.

²⁰ BECCS ist Teil des separaten Sektors „Technische Senken nach §3b KSG“. Deshalb wird es nicht im Sektor Energiewirtschaft bilanziert.

²¹ In CARETarget werden die Ausgangsstoffe für Kunststoffe auf Basis von atmosphärischem Kohlenstoff importiert. Die Senke entsteht im Ausland und die Einspeicherung im Inland wird nicht bilanziert.

Abbildung 21: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (2025-2045)

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellierung: Öko-Institut

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Energiewirtschaft werden in CARETarget im Jahr 2045 gegenüber 1990 fast vollständig (-98,2 %) gemindert (Abbildung 20, Tabelle 10). Der größte Teil der Emissionsminderung erfolgt in der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung und bereits bis 2030. Es verbleiben vornehmlich Emissionen aus der Abfallverbrennung sowie geringe Emissionen aus Mineralöl und Erdgas.

In der Abfallverbrennung wird CCS eingesetzt. Im Jahr 2045 werden rund 6,2 Mio. t CO₂ aus der Verbrennung fossiler Abfälle abgeschieden und gespeichert. Außerdem werden rund 2,1 Mio. t CO₂ aus der Verbrennung von Kunststoffen auf Basis von atmosphärischem CO₂ sowie rund 7,4 Mio. t CO₂ aus der Verbrennung biogener Abfälle abgeschieden und gespeichert.

Stromerzeugung

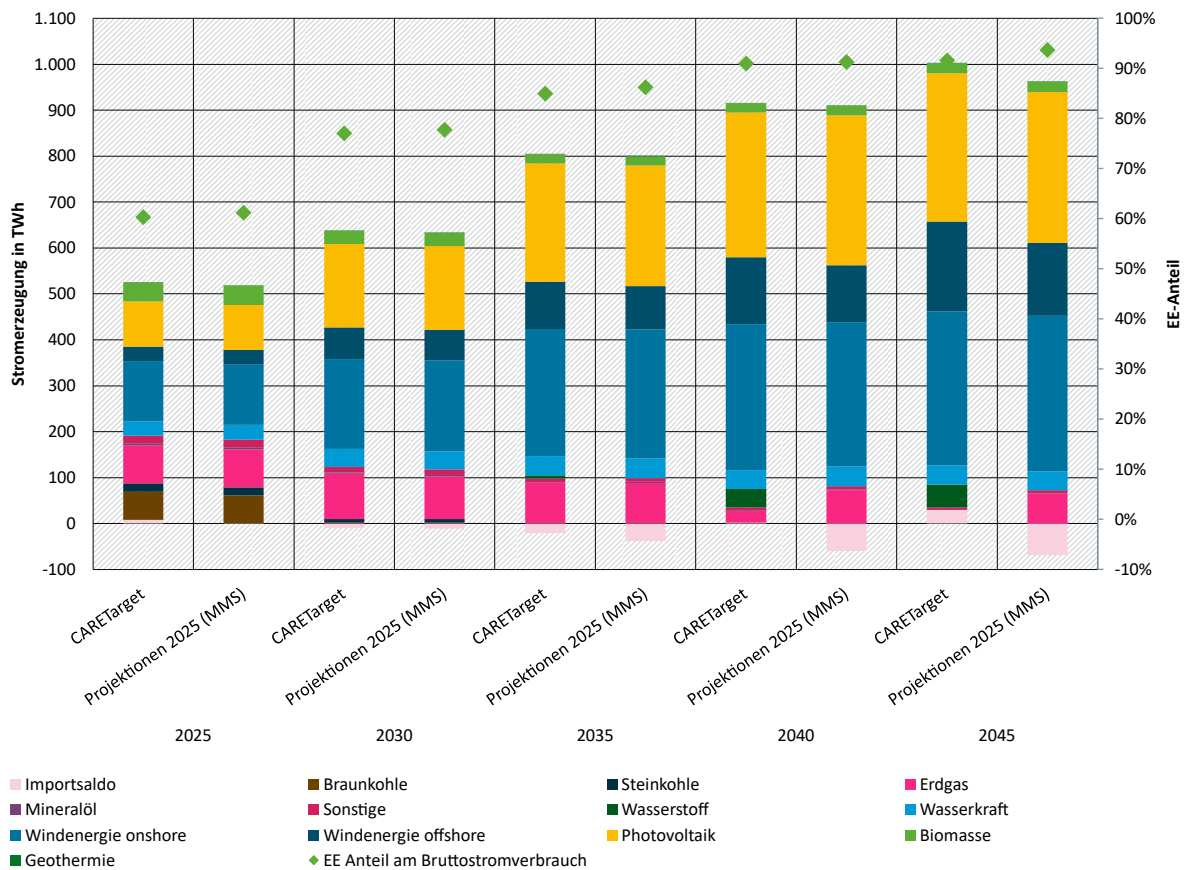
Die installierte Leistung in CARETarget wird auf Basis der vorgesehenen Instrumente sowie zur Erreichung vorgegebener Ziele²² exogen vorgegeben und ist Input der Modellrechnungen. Die Parametrisierung kann den einzelnen Maßnahmen und Instrumenten in Abschnitt 4.2 entnommen werden.

Abbildung 22 zeigt die projizierte Entwicklung der Nettostromerzeugung in CARETarget. Es ist zunächst auffällig, dass sich die Stromerzeugung in etwa verdoppelt im betrachteten Zeitraum bis 2045 durch die starke Zunahme der Nachfrage der Verbrauchssektoren (Abschnitt 3.6). Um den Strombedarf zu decken, wird ein ambitionierter Ausbau der erneuerbaren Erzeugungstechnologien entlang der Ausbauziele von EEG 2023 und WindSeeG angenommen. Bis 2040 bleibt der Stromerzeugungssaldo ausgeglichen bzw. es kommt zu einem geringfügigen Nettoexport (2035). 2045 ist etwas Stromimport notwendig, um die Stromnachfrage zu decken. Stromimport und -export sind gemäß Szenariodefinition erlaubt zur Erreichung der Ziele (Abschnitt 4.1).

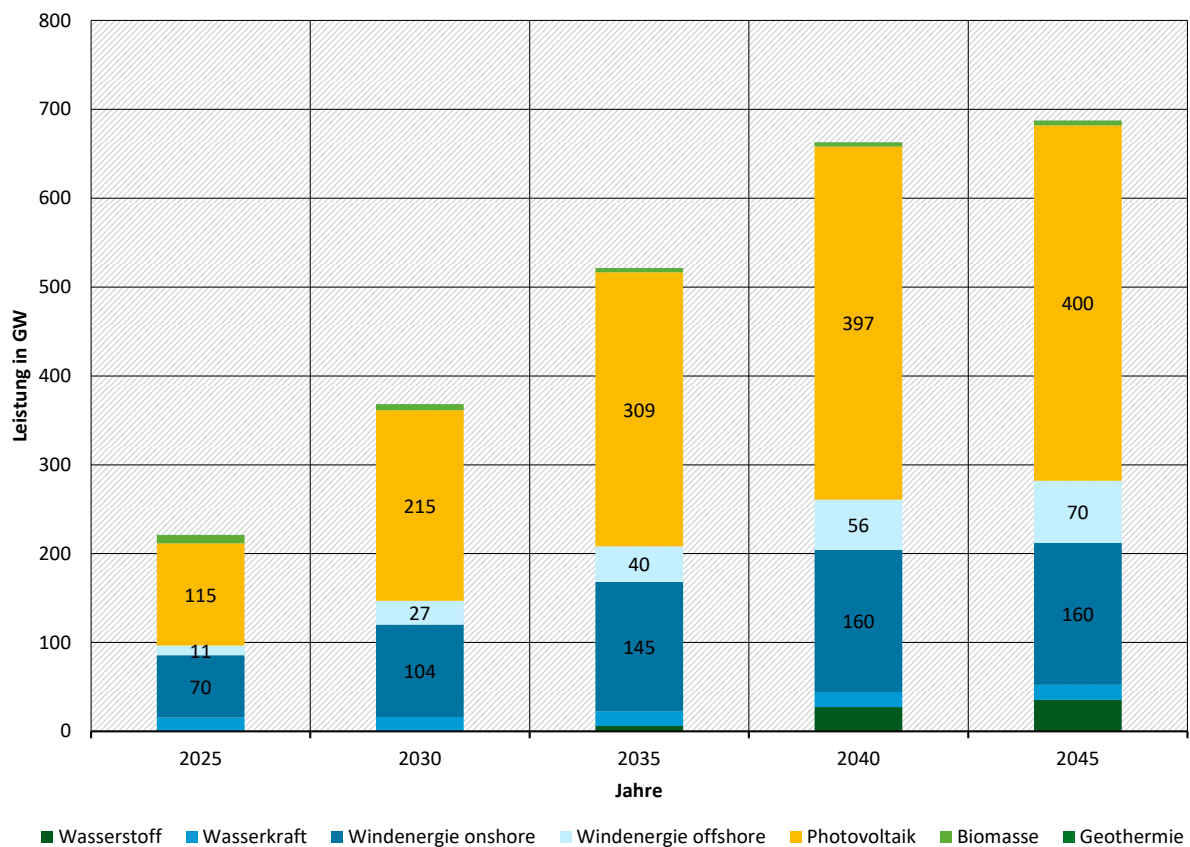
²² Treibhausgasminderung, Erfüllung der Nachfrage nach Strom, Fernwärme und in Deutschland produziertem Wasserstoff.

Der EE-Anteil am Bruttostromverbrauch liegt im Jahr 2030 bei 77 % und im Jahr 2035 bei 85 %. Ab 2040 liegt der EE-Anteil bei etwas über 90 %. Dies liegt unter anderem daran, dass noch fossiler Müll verbrannt wird. Darüber hinaus kommt es noch zu Nettoimporten von Strom (ca. 30 TWh im Jahr 2045). Pumpspeicher, Batteriespeicher und Demand Side Management (DSM) tragen zur Integration der erneuerbaren Energien bei. So stammen im Jahr 2045 rund 58 TWh Strom aus diesen Speicher- und Flexibilisierungsmaßnahmen (Tabelle 11). Wasserstoffkraftwerke tragen mit rund 50 TWh im Jahr 2045 deutlich zur Stromerzeugung bei.

Abbildung 22: Vergleich der Nettostromerzeugung und des EE-Anteils am Bruttostromverbrauch zwischen CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045



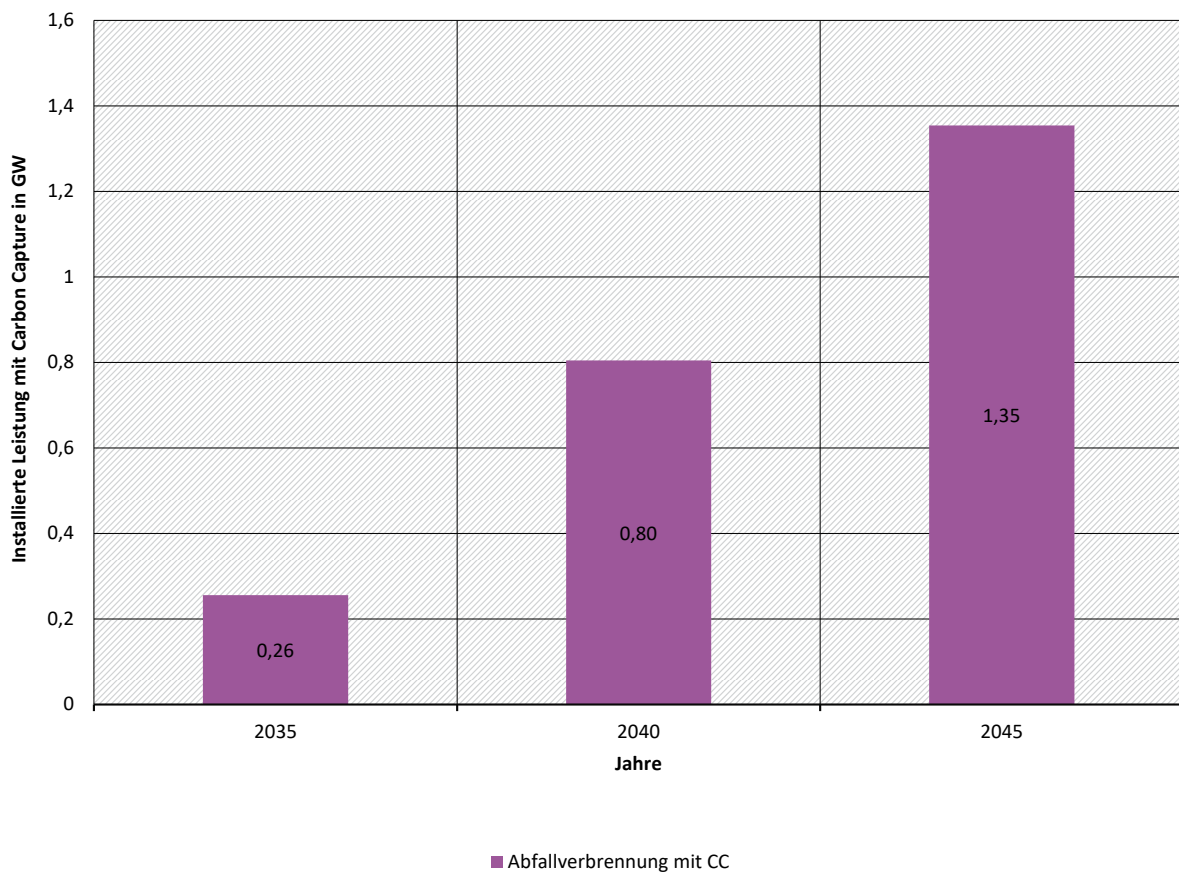
Quelle: Berechnungen Öko-Institut, (Förster et al. 2025a)

Abbildung 23: Installierte Leistungen erneuerbarer Energien in CARETarget²³, 2025-2045

Quelle: (Förster et al. 2025a)

Zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität wurden in CARETarget ab 2035 Carbon Capture-Anlagen in Müllheizkraftwerken errichtet (WACCS). Abbildung 24 zeigt die daraus resultierende installierte Leistung von Müll-Heizkraftwerken mit diesen Abscheideeinrichtungen. Während 2035 weniger als 300 MW mit solchen Anlagen ausgestattet sind, sind es 2045 bereits rund 1,4 GW.

²³ Die Leistungen entsprechen denen der Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) (Förster et al. 2025a). Aus diesem Grund werden die Leistungen der Treibhausgas-Projektionen 2025 hier nicht nochmals aufgeführt.

Abbildung 24: Entwicklung der installierten Leistung von Müll-Heizkraftwerken, die mit Carbon Capture ausgestattet sind, CARETarget, 2035-2045

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Die Elektrolyseure in CARETarget decken einen Teil der inländischen Nachfrage nach Wasserstoff. Darüber hinaus ist der Import von Wasserstoff zulässig (Abschnitt 4.2.5). So wird in CARETarget im Jahr 2045 eine Elektrolyseleistung von 25 GW erreicht (Tabelle 11). Daraus resultiert eine Wasserstoffproduktion von 77 TWh bei rund 3.100 Vollbenutzungsstunden. Die Stromerzeugung aus Wasserstoff-Kraftwerken nimmt ebenfalls schrittweise zu und erreicht 2045 rund 50 TWh.

Tabelle 11: Flexibilitäten: Installierte Leistung der Elektrolyseure, Volllaststunden, Wasserstoffproduktion, Kapazität der Wasserstoffspeicher, sowie Kapazität, Stromerzeugung und Volllaststunden von Wasserstoffkraftwerken nebst Kapazitäten und Stromerzeugung aus Speichern und DSM, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045

	2025		2030		2035		2040		2045	
	Target	MMS	Target	MMS	Target	MMS	Target	MMS	Target	MMS
Elektrolyseur-Leistung [GW]	0,2	0,2	7,5	7,5	15,0	15,0	20,0	20,0	25,0	25,0
Volllaststunden [h]	2.813	2.813	2.473	2.473	3.410	2.782	3.660	2.838	3.094	2.871

	2025		2030		2035		2040		2045	
Wasserstoffproduktion [TWh]	0,6	0,6	18,6	18,6	51,2	41,7	73,2	56,8	77,3	71,8
Kapazität der Wasserstoffspeicher [TWh]	0,3	0,3	6,7	6,7	20,0	20,0	24,1	24,1	28,1	28,1
Kapazität Wasserstoffkraftwerke [GW]	0,0		0,0		6,0		27,5		35,5	
Stromerzeugung in Wasserstoffkraftwerken [TWh]	0,0		0,0		7,7		40,4		49,4	
Volllaststunden Wasserstoffkraftwerke [h]					1.280		1.467		1.393	
Kapazität Pumpspeicher und Batterien [GW]	23,5	23,5	49,2	49,2	75,2	75,2	98,6	98,6	104,0	104,0
Stromerzeugung aus Pumpspeichern und Batterien [TWh]	14,6	14,8	31,1	31,8	42,6	44,5	50,1	53,0	52,8	53,0
Kapazität DSM [GW]	1,5	1,5	1,8	1,8	2,1	2,1	2,4	2,4	2,7	2,7
Stromerzeugung aus DSM [TWh]	1,3	1,3	2,8	2,8	3,8	3,9	4,3	3,4	5,1	3,5

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, (Förster et al. 2025a)

Abkürzungen: Target: CARETarget, MMS: Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS)

Um die Stromnachfrage in CARETarget in jeder Stunde und auch bei geringer Einspeisung aus erneuerbaren Quellen decken zu können, muss neben den in den Rechnungen explizit abgebildeten Flexibilitäten zusätzliche Leistung bzw. Flexibilität vorgehalten werden. Diese kann durch einlastbare Kraftwerke mit treibhausgasneutralen Brennstoffen, Importe, Speicher, weiteren DSM oder typischerweise durch eine Kombination aus allen genannten Optionen erfolgen. Der Bedarf, der durch diese residuale Flexibilität gedeckt werden muss, ist in CARETarget jedoch sehr gering und erreicht 2045 lediglich gut 1 TWh.

Tabelle 12: Residueller Flexibilitätsbedarf in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045

	2025		2030		2035		2040		2045	
	Target	MMS	Target	MMS	Target	MMS	Target	MMS	Target	MMS
	TWh									
Residueller Flexibilitätsbedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,3	1,2	0,3

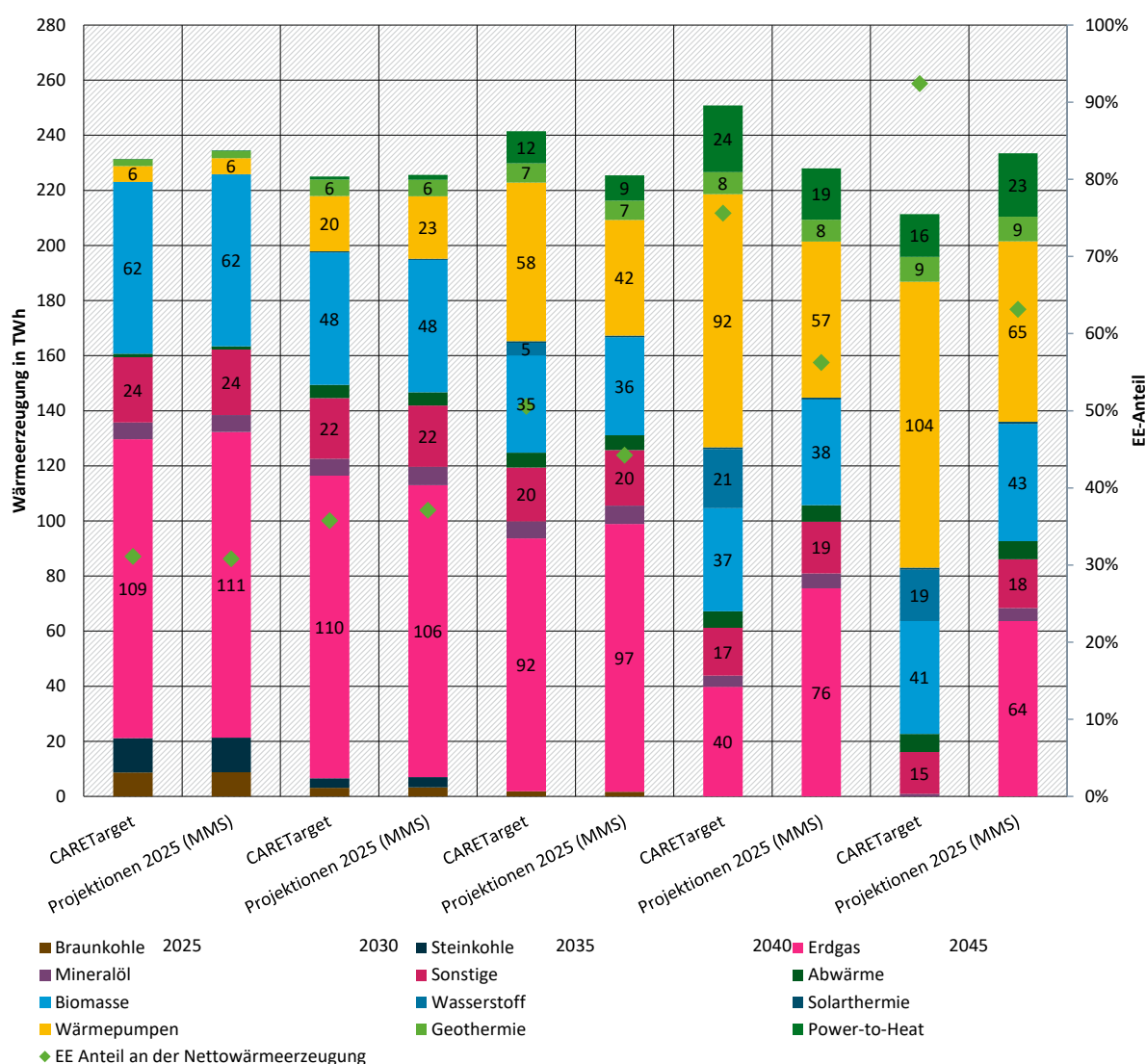
Quelle: Berechnungen Öko-Institut, (Förster et al. 2025a)

Abkürzungen: Target: CARETarget, MMS: Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS)

Der Anteil der netzgebundenen Wärme in CARETarget nimmt bis 2040 zunächst um ca. 10 % zu und sinkt dann unter das Niveau von 2025 ab, entsprechend der Entwicklung der Fernwärme-Nachfrage. Hierbei kommt es zwischen den Jahren 2040 und 2045 zu einem vollständigen Ausstieg aus der Wärmebereitstellung aus Erdgas im Kraftwerksbereich. Müll verbleibt als einziger relevanter nicht erneuerbarer Energieträger.

Die Rolle von Wärmepumpen nimmt im Zeitverlauf stark zu. 2045 liegt hier der größte Beitrag zur Wärmeversorgung vor. Der Beitrag der Biomasse nimmt bis 2030 deutlich ab und ist danach im Zeitverlauf eher konstant. Der Beitrag von Wasserstoff und Power-to-Heat zur Wärmebereitstellung nimmt im Zeitverlauf zu und liegt in der Bedeutung 2045 hinter Wärmepumpen und Biomasse.

Abbildung 25: Netzgebundene Netto-Wärmeerzeugung im Vergleich zwischen CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2025-2045



Quelle: Berechnungen Öko-Institut, (Förster et al. 2025a)

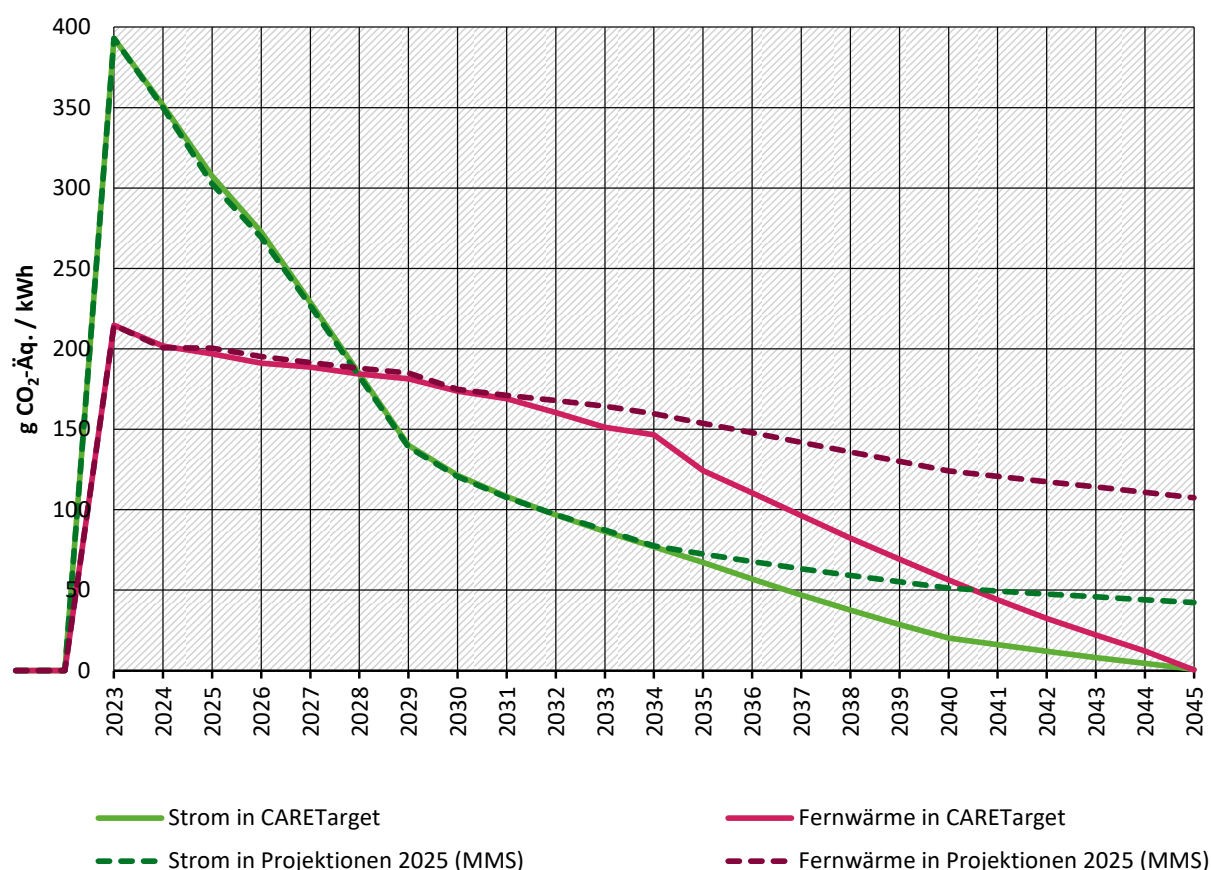
Resultierende Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme

Zur Berechnung der Emissionsfaktoren für Strom bzw. Fernwärme wird von den Brutto-Treibhausgasemissionen der Kraft- bzw. Heizwerke das gespeicherte CO₂ aus biogenem WACCs (BECCS) abgezogen. Die daraus resultierenden Netto-Treibhausgasemissionen der Kraft- bzw.

Heizwerke werden durch den Stromverbrauch bzw. die Fernwärmenachfrage dividiert. Die Entwicklung der resultierenden Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme sind in Abbildung 26 dargestellt. Historisch ist der Stromemissionsfaktor deutlich höher als der Fernwärmeemissionsfaktor. Der schnelle Umbau von fossiler zu erneuerbarer Stromerzeugung führt dazu, dass der Stromemissionsfaktor bis 2030 unter den Fernwärmeemissionsfaktor sinkt. Bis 2045 werden verbleibende fossile Emissionen aus Kraftwerken und Heizwerken fast vollständig durch BECCS kompensiert. Die nach der Berücksichtigung von BECCS noch verbleibenden Nettoemissionen betragen 2045 0,7 g CO₂-Äq. pro kWh Strom und 0,5 g CO₂-Äq. pro kWh Fernwärme.

Es ist anzumerken, dass die resultierenden Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme mittlere Emissionsfaktoren sind. Sie sind daher nicht gleichzusetzen mit Grenzemissionsfaktoren und beschreiben daher *nicht* die Wirkung einer *zusätzlichen* Kilowattstunde an Verbrauch.

Abbildung 26: Resultierende Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut, basierend auf Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI, (Förster et al. 2025a)

5 Industrie

5.1 Narrativ

Die Entwicklung des Industriesektors²⁴ in CARETarget setzt auf das Basisjahr 2023 auf. Von dort aus werden Annahmen zur wirtschaftlichen Entwicklung und weitere Rahmendaten der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2025a; Kemmler et al. 2025; Prognos 2025) angesetzt. Um die Erreichung von Klimazielen sicherzustellen, werden dem vorliegenden Pfad ergänzende Instrumente bzw. Instrumentenanpassungen hinzugefügt. Der Industriesektor folgt dadurch einem in der Szenariodefinition von UBA vorgegebenen sektoralen Treibhausgasemissionspfad.

Der Industriesektor vermeidet Treibhausgasemissionen zuvorderst durch quantitative Verstärkung bestehender Instrumente, schwerpunktmäßig im Bereich der Prozesswärmeerzeugung durch direkte Elektrifizierung und im Allgemeinen durch die vollständige Übernahme neuer Produktionsverfahren. Die Umstellung der chemischen Industrie auf eine weitgehende Nutzung von Wasserstoff ist eine auch qualitativ herausragende Szenarioannahme, die auch trotz hoher Vermeidungskosten getroffen wurde.

Ziel in CARETarget ist es, vornehmlich, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, die sektorübergreifenden Gesamtminderungen in den Zieljahren zu erreichen. Für die Ausgestaltung der Instrumente dienten die vom Auftraggeber vorgegebenen Jahresemissionsmengen als Orientierungsrahmen (Kapitel 1). Die dafür modellierten Instrumente sind subsektoral (nach industriellen Branchen) zusammengefasst und im Folgenden beschrieben.

5.2 Maßnahmen und Instrumente

5.2.1 Allgemeine Prozesswärme

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Zentrales Instrument für die Elektrifizierung der Prozesswärme ist – wie in den einzelnen Subsektoren bereits angeführt – ein gegenüber fossilen Optionen wettbewerbsfähiger Strompreis. Dies wird in CARETarget nicht allein über einen CO₂-Preis erreicht²⁵. Daher werden weitere Instrumente verstärkt, insbesondere durch höhere Budgets für Förderprogramme zur Markteinführung klimafreundlicher Herstellungsverfahren (siehe Förster et al. (2024)). Zunächst werden darin Investitionsförderungen und Betriebskostenzuschüsse ausgebaut und bis 2040 verstetigt. Dadurch wird der frühe (notwendig zur Einhaltung des für CARETarget definierten Treibhausgasemissionspfades) Umstieg auf Teilelektrifizierung mit Widerstandsheizelementen und Wasserstoff in Industrieöfen und Hochtemperaturwärmepumpen und Elektrodenkesseln für Dampferzeugung ermöglicht. Insbesondere die elektrische Beheizung von Industrieöfen und Elektrodenkesseln werden zunächst flexibel und mit nur geringen Volllaststunden betrieben. Dadurch werden

²⁴ Der Industriesektor umfasst die verarbeitende Industrie – darunter besonders emissionsintensive Subsektoren Eisen und Stahl, nicht-metallische Mineralien und Grundstoffchemie – und die dort ebenfalls bilanzierten Industriekraftwerke. Die industriellen Treibhausgasemissionen setzen sich aus energie- und prozessbedingten zusammen.

²⁵ 2018 betrug der Preisspread von Strom zu Erdgas etwa 65 €/MWh (Eurostat Datenbank NRG_PC_205, NRG_PC_203, ohne Umsatzsteuer und andere erstattungsfähige Steuern und Abgaben, Bänder I5 und IF). Diese Differenz würde (unter der Annahme, es gäbe keine Wirkung auf den Strompreis) durch eine CO₂-Preiserhöhung von etwa 300 €/t ausgeglichen (Emissionsfaktor Erdgas: 0,202 t CO₂/MWh).

Niedrigpreisphasen ausgenutzt und anfänglich hohe Vermeidungskosten reduziert²⁶. Ihre Anwendung weitet sich im Zeitverlauf aufgrund sinkender Vermeidungskosten aus. So wird nach 2035 verstärkt die Vollelektrifizierung mit Austausch fossiler Anlagen möglich. Damit wird maßgeblich Erdgas verdrängt, das als Referenzenergieträger in den meisten industriellen Anwendungen gilt. Ergänzend wird (außerhalb der Eisen und Stahlbranche) nur in geringem Umfang (2-3 % in der Dampferzeugung, etwa 15 % in Industrieöfen) Wasserstoff zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt.

Parallel zur Schaffung der wirtschaftlichen Attraktivität wird in vielen Branchen auch die Austauschgeschwindigkeit von Prozesswärmeanlagen deutlich erhöht (Größenordnung Faktor 1,4-2). Fossile Bestandsanlagen werden somit vor dem Ende ihrer technischen Lebensdauer ausgetauscht. Dies kann theoretisch als Reaktion auf Preissignale geschehen.

Ordnungsrechtliche Regelungen, die ökonomisch getriebenen Austausch ergänzen, werden nicht explizit modelliert. Sie erscheinen aber aufgrund der notwendigen Geschwindigkeit des Austauschs naheliegend²⁷.

Parametrisierung

Tabelle 13: Prozesswärmeförderung

	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Fördermittel in Prozesswärme [Mrd. EUR] ¹	0,0	2,3	1,4	3,4	2,5	2,0

Quelle: Annahmen Fraunhofer ISI

Anmerkung 1: Zwischen Stützjahren schwankende Verteilung, Mittelwert 2025-2045: 2,4 Mrd. EUR pro Jahr.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Umstellung der Prozesswärmeerzeugung auf nicht-fossile Energieträger (vorrangig direkte Elektrifizierung, in geringem Umfang Wasserstoff) betrifft über 300 TWh Energiebedarf – den Hauptteil der industriellen Nachfrage. Der hauptsächlich genutzte Energieträger Erdgas wird komplett ersetzt, damit verbundene Infrastruktur verliert weitgehend – wo sie nicht für Wasserstoff oder CO₂-Transport umgenutzt wird – an Wert. Die zur Verfügung stehenden Technologien, ihre Förderung und damit zusammenhängende Instrumente wirken daher auf eine Vielzahl von Akteuren, Elementen und Instrumenten des Energiesystems, über Stromnetze und Stromnetzanschlüsse, über Energiehändler, bis hin zu Anlagenherstellern und Anwender.

Das Instrument hat eine sehr hohe Wirkung auf die energiebedingten Treibhausgasemissionen. Gegenüber 2023 werden in Kombination mit bereits existierenden Instrumenten im Jahr 2045 etwa 84 Mio. t CO₂-Äq. Treibhausgasemissionen vermieden.

²⁶ Das hier verwendete Elektrifizierungskonzept basiert auf den Erkenntnissen von Fleiter et al. (2023) und Fraunhofer ISI (2024), die hohes technisches Potenzial zur Elektrifizierung industrieller Prozesswärme identifizieren, aber als maßgebliches Hemmnis hohe Energieträgerpreisdifferenzen zwischen Erdgas und Strom benennen. Die Elektrifizierung wird daher umgesetzt, indem elektrifizierte Dampferzeuger und Industrieöfen mit voller Kapazität installiert, aber nur in Phase niedriger Strompreise auch tatsächlich betrieben werden. Der darüber hinaus gehende Bedarf wird mit fossilen Bestandsanlagen gedeckt. Mit im Verlauf des modellierten Zeitraums sinkenden Differenzkosten steigen elektrische Nutzungszeiten bis hin zur Vollelektrifizierung an.

²⁷ Ergänzend ist die Neu- oder Ersatzinstallation mit fossilen Dampferzeugungsanlagen nach 2030 in CARETarget nicht mehr möglich. In Kombination mit Förderungen und der technischen Verfügbarkeit von CO₂-armen Optionen betrifft diese Regelung in CARETarget nur wenige Anlagen bzw. geringe Energiemengen. Eine reale Entsprechung dieser Setzung in Form einer ordnungsrechtlichen Maßnahme ist nicht notwendig gegeben – sie ist modellseitig/methodisch notwendig, um ein „Schwingen“ zwischen neuen fossilen Anlagen und frühzeitigem Ersatz zu verhindern. Inhaltlich gilt aber, dass derartige Investitionen nach 2030 mit hoher Wahrscheinlichkeit vor dem Ende ihrer technischen Lebensdauer oder gar ihrer Abschreibungsdauer ausgetauscht werden müssen, mithin Kapitalverlust droht. Sie sind daher bereits aus diesem Grund zu vermeiden.

5.2.2 CO₂-Abscheidung, Transport und Speicherung

In CARETarget wird von der Ermöglichung von CO₂-Abscheidung, Transport und Speicherung ausgegangen. Dazu werden Randbedingungen entsprechend der Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes (KSpTG) angenommen. In der Industrie sind ausschließlich Anwendungen an Quellen prozessbedingter Treibhausgasemissionen (konkret der Zement- und Kalkherstellung) relevant (siehe Abschnitt 5.2.4).

Parametrisierung

Siehe Abschnitt 5.2.4.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Maßnahme ist auf prozessbedingte Treibhausgasemissionen fokussiert und ermöglicht deren Minderung (vgl. Abschnitt 5.3). Es werden auch nicht-prozessbedingt entstehende Treibhausgase (im gleichen Abgasstrom) abgeschieden. Allerdings wird unterstellt, dass die Verfügbarkeit von CO₂-Abscheidung den Brennstoffwechsel zu defossilisierter Prozesswärmeerzeugung an den betroffenen Standorten nicht hemmt. Dies könnte z.B. umgesetzt werden, indem der errechnete nicht-prozessbedingte fossile Anteil der abgeschiedenen Treibhausgasemissionen als nicht vermieden bilanziert (und daher weiter in Emissionshandelssystemen bepreist wird) oder mit einem Aufschlag für Transport- und Speicherkosten belegt wird. Dieses Vorgehen wurde aber nicht explizit modelliert.

5.2.3 Grundstoffchemie

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

In CARETarget werden etwa 18 % der Primärproduktion von Olefinen²⁸ (ein Vorprodukt von Kunststoff) über mechanisches und chemisches Recycling bereitgestellt (bzw. ersetzt). Der Rest wird über die Methanol-to-Olefins-Route aus Wasserstoff und CO₂ erzeugt. Die wirtschaftliche Attraktivität dieses Produktionspfads ist stark abhängig vom Wasserstoffpreis und weist im gesamten Modellierungszeitraum hohe Vermeidungskosten auf, sofern Treibhausgasvermeidung entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Kunststoff – insbesondere der stofflich gebundenen Teile – nicht vollständig in die Berechnung einbezogen werden kann²⁹. Daher wird in CARETarget davon ausgegangen, die Umstellung auf die wasserstoffbasierte Route so spät wie möglich zu beginnen – wobei eine große Unsicherheit besteht, wann das ist – um die zu deckenden zusätzlichen Kosten zu verringern. Dennoch macht die Förderung der Umstellung der Chemieindustrie im gesamten erfassten Budget der Fördermittel etwa 55 % aus.

In CARETarget wurde angenommen, dass Treibhausgasminderungen nicht über eine Verlagerung von Produktion erfolgen – dies ist aber aufgrund hoher Vermeidungskosten eine mögliche Route. Die Nutzung von biogenen Rohstoffen (in dann technisch deutlich anderen Produktionsrouten) wurde aufgrund unklarer nachhaltiger Potentiale nicht berücksichtigt. Auch diese Optionen scheinen grundsätzlich denk- aber schwer abschätzbar.

²⁸ Tabelle 14 nutzt Ethylen als Repräsentant von Olefinen. Die gekoppelte Produktion anderer Olefine ist mit abgebildet, ebenso Aromatenproduktion.

²⁹ Zentral ist dabei die Bilanzierung von CO₂-Emissionen nach Herkunft bei der thermischen Verwertung von Kunststoffen (Müllverbrennungsanlagen) sowie die Weitergabe des entstehenden Preissignals an die Hersteller von Kunststoffen und Olefinen. Im Produkt gebundener Kohlenstoff wird aktuell im ETS nicht erfasst. Daher wird dieser (stofflich verwendete) fossile Kohlenstoff nicht mit einer CO₂-Abgabe belegt – eine Vermeidung dadurch entstehender Treibhausgasemissionen in Müllverbrennungsanlagen wird somit auch nicht durch vermiedene Zertifikatskosten belohnt. In Zukunft soll bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen fossiles CO₂ aus Produkten bepreist werden. Die Nutzung von biogenem und atmosphärischem CO₂ könnte so angereizt werden – sofern ein Herkunftsnachweis der Kunststoffe möglich ist. Bei der Nutzung von fossilem prozessbedingtem CO₂ in CCU existieren noch Unklarheiten.

Parametrisierung

Tabelle 14: Produktionsmengen Olefine

	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Konventionelle Ethylenproduktion [Mt]	3,9	4,5	4,7	4,4	3,2	0,0
Wasserstoffbasierte Ethylenproduktion [Mt]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	3,8
Recycling (Zuwachs, ersetzte Primärproduktion) [Mt]	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8

Quelle: Annahmen Fraunhofer ISI

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Nachfrage nach Wasserstoff aus der Chemieindustrie ist ein zentraler Pfeiler zur Auslastung des geplanten Wasserstoffkernnetzes – im Jahr 2023 wurden 200 TWh fossile Energieträger stofflich in der Chemie eingesetzt. Das entspricht der Größenordnung der Erdgasnutzung in der Industrie insgesamt. Ein Wegfall dieser Nutzung könnte die Wasserstoffinfrastruktur im Ganzen – jedenfalls im geplanten Umfang – unwirtschaftlich machen, und damit den Zugang anderer Nachfrager (Stahlindustrie, allgemeine Prozesswärme) zu leitungsgebundenem Wasserstoff blockieren.

Das Instrument hat eine sehr hohe Wirkung auf die energiebedingten Treibhausgasemissionen – auch wenn diese aufgrund der sektoralen Zuordnung nicht im Industriesektor bilanziert werden, und aufgrund der Lebensdauer von Kunststoffprodukten erst nach 2045 ihre volle Wirkung entfaltet. Gegenüber dem Ist-Zustand 2023 werden im Jahr 2045 etwa 48 Mio. t fossiles CO₂ durch CO₂ auf Basis von atmosphärischem Kohlenstoff bzw. entsprechend kompensierten Kohlenstoff aus Industrieprozessen ersetzt.³⁰

5.2.4 Verarbeitung von Steinen und Erden (hier: Zement und Kalk)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Bei der Herstellung von Zement wird die Nutzung von CO₂-Abscheidung zur Adressierung schwer oder nicht vermeidbarer Treibhausgasemissionen verstärkt. Ab 2033 starten Projekte mit vollständiger Integration von Abscheidung, Transport und Speicherung; im Jahr 2045 sind sämtliche Produktionskapazitäten mit dieser Technologie ausgerüstet und fangen etwa 95 % der prozessbedingten (89 % der gesamten) Treibhausgasemissionen auf³¹. Da diese CO₂-Mengen eine fossile Herkunft aufweisen, wird eine Speicherung notwendig – Teilmengen können zuvor stofflich in der Chemieindustrie genutzt werden. CARETarget sieht CO₂-Abscheidung ausschließlich an Quellen prozessbedingter Treibhausgasemissionen in der Zement- und Kalkindustrie vor.

³⁰ Die durch die stoffliche Nutzung von Kohlenstoff in Chemieprodukten potenziell entstehenden Treibhausgasemissionen werden im Umwandlungssektor – konkret Müllverbrennungsanlagen – bilanziert. Im Gegensatz zu fossilem Kohlenstoff geht Kohlenstoff aus atmosphärischem Ursprung in Projekt CARE nicht in die Bilanz ein. Dies führt zu einer Reduktion der erzeugten Treibhausgase bei Verwendung von Kohlenstoff aus atmosphärischem Ursprung.

³¹ Dabei handelt es sich um eine bilanzielle Angabe. In der Modellierung wird von einer erreichbaren Abscheiderate von 80 % ausgegangen – die Differenz bilden biogene CO₂-Ströme, die mit abgefangen werden.

Parametrisierung

Tabelle 15: Umfang CO₂-Abscheidung in der Industrie

	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Abgeschiedene Menge CO ₂ [Mt]	0	0	0	2,4	6,4	13,1

Quelle: Annahmen Fraunhofer ISI

Adressierung von prozessbedingten Emissionen (R)

Wichtige Voraussetzungen für die Ermöglichung der CO₂-Abscheidung (sowie Transport und Speicherung) sind Änderungen der Gesetzeslage (London Protokoll, KSpTG), die Errichtung eines umsetzbaren Rahmens für die Infrastruktur (z.B. Klärung der Finanzierung und Zusammenarbeit relevanter Akteure) und zu Beginn – abhängig von den sich tatsächlich darstellenden Kosten – investive Fördermittel (in der zweiten Hälfte der 2030er sind im Szenario negative Vermeidungskosten zu erwarten und somit weitere Förderungen unnötig). Hier wird angenommen, dass ein Paket dieser Voraussetzungen als Instrument umgesetzt wird. Aufgrund der strikten Begrenzung der Anwendbarkeit auf schwer vermeidbare Treibhausgasemissionen³² existieren keine Wechselwirkungen – von möglichen, hier aber nicht untersuchten Konflikten oder Synergien des Infrastrukturausbaus abgesehen.

Das Instrument hat hohe Wirkung auf die prozessbedingten Treibhausgasemissionen. Gegenüber 2023 werden im Jahr 2045 etwa 13 Mio. t CO₂-Äq. Treibhausgasemissionen vermieden.

5.2.5 Eisen und Stahl

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Im Subsektor Eisen und Stahl wird der Transformationspfad leicht angepasst, um ihn an die veränderten Instrumente in anderen Bereichen und den vorgegebenen Pfad der Jahresemissionsmengen anzugleichen. Qualitativ bleibt es bei einem Ende des Betriebs von Hochöfen bis Mitte der 2040er, insgesamt werden aber etwa 5 % höhere Produktionsmengen in dieser Route erzeugt.

Parametrisierung

Tabelle 16: Produktionsmengen in Hochofenroute

	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Aktivität Hochofenroute [Mt]	24,4	25,6	15,3	8,7	4,0	0,0

Quelle: Annahmen Fraunhofer ISI

Umstellung der Primärproduktion

Die Umstellung der Primärproduktion von Eisen und Stahl wird bis 2035 maßgeblich durch Instrumente zur Förderung der Markteinführung klimafreundlicher Herstellungsverfahren gestützt. Dadurch können zunächst noch mittlere bis hohe Vermeidungskosten abgefangen werden, um den Umstieg auf Direktreduktion mit Erdgas und nach 2030 zunehmend Wasserstoff wirtschaftlich attraktiv zu machen. Dazu gehören Subventionen von Investitions- und Betriebskosten. Nach 2035 sinken Vermeidungskosten aufgrund geringer angenommener

³² Zwar gibt es weitere so klassifizierbare Emissionsquellen – diese sind aber weniger gut für CO₂-Abscheidung geeignet.

Wasserstoffpreise und höherer CO₂-Preise, die Verfahren werden somit ohne weitere Förderung attraktiv.

Die Stahlindustrie bildet damit einen, und nach der Chemieindustrie den zentralen Ankerkunden für Wasserstoff und die Auslastung des Wasserstoffkernnetzes. Dadurch wird dessen Betrieb darstellbar und die grundsätzliche Möglichkeit geschaffen, auch in anderen Bereichen – wie der allgemeinen Prozesswärmebereitstellung – Wasserstoff leitungsgebunden zu nutzen. Der Umfang dieser Nutzung außerhalb der Stahlindustrie ist jedoch im Szenario mit etwa 15 % der gesamten energetischen Nutzung der Industrie gering.

Diese Veränderung wirkt leicht emissionssteigernd.

5.2.6 Reduktion der CO₂-Emissionen in der Aluminiumproduktion (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

In der Aluminiumindustrie werden jährlich rund 0,7 Mt CO₂ aus der Nutzung von Graphit-Elektroden emittiert. Daneben entstehen FKW-Emissionen von rund 0,1 Mt CO₂-Äq. Um diese Prozessemissionen zu reduzieren, können Graphit-Elektroden durch inerte Anoden ersetzt werden.

Die Instrumente, um diese Entwicklung zu ermöglichen, sind der CO₂-Preis im EU-Emissionshandel sowie Förderungen. Außerdem wird Technologieentwicklung benötigt, da inerte Elektroden in der Aluminiumindustrie noch nicht für die reguläre Produktion einsetzbar sind.

Parametrisierung

Für die Umstellung auf inerte Anoden wird ein Anteil von 0 % im Jahr 2030 und 100 % im Jahr 2045 angenommen, mit einem linearen Verlauf in den Zwischenjahren.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Umstellung auf inerte Elektroden wird durch einen hohen CO₂-Preis im EU-Emissionshandel unterstützt.

5.2.7 Reduktion der Prozessemissionen in der Zinkproduktion (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

In der Zinkproduktion werden jährlich rund 0,3 Mt CO₂ aus der Nutzung von Reduktionsmitteln emittiert. Diese können reduziert werden, indem fossile Reduktionsmittel durch biogene bzw. synthetische Reduktionsmittel ersetzt werden.

Parametrisierung

Für die Umstellung der Reduktionsmittel wird ein Anteil von 0 % im Jahr 2030 und 100 % im Jahr 2045 angenommen, mit einem linearen Verlauf in den Zwischenjahren.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Der CO₂-Preis wirkt als Treiber für die Umstellung der Reduktionsmittel.

5.2.8 Reduktion von Paraffinwachsen aus fossilen Quellen (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Die Emissionen aus Paraffinwachsen (rund 0,5 Mt CO₂-Äq.) werden durch die Verbrennung von Kerzen aus Wachsen fossilen Ursprungs dominiert. Paraffin aus fossilen Rohstoffen kann durch Wachs auf Basis von Pflanzenölen oder atmosphärischem CO₂ ersetzt werden. Außerdem

können Kerzen z.T. durch elektrische Licht- und Wärmequellen ersetzt werden. Die entsprechenden Instrumente sind Anreize oder (teilweise) Verbote für Wachse fossilen Ursprungs.

Parametrisierung

Es wird angenommen, dass sich die Nutzung von Wachsen fossilen Ursprungs bis 2030 konstant bleibt und zwischen 2030 und 2045 linear um 50 % abnehmen.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Umstellung auf Grundstoffe auf Basis von atmosphärischem Kohlenstoff in der chemischen Industrie unterstützt die Reduktion fossiler Paraffinwachse.

5.2.9 Reduktion und Ersatz von Lösemitteln (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Durch den Einsatz von Lösemittel werden flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) emittiert, die in der Atmosphäre zu CO₂ umgewandelt werden und dadurch zu indirekten CO₂-Emissionen in der Höhe von rund 1 Mt CO₂-Äq. führen.

Um den Einsatz von Lösemitteln zu reduzieren, kann die Nutzung spezifischer Stoffe für bestimmte Anwendungen eingeschränkt werden, wie dies bereits in der Vergangenheit im Rahmen von chemikalienrechtlichen Verordnungen und von Verordnungen unter dem Bundes-Immissionsschutzgesetz geschah.

Außerdem können durch verbesserte Verfahren der Einsatz und die Emissionen von NMVOC verringert werden, und Lösemittel auf Basis fossiler Grundstoffe können durch biogene Lösemittel ersetzt werden.

Parametrisierung

Die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ (UBA 2013) geht davon aus, dass die Emissionen von NMVOC bis 2050 um 51 % gegenüber 2020 abnehmen. Da diese Studie bereits alle technisch realisierbaren Minderungsmaßnahmen einbezieht, wird hier dieselbe prozentuale Reduktion angenommen.

Es wird aber berücksichtigt, dass die NMVOC-Emissionen im aktuellen verfügbaren Jahr 2023 bereits deutlich geringer sind als in der Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ angenommen wurde. Die NMVOC-Emissionen im Jahr 2023 betrugen 0,9 Mt CO₂-Äq. (UBA 2025b), während die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ noch von Emissionen von 1,4 Mt CO₂-Äq im Jahr 2020 ausging. Es wird nun angenommen, dass die Emissionen zwischen den Jahren 2023 und 2050 linear um 50 % abnehmen. Damit ergeben sich Emissionen von rund 0,5 Mt CO₂-Äq. im Jahr 2045.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch ordnungsrechtliche Maßnahmen werden indirekte CO₂-Emissionen reduziert bzw. fossiles CO₂ durch CO₂ aus nicht-fossilen Quellen ersetzt.

5.2.10 EU-weiter HFKW-Phase-Out (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Mit der Novelle der EU-F-Gas-Verordnung 517/2014 von 2014 wurde eine schrittweise Beschränkung der Mengen von HFKW eingeführt, die EU-weit in Verkehr gebracht werden dürfen, unterfüttert mit spezifischen Verboten von HFKW oberhalb spezifischer GWP-Schwellen

in Neuanlagen bestimmter Anwendungen. Mit der Novelle von 2024 zur Verordnung 2024/573 wurde der Phase-Down verschärft, verlängert und bis 2050 in einen Phase-Out überführt.

Parametrisierung

Für die Modellierung in CARETarget werden die EU-weiten Emissionstrends für HFKW aus den vom Phase-Out betroffenen Anwendungsbereichen – basierend auf Modellierungsarbeiten im Rahmen der Folgenabschätzung zur Revision der EU-F-Gas-Verordnung (*Proportionate Action Scenario (Option 2)* (EC 2022; Gschrey et al. 2022)) – auf Deutschland übertragen.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Der HFKW-Phase-Down/-Phase-Out führt jenseits der Verbote zu einer Verknappung der für Neuanlagen und Nachfüllungen verfügbaren HFKW-Mengen, zu höheren HFKW-Preisen und steigender Attraktivität von Alternativstoffen ohne oder mit niedrigerem GWP und im Endeffekt mit Zeitverzögerung zu geringeren HFKW-Emissionen aus dem Betrieb und der Entsorgung von HFKW-haltigen Geräten und Produkten. Für die Modellierung ist zu beachten, dass beim Ersatz von HFKW in Neuanlagen die emissionsmindernde Wirkung erst mit Verzögerung eintritt, da die vermiedenen HFKW-Emissionen sich durch vermiedene Kältemittelverluste im laufenden Betrieb und bei der Entsorgung zum Ende der technischen Lebensdauer einstellen, die nach Gerätetyp etwa 8 bis 30 Jahre beträgt.

5.2.11 Inverkehrbringungsverbote für SF₆ in elektrischen Schaltanlagen (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Elektrische Schaltanlagen sind der bedeutendste Anwendungsbereich für den Neueinsatz von Schwefelhexafluorid (SF₆), welches mit einem GWP (AR5) von 23.500 zu den stärksten bekannten Treibhausgasen zählt. Relevante frühere Verbote betreffen den Einsatz von SF₆ in neuen Schallschutzgläsern sowie als Schutzgas beim Metallguss. Mit der Revision zur F-Gas-Verordnung 2024/573 wurden auch zeitlich gestufte Verbote zur Verwendung von SF₆ in neuen elektrischen Schaltanlagen eingeführt.

Parametrisierung

Für die Modellierung in CARETarget werden die relevanten Parameter wie Wachstumsraten des Marktes für Schaltanlagen, Lebensdauern der Anlagen, Emissionsraten zum Ende der Lebenszeit sowie Anteile von SF₆ an Neuanlagen aus den Modellierungsarbeiten im Kontext der Revision der EU-F-Gase-Verordnung (Gschrey et al. 2022) übernommen.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Emissionen von SF₆ aus technischen Anwendungen treten überwiegend während der Entsorgung nach Ende der technischen Lebensdauer auf. Die Treibhausgasminderungswirkung der SF₆-Verbote für Neuanlagen tritt deshalb angesichts der langen Lebensdauer der meisten SF₆-enthaltenden Geräte und Produkte überwiegend erst mit jahrzehntelanger Verzögerung auf.

5.2.12 Initiative für die optimierte Entsorgung von SF₆ aus elektrischen Schaltanlagen (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Durch eine verstärkte Sensibilisierung der Branche könnten die SF₆-Verluste bei der Entsorgung von mit SF₆ befüllten Schaltanlagen minimiert werden, die ihr Lebensende erreicht haben.

Parametrisierung

In CARETarget wird angenommen, dass die Emissionsraten der Entsorgung von 5 % im Jahr 2025 auf 1 % im Jahr 2030 sinken und dann konstant bleiben.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Ab Mitte der 2020er Jahre ist mit einer stark steigenden Anzahl von SF₆-befüllten Schaltanlagen zu rechnen, die ihr technisches Lebensende erreichen und entsorgt werden müssen. Ohne zusätzliche Maßnahmen ist deshalb damit zu rechnen, dass die Emissionsraten bei der Entsorgung steigen und etwa 10 % des zu entsorgenden SF₆-Betriebsmittels in die Atmosphäre entweicht. Eine Initiative zur optimierten Entsorgung würde dazu beitragen solche Emissionen zu vermeiden.

5.2.13 Förderprogramm zum Ersatz persistenter Klimagase in der Halbleiter- und Photovoltaikindustrie (R)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Fluorierte Treibhausgase (HFKW, FKW, SF₆ und auch NF₃) werden in der Halbleiter- und Fotovoltaikindustrie v.a. für Ätz- und Reinigungsprozesse genutzt. Durch ein Förderprogramm soll, wo technisch möglich, der Ersatz dieser Gase durch klimafreundlichere Alternativen angereizt werden.

Parametrisierung

Die Emissionen betragen etwa 0,2 Mio. t CO₂-Äq. jährlich. In CARETarget wird angenommen, dass die jährlichen F-Gas-Emissionen bis 2030 um etwa 30 % gesenkt werden können.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch das Förderprogramm soll, wo technisch möglich, der Umstieg auf klimafreundlichere Ätz- und Reinigungsgase angereizt werden, so dass weniger Emissionen an fluorierten Treibhausgasen entstehen.

5.2.14 Weitere Kategorien

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung existieren weitere Quell-Kategorien, die relativ geringe Emissionen aufweisen, und für die keine spezifischen Instrumente zu Verfügung stehen. Für diese Kategorien wird angenommen, dass die Emissionen konstant bleiben, oder dass sie durch den Einfluss anderer Instrumente reduziert werden, etwa durch die Förderung von Elektromotoren im Verkehrssektor.

Parametrisierung

In diesen Kategorien werden in CARETarget keine Instrumente umgesetzt. Tabelle 17 gibt einen Überblick über die Annahmen zur weiteren Entwicklung der Emissionen.

Tabelle 17: Weitere Kategorien im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung

Kategorie	Parametrisierung der Emissionsentwicklung	Begründung
2.C.5 Bleiproduktion	Konstante Fortschreibung	Geringe Emissionen (0,1 Mt CO ₂)
2.D.1 Schmiermittel	Proportional zur Entwicklung der Flüssigkraftstoffe im inländischen Verkehr	Der Einsatz von Schmiermitteln reduziert sich mit dem Umstieg von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren.

Kategorie	Parametrisierung der Emissionsentwicklung	Begründung
2.D.3.d.1 AdBlue (Harnstoffnutzung in SCR-Katalysatoren in Dieselfahrzeugen)	Fortschreibung des Trends bis 2025, anschließend proportional zur Entwicklung des Dieselverbrauchs im inländischen Verkehr	Der Einsatz von AdBlue reduziert sich mit dem Umstieg von Dieselmotoren auf Elektromotoren.
2.G.3 N ₂ O aus medizinischen Anwendungen	Konstante Fortschreibung	Geringe Emissionen (0,3 Mt CO ₂ -Äq.), keine Alternativen absehbar.
2.G.4 Methan aus Holzkohlenutzung	Konstante Fortschreibung	Geringe Emissionen (0,03 Mt CO ₂ -Äq.)

Quelle: Annahmen Öko-Institut

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

In diesen Kategorien werden in CARETarget keine Instrumente umgesetzt.

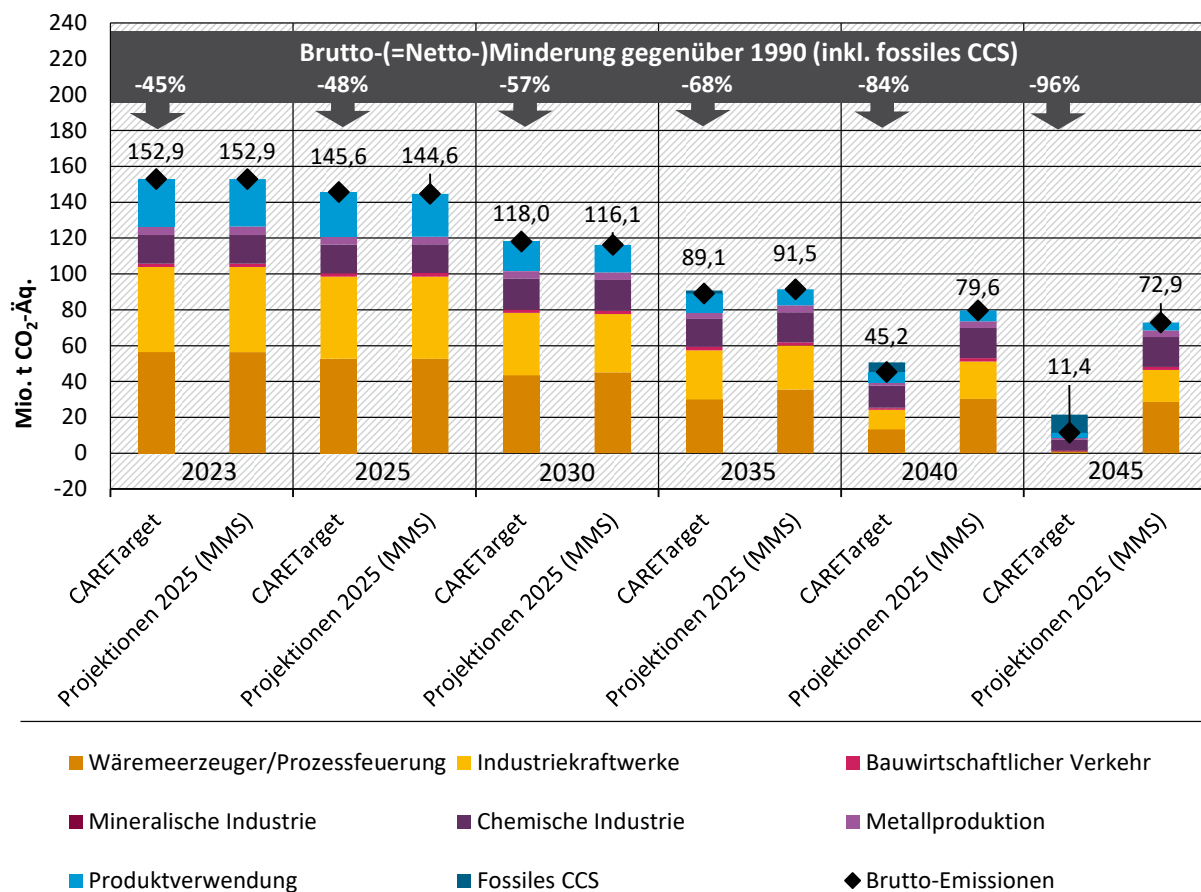
5.3 Zentrale Ergebnisse

In CARETarget folgen die Treibhausgasemissionen einem als Szenarioannahme vom Umweltbundesamt vorgegebenem Zielpfad. Bis 2030 sinken sie gegenüber 1990 um 57 %, bis 2035 um 68 %, bis 2040 um 84 % und bis 2045 um 97 % (jeweils Brutto-Minderung³³, siehe Abbildung 27, Abbildung 28 und Tabelle 18). **Bis zum Jahr 2045 gelingt die vollständige Energiewende in der Industrie und es verbleibt die Erzeugung prozessbedingter Treibhausgase in Höhe von knapp 20 Mio. t CO₂-Äq., von denen etwa die Hälfte abgeschieden und gespeichert wird.**

Energiebedingte Treibhausgasemissionen durch Nutzung in Wärmeerzeugung und Prozessfeuerung sowie in Industriekraftwerken sinken auf unter 1 Mio. t CO₂-Äq.³⁴. Dadurch entsteht eine nach 2035 weitgehend lineare Minderung – die aber im Vergleich zu 2020-2030 deutlich steiler verläuft und damit erhöhte Anstrengungen signalisiert. Dies ist anhand der eingesetzten Instrumente erwartbar (vergleiche Abschnitt 4.2).

³³ Im Sektor Industrie kommt es zu keinen Negativemissionen, da BECCS Teil des separaten Sektors „Technische Senken nach §3b KSG“ ist. Deshalb sind die Brutto-Emissionen identisch mit den Netto-Emissionen (siehe Energiewirtschaft).

³⁴ Der verbleibende Rest fossiler Energienutzung ist modellbedingt und kann als nicht vorhanden interpretiert werden.

Abbildung 27: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Anmerkung: Im Sektor Industrie kommt es zu keinen Negativemissionen, da BECCS Teil des separaten Sektors „Technische Senken nach §3b KSG“ ist. Deshalb sind die Brutto-Emissionen identisch mit den Netto-Emissionen.

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Tabelle 18: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie, CARETarget, in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Erzeugte Treibhausgase (exkl. CCS, BECCS)						
Wärmerezeuger und Prozessfeuerungen	56,5	52,6	43,5	30,3	14,3	1,3
Industriekraftwerke	47,3	45,9	34,9	27,7	11,4	0,2
Bauwirtschaftlicher Verkehr	2,0	1,9	1,9	1,8	0,8	0,0
CO ₂ -Transport und -Speicherung	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,7
Prozesse: Mineralische Industrie	16,0	15,9	17,1	16,6	16,4	15,6
Prozesse: Chemische Industrie	4,8	4,3	4,2	3,4	1,6	1,0
Prozesse: Metallproduktion	15,1	15,1	10,9	7,1	3,1	0,3

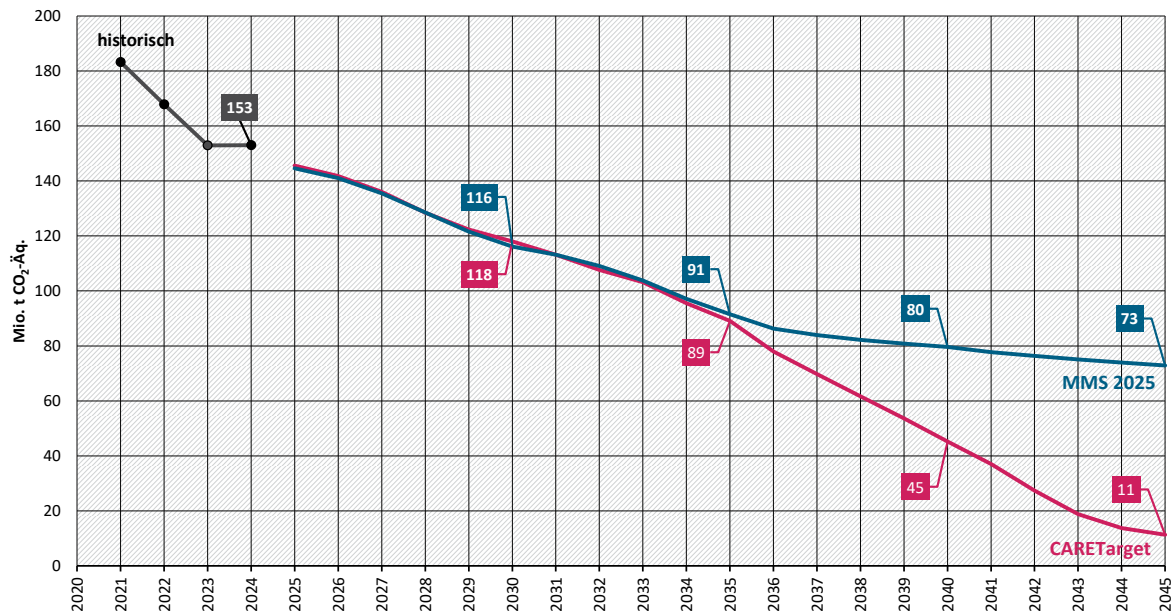
Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln	1,8	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0
Prozesse: Elektronik-Industrie	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Produktverwendung als ODS-Ersatzstoff	7,3	5,9	2,8	1,4	0,7	0,5
Sonstige Produktherstellung und -verwendung	1,9	1,8	0,9	0,7	0,7	0,7
Prozesse: Andere Bereiche	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gesamt (= erzeugte Emissionen)	152,9	145,6	118,0	90,7	50,7	21,5
<i>Minderung gegenüber 1990</i>	<i>-44,9 %</i>	<i>-47,6 %</i>	<i>-57,5 %</i>	<i>-67,3 %</i>	<i>-81,7 %</i>	<i>-92,3 %</i>
Fossiles CCS						
Fossiles CCS aus Industrieprozessen	0,0	0,0	0,0	(-)1,1	(-)4,0	(-)9,5
Fossiles CCS aus Brennstoffen	0,0	0,0	0,0	(-)0,6	(-)1,4	(-)0,6
Summe fossiles CCS	0,0	0,0	0,0	(-)1,7	(-)5,5	(-)10,2
Brutto-Emissionen (inkl. fossiles CCS) = Netto-Emissionen³⁵	152,9	145,6	118,0	89,1	45,2	11,4
<i>Brutto-Minderung / Netto-Minderung gegenüber 1990</i>	<i>-44,9 %</i>	<i>-47,6 %</i>	<i>-57,5 %</i>	<i>-67,9 %</i>	<i>-83,7 %</i>	<i>-95,9 %</i>
Technische Negativemissionen gemäß § 3b (in der Industrie)						
BECCS in der Industrie	0,0	0,0	0,0	-0,5	-2,0	-1,8

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellierung: Öko-Institut, Fraunhofer ISI

In Tabelle 18 ist zu sehen, dass BECCS in der Industrie bis 2040 ansteigt und anschließend leicht zurückgeht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Zeitraum von 2035 bis 2043 auch BECCS durch die Verbrennung von biogenem Abfall in Industriekraftwerken durchgeführt wird. Im Jahr 2044 endet der Betrieb der Industriekraftwerke, und im Jahr 2045 geschieht BECCS nur noch in Wärmeerzeugern und Prozessfeuerungen der Industrie.

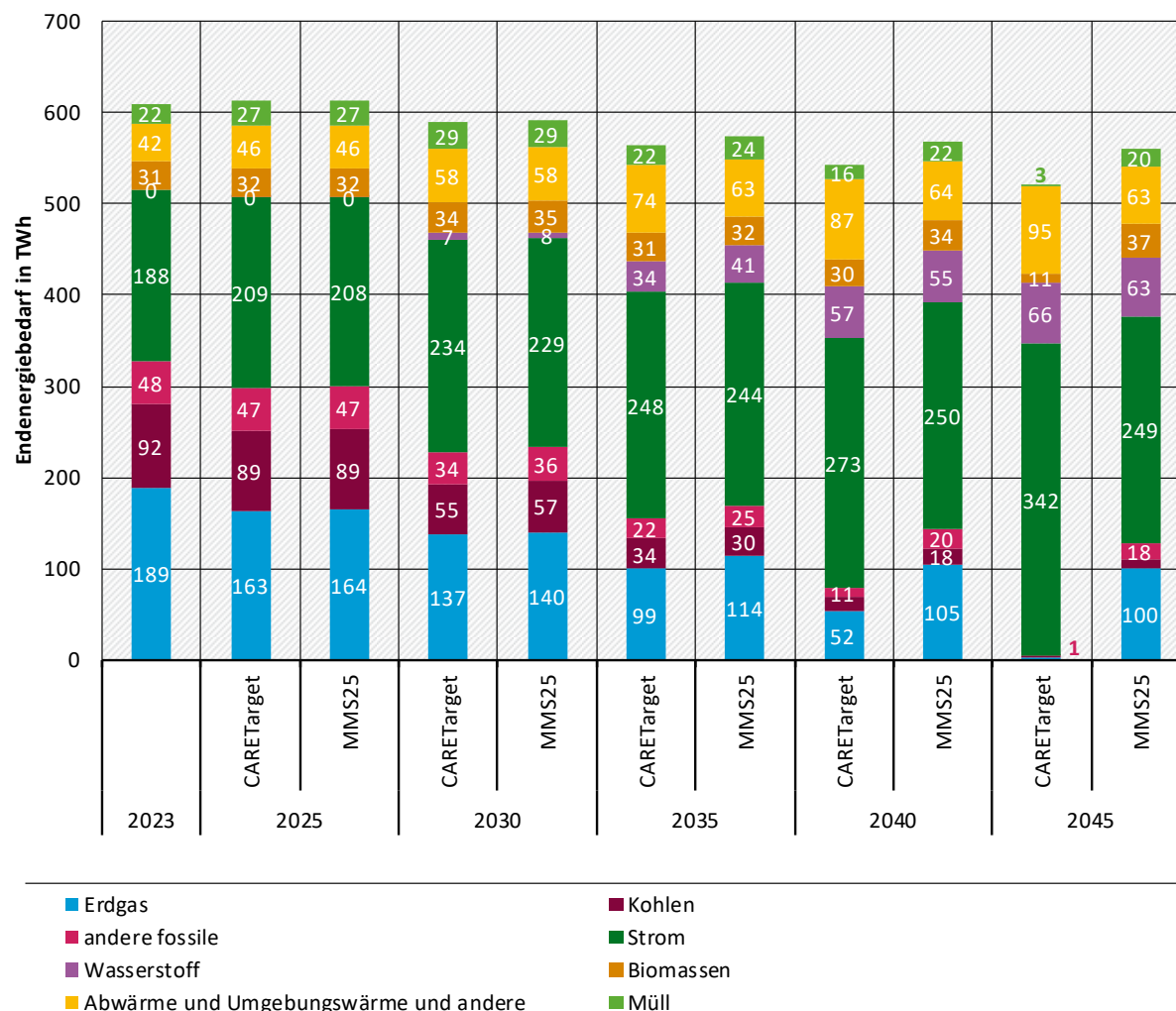
³⁵ Im Sektor Industrie kommt es zu keinen Negativemissionen, da BECCS Teil des separaten Sektors „Technische Senken nach §3b KSG“ ist. Deshalb sind die Brutto-Emissionen identisch mit den Netto-Emissionen (siehe Energiewirtschaft).

Abbildung 28: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (2025-2045)



Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

In CARETarget sinkt der Endenergiebedarf zwischen 2023 und 2045 um etwa 15 %, (2023: 610 TWh, 2045: 522 TWh, Abbildung 29). Fossile Energieträger (inklusive nicht-biogene Müllfraktionen) sind nicht mehr relevant (-98,5 %, 4 TWh). Der Großteil des Endenergiebedarfs wird direktelektrisch bereitgestellt (342 TWh, +80 %), ergänzt durch Wasserstoff (66 TWh), geringe Mengen Biomasse (11 TWh, - 64 %) und Fern-, Ab-, und Umgebungswärme (95 TWh, + 128 %).

Abbildung 29: Endenergiebedarf Industrie, CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

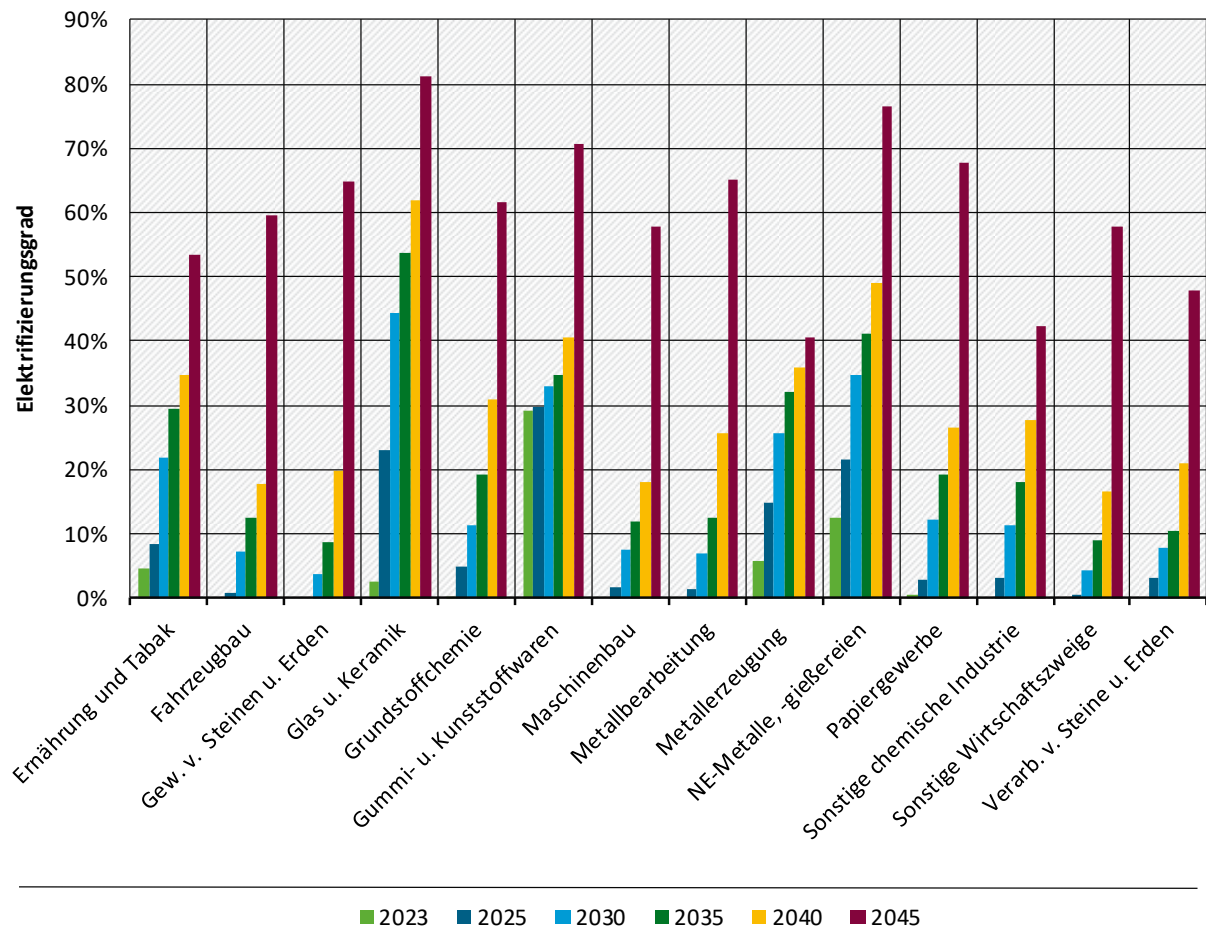
Quelle: eigene Berechnungen, Fraunhofer ISI

Der direkte Elektrifizierungsgrad von Prozesswärmeanwendungen in CARETarget steigt bis 2040 subsektoral je Verfügbarkeit technischer Lösungen unterschiedlich stark an, beschleunigt sich zum Zieljahr 2045 aber in allen Branchen noch einmal deutlich (Abbildung 30, Abbildung 31). Dieser zum Teil starke Anstieg entsteht durch den zwischen 2040 und 2045 notwendigen schnellen Austausch verbleibender fossiler Anlagen – eine stärkere Streckung könnte Belastungsspitzen bei Herstellung und Installation dieser Anlagen reduzieren³⁶. Mit Ausnahme der Metallerzeugung (40 %), in der über die Wasserstoffnutzung in der Direktreduktion 2045 eine hohe indirekte Elektrifizierung vorliegt, sonstiger chemischer Industrie (42 %) und der Verarbeitung von Steinen und Erden (mit relevantem Biomasseinsatz und etwas Wasserstoff, 48 %) erreichen alle Branchen direkte Elektrifizierungsraten von mindestens 50 %. Im Mittel

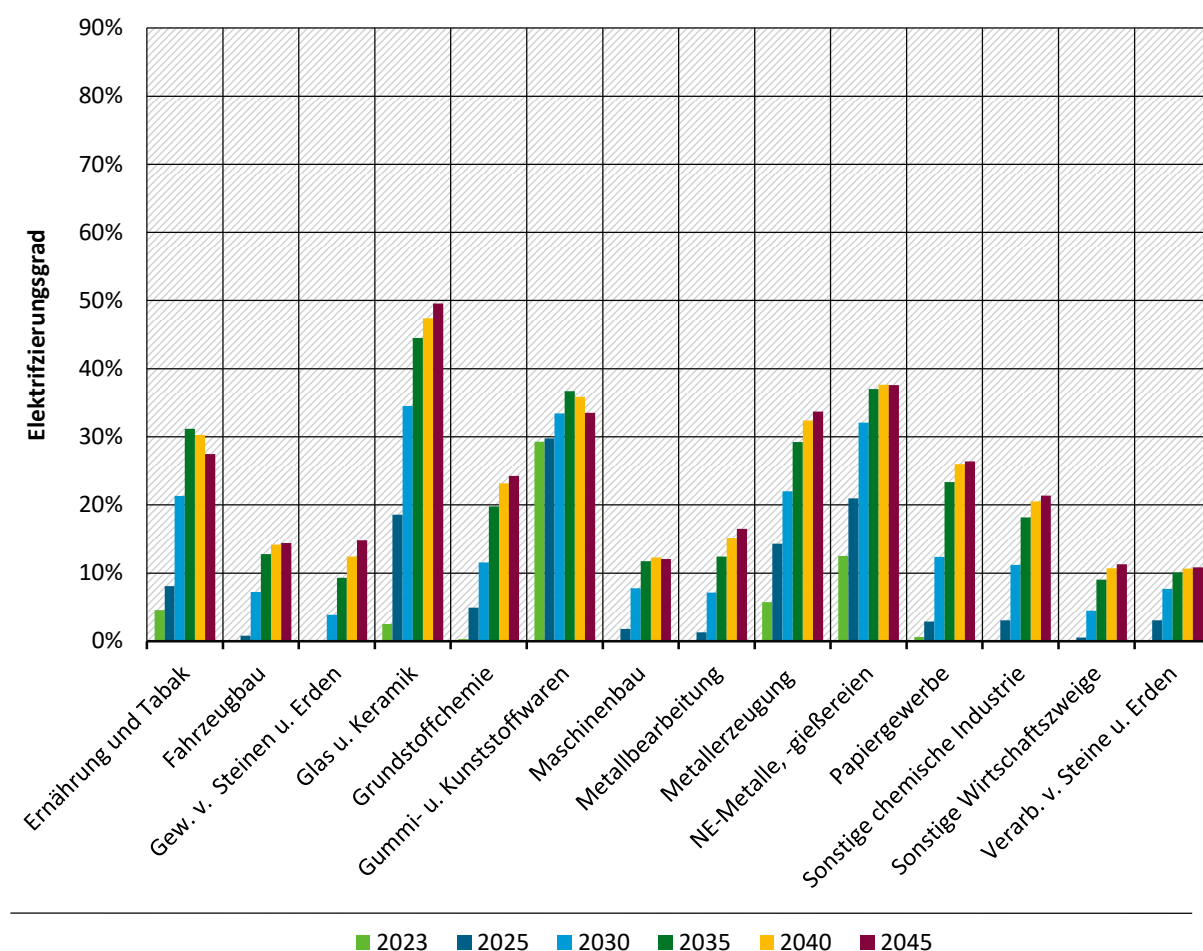
³⁶ Und die insgesamt erzeugten Treibhausgasemissionen senken. Einige Argumente sprechen für einen – so mit Treibhausgasemissionsminderungszielen verträglich – möglichst späten Austausch. So können verlorene Investitionen abgemildert werden und Erfahrungen und Technologieentwicklungen elektrifizierter Anlagen in den großflächigen Einsatz besser integriert werden. Für die Auslegung von Infrastrukturen wiederum sind die sich ergebenden starken Gradienten ungünstig. Potenzielle Vor- und Nachteile der Anlagenmodernisierung in Bezug auf die Wettbewerbsfähigkeit der Branchen werden ebenso verzögert. Zu den Vorteilen können höhere Effizienz und Regelbarkeit, höhere Zuverlässigkeit und Sicherheit und die Produkteigenschaft CO₂-armer Herstellung gehören. Nachteilig können sich die Nutzung hochwertigerer Energieträger, Bedarf an Infrastrukturausbau am Standort, Qualifizierungsbedarf und Investitionsrisiken auswirken.

stellt die direkte Stromnutzung in 2045 54 % der Prozesswärme bereit (außerhalb der gesondert genannten Branchen mit geringerer Stromnutzung 64 %).

Abbildung 30: Direkter Elektrifizierungsgrad der Prozesswärme nach Subsektor, CARETarget, 2023-2045



Quelle: Eigene Berechnungen, Fraunhofer ISI

Abbildung 31: Direkter Elektrifizierungsgrad der Prozesswärme nach Subsektor, Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: Eigene Berechnungen, Fraunhofer ISI

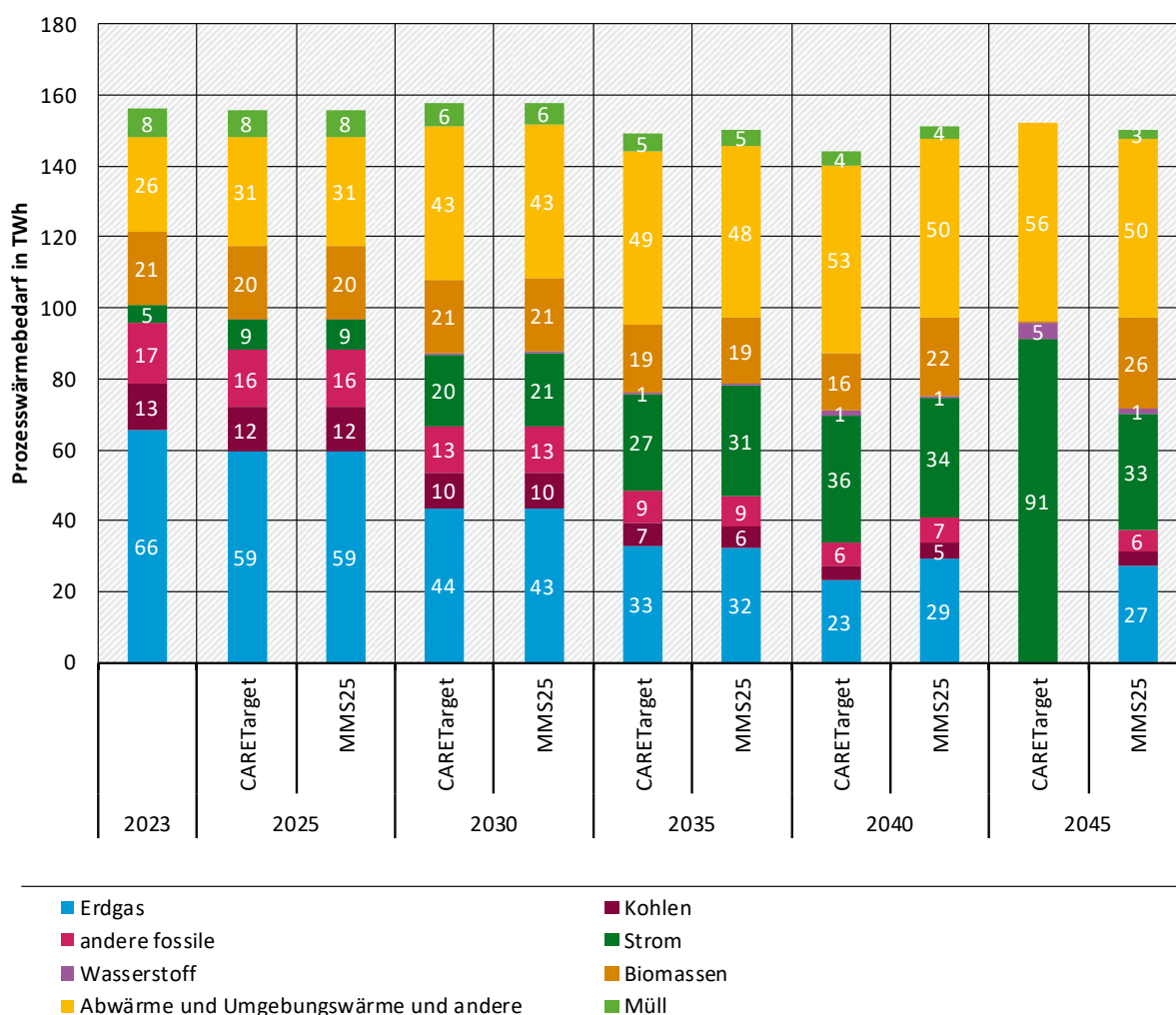
Der Prozesswärmebedarf im Dampfbereich sinkt zwischen 2023 und 2045 leicht (Abbildung 32, -4 TWh, -2,5 %). Der elektrische Anteil nimmt bis 2040 kontinuierlich (+36 TWh, + 700 %), bis 2045 dann mit dem Ersatz der letzten fossilen und der mit Biomasse betriebenen Anlagen deutlich (+86 TWh, +1850 %) zu. Dieser starke Anstieg der Endenergienutzung ist nicht notwendig mit einem entsprechenden (und sehr kurzfristigen) Anlagenaustausch verbunden. Stattdessen beschreibt die Zunahme bis 2040 einen Ausbaupfad, der zunächst auf hybride Anlagen und elektrischen Teillastbetrieb setzt – in denen jedenfalls konstruktiv die Möglichkeit einer Vollelektrifizierung (z.B. Netzanschluss, Infrastruktur vor Ort, Kapazität der Anlage) bereits angelegt sein muss. Bis 2045 müssen dann die wirtschaftlichen Voraussetzungen geschaffen sein, um von zunächst geringen Volllaststunden (z.B. 2.000 Stunden mit geringen Strompreisen im Jahr 2030) auf dauerhaften elektrischen Betrieb umzuschalten³⁷. Der Zuwachs 2040 zu 2045 findet vor allem im Bereich der besonders flexibel betreibbaren Dampfkessel statt – Wärmepumpen weisen bereits 2040 höhere Auslastungen auf.

Der Prozesswärmebedarf in Industrieöfen (Abbildung 33) sinkt zwischen 2023 und 2045 deutlich (-49 TWh, -24 %). Dies ist vor allem auf eine strukturelle Verschiebung von Energiebedarf in der Grundstoffchemie (von Industrieöfen zu Rohstoffbedarf) zurückzuführen

³⁷ Diese Bedingungen umfassen Regulierungen der Netzentgelte, die je nach Standort sehr heterogen wirken können.

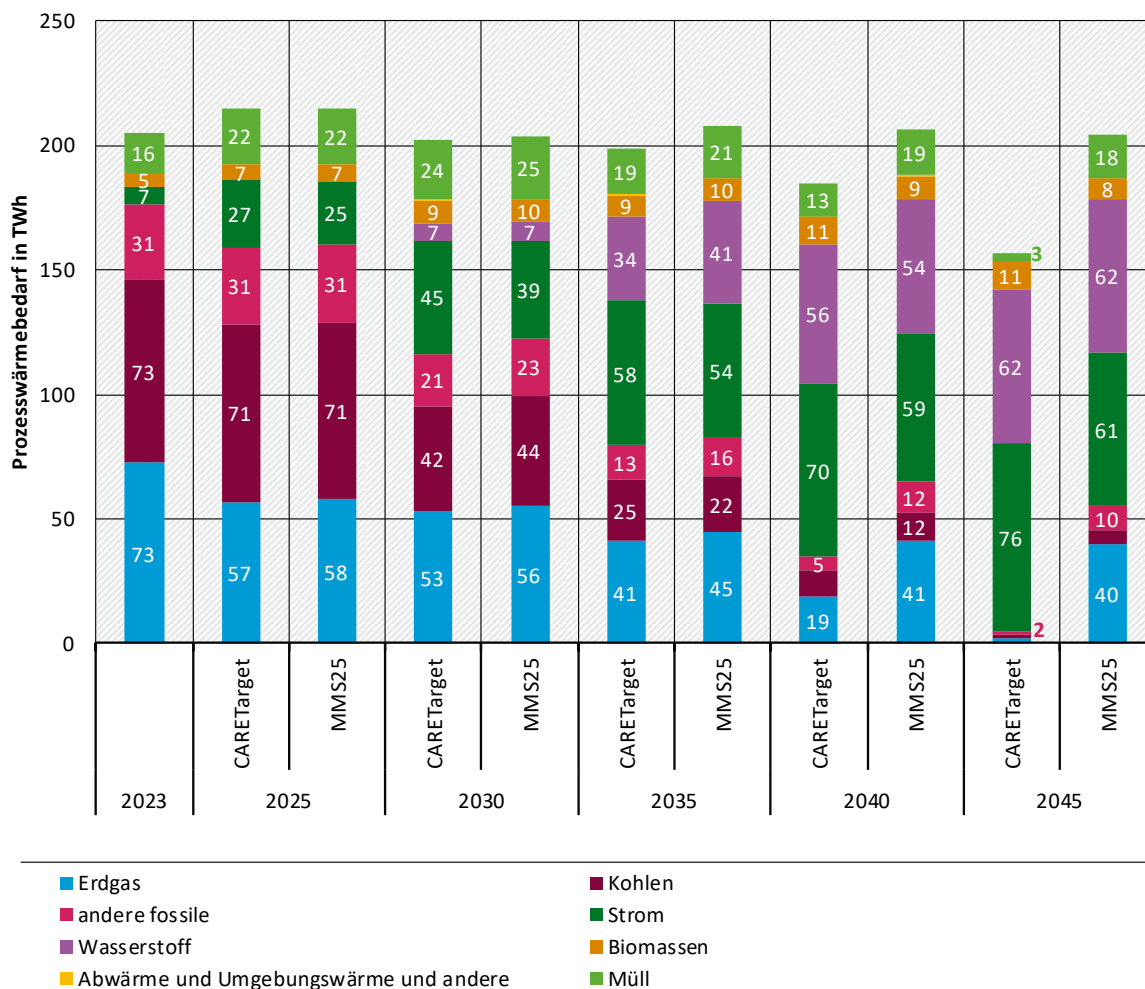
(33 TWh)³⁸. Das Aktivitätsniveau der Branche ist dabei nicht beeinträchtigt. Im Jahr 2045 wird der Energiebedarf in Industrieöfen durch direkte (76 TWh, +1050 %) und indirekte (62 TWh) Elektrifizierung bestimmt. Geringe Mengen Biomasse (11 TWh) und Müll (3 TWh) werden in wenigen Anlagen in verschiedenen Branchen, konzentriert in der Verarbeitung von Steinen und Erden (etwa 60 % der Gesamtmenge) verwendet. Verbleibende fossile Reste sind modellmethodisch bedingt, sie sind inhaltlich/technisch nicht notwendig.

Abbildung 32: Prozesswärmebedarf Industrie, Dampf, CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Quelle: eigene Berechnungen, Fraunhofer ISI

³⁸ Durch die Umstellung auf wasserstoffbasierte Chemie wird Energiebedarf in der Wertschöpfungskette (von Dampfspaltöfen zu Wasserstoffproduktion) vorverlagert.

Abbildung 33: Prozesswärmebedarf Industrie, Industrieöfen, CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: eigene Berechnungen, Fraunhofer ISI

6 Gebäude

6.1 Narrativ

Für die Erfüllung der Klimaschutzziele und der dafür erforderlichen Begrenzung von kumulierten Jahresemissionsmengen stellt das Szenario CARETarget im Vergleich zum bisherigen Fortschritt im Sektor ein ambitioniertes Zielszenario für den Gebäudebereich dar. Die Ambition liegt vor allem daran begründet, dass das fortgeschriebene Sektorziel für das Jahr 2030 im Bundes-Klimaschutzgesetz 2021 eingehalten wird. Das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) in den Treibhausgas-Projektionen 2025 verfehlt dieses Ziel. CARETarget beschreibt nun, mit welchen Instrumenten der Gebäudesektor zurück auf seinen Zielpfad geführt werden kann. In dem Szenario werden große Anstrengungen zur Emissionsreduktion unternommen bis 2030. Im Zeitraum 2030 bis 2045 tragen diese den Gebäudesektor bis zur Klimaneutralität.³⁹ Ziel in CARETarget ist es, vornehmlich, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, die sektorübergreifenden Gesamtmininderungen in den Zieljahren zu erreichen. In den Sektoren dienen sektorale Jahresemissionsmengen vom Auftraggeber als Orientierungsrahmen für die Modellierung.

Zum Heizungstausch: Wie in der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes 2024 vorgesehen, werden ab Mitte 2028 keine neuen fossilen Heizsysteme mehr installiert. Aber auch bereits zuvor handeln im Szenario viele Eigentümerinnen und Eigentümer mit ökonomischer Voraussicht. Eine veränderte Energiepreisstruktur führt dazu, dass bereits ab 2025 vor allem erneuerbare Wärmeerzeuger verbaut werden.

Dort, wo Fernwärme vorhanden ist oder ausgebaut wird, schließen sich Gebäudeeigentümer*innen an. In allen anderen Fällen stellt die Wärmepumpe die Leittechnologie dar. Der Einsatz dezentraler Biomasse-Heizungen geht zurück und konzentriert sich künftig auf ländliche Regionen mit hohem Potenzial und historischer Nutzungstradition. Insgesamt dient Biomasse als „Joker-Lösung“ für Gebäude, in denen Fernwärme oder Wärmepumpen schwer realisierbar sind, sowie aus Komfortgründen bei der Nutzung von Kaminen. Grüne Gase spielen in CARETarget im Jahr 2045 keine Rolle, da die Gas-Verteilnetz-Infrastruktur zum Großteil stillgelegt wird.

Zur Gebäudeeffizienz: Der „worst-first“-Ansatz kommt für Wohngebäude und Nichtwohngebäude zu Anwendung und es werden vorrangig die Gebäude mit dem höchsten Einsparpotenzial saniert. Für alle anderen Gebäude erfolgt die energetische Sanierung im Einklang mit den Reinvestitionszyklen der Bauteile. Effizienzmaßnahmen stellen dabei sicher, dass die Gebäude Niedertemperatur-fähig sind und damit für den Betrieb mit Wärmepumpen geeignet.

Zur Bezahlbarkeit: Der Policy-Mix wird durch zusätzliche Instrumente ergänzt, die auf einen sozialen Ausgleich abzielen und einer finanziellen Überforderung einkommensschwacher Haushalte entgegenwirken. Durch zielgruppenspezifische Angebote wird der Service-Aspekt der Wärmewende gestärkt.

Zu Haushaltsgeräten und GHD-Prozessen: In beiden Sektoren sieht das Szenario CARETarget – im Gegensatz zu CARESupreme – keine tiefgreifenden Lebensstil- oder Suffizienzänderungen vor und entspricht damit dem technologiegetriebenen Pfad von CARETech (Harthan et al. 2025). Allerdings werden die Mindesteffizienzanforderungen des EU-Ökodesigns deutlich verschärft.

³⁹ Der Sektor Gebäude umfasst im Bundes-Klimaschutzgesetz ausschließlich die direkten Treibhausgasemissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in Haushalten und Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD). Im Sektor werden deshalb die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser sowie Geräte und Prozesse bilanziert.

Dadurch verlagern sich Emissionsminderungen in typischen GHD-Anwendungen früher als in CARETech weg von fossilen Brennstoffen hin zu Elektrifizierung bzw. zum Einsatz biogener Brennstoffe, etwa bei Bäckereiofen, Großküchen, Wäschereien oder Flurförderzeugen. Diese ordnungsrechtlichen Vorgaben werden durch höhere Gaspreise flankiert.

6.2 Maßnahmen und Instrumente

Im Folgenden wird die Ausgestaltung und Parametrisierung der Instrumente in CARETarget beschrieben. Der Policy-Mix von CARETarget im Gebäudesektor setzt auf dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) in den Treibhausgas-Projektionen 2025 auf. Die zentralen Instrumente weichen jedoch in den meisten Fällen in ihrer Parametrisierung davon ab und werden daher im Folgenden vorgestellt, um ein komplettes Bild zu vermitteln. Damit die Instrumente die berechnete Wirkung entfalten, muss sichergestellt werden, dass sowohl die hier aufgenommene Parametrisierung gemäß MMS als auch mögliche Nachschärfungen politisch implementiert werden.

Zusätzlich zu den aufgeführten, zentralen Instrumenten beinhaltet das Instrumentenpapier im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2024) noch diese weiteren Instrumente, die in CARETarget inbegriffen sind ohne explizite Abschätzung ihrer Wirkung: Neubauförderung, steuerliche Förderung, Qualifikationsoffensive Wärmepumpe, Modernisierungsumlage, Energieberatung, Energieausweise und Smart-Meter-Roll-Out.

Die Instrumente sind in etwa nach ihrer Wirkmacht geordnet – ohne, dass eine konkrete Wirkungsabschätzung erfolgt ist.

6.2.1 Raumwärme und Warmwasser

6.2.1.1 Gebäudeenergiegesetz inkl. 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) fasst die Vorgaben zur Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden zusammen. Das beinhaltet zum einen Mindesteffizienzvorgaben für Neubau und Sanierung.

Zum anderen gilt seit der Novelle zum 1.1.2024 die Pflicht, dass neu eingebaute Heizungen zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden müssen (§71 auch „Heizungsgesetz“ genannt). Diese Regelung ist zentral für die Zielerreichung in CARETarget. Zwischen 2024 und spätestens Mitte 2028 eingebaute fossile Kessel ab 2029 zu einem steigenden Anteil mit erneuerbarem Brennstoff betrieben werden müssen (§71 Abs. 9). Ab 1.1.2045 darf kein fossiler Brennstoff mehr zum Heizen verwendet werden (§72).

Die Ausgestaltung des GEG in CARETarget entspricht dem verabschiedeten Gesetz und damit dem MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 – mit der Ausnahme, dass in CARETarget bereits eine Verschärfung des Neubaustandards gemäß MWMS implementiert ist.

Parametrisierung

Es wird angenommen, dass Gebäudeeigentümer*innen zukünftige Kosten durch CO₂-Preise, Grünas-Quoten für fossile Kessel sowie den lokalen Gas-Ausstieg in ihren Investitionsentscheidungen berücksichtigen.

Aufgrund ökonomischer, sicherheitstechnischer und organisatorischer Herausforderungen erfolgt in CARETarget keine Ausweisung von Netzausbaubereichen für die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger zur dezentralen Wärmeerzeugung in Gebäuden.

Die Vorgabe, bis 2045 ohne fossile Brennstoffe zu heizen, wird in CARETarget mit einem Vollzug versehen, der zu einem Anstieg der Heizungstausche ab 2040 führt.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Grüngas-Quote ist zunächst ein Treiber für den Einsatz von Biomethan. Durch die Regelungen zum Ausstieg aus dem Gasverteilnetz sinkt der Einsatz grüner Gase in CARETarget bis 2045 aber wieder.

MEPS schaffen zusätzliche Anlässe für den Einbau erneuerbarer Wärmeerzeuger und verdichten somit die Lenkungswirkung des GEG.

Rechtstechnisch ergibt es Sinn, die weiter unten aufgeführten Regelungen zur Heizungsoptimierung ebenfalls im GEG umzusetzen.

6.2.1.2 Mindesteffizienzstandards (MEPS)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Minimum Energy Performance Standards (MEPS) schreiben vor, dass bis zu einem definierten Jahr die Gebäude mit dem höchsten Primärenergieverbrauch diesen senken müssen. Dazu können Eigentümer*innen entweder eine erneuerbare Heizung einbauen oder die Effizienz ihres Gebäudes verbessern. In der Regel sind keine Vollsanierungen notwendig, sondern einzelne Bauteile zu sanieren, genügt. Das Instrument schafft Sanierungsanlässe bei den Gebäuden mit dem höchsten Potenzial für Emissionseinsparungen, bei denen energetische Sanierungen zugleich am wirtschaftlichsten sind.

Parametrisierung

Für Nichtwohngebäude entspricht die Ausgestaltung der gültigen EU-Gebäuderichtlinie und dem MWMS 2025: Sanierung der „worst 16 %“ bis 2030 und der „worst 26 %“ bis 2033.

Für Wohngebäude werden MEPS zusätzlich eingeführt für die „worst 15 %“ bis 2030.

Die MEPS-Anforderungen werden in der Modellierung kostenoptimiert erfüllt, indem Eigentümer*innen Bauteile schrittweise sanieren, beginnend mit dem günstigsten (Bei der Wieden et al. 2023, S. 46f.).

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Eine Sanierungsverpflichtung stellt viele Gebäudeeigentümer*innen vor große Herausforderungen. Daher bedarf es zielgerichteter und ausreichender Förderung in der BEG. In CARETarget werden viele der „worst performing buildings“ tiefergehender saniert als bloß bis zur Mindesteffizienz, da die „Sowieso-Kosten“ ohnehin anfallen. Dies wird durch die Förderung und den gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplan angestoßen.

Das zukünftige Stromsystem profitiert davon, dass es weniger schlecht gedämmte Gebäude mit ineffizienten Wärmepumpen und dadurch hohen Anschlussleistungen gibt.

Der Fokus auf die „worst performing buildings“ trägt dazu bei, dass die begrenzten Kapazitäten an Fachkräften volkswirtschaftlich effizient an den richtigen Gebäuden ihre Wirkung entfalten.

6.2.1.3 Reform der Steuern, Abgaben, Umlagen bei den Energiepreisen

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Für das Gelingen der Wärmewende ist es essenziell, dass Wärmepumpen kosteneffizient gegenüber dem Heizen mit Gas sind. Aus Sicht der Betriebskosten wird in CARETarget sichergestellt, dass Wärmepumpen-Strom maximal 2,5-mal so teuer ist wie Erdgas. Dieser Wert entspricht der Jahresarbeitszahl, d.h. Effizienz, einer ineffizienten Wärmepumpe.

Zum einen werden dazu die Strompreise gesenkt: Die Stromsteuer wird auf das EU-Minimum gesenkt. Die Mehrwertsteuer für Wärmepumpen-Strom wird auf 7 % reduziert. Weitere Hebel werden in Klinski et al. (2025) diskutiert. Der flexible, Stromnetz-dienliche Einsatz von Wärmepumpen wird zusätzlich honoriert.

Zum anderen wird der Gaspreis erhöht: Kernelement ist ein steigender CO₂-Preis. Damit dieser verlässlich ist, führt Deutschland einen nationalen Mindestpreis im EU-Emissionshandel 2 für Gebäude und Verkehr ein gemäß des Preispfades in den Rahmendaten. Aber auch Gasnetzentgelte werden vor 2030 weiter angehoben, um Preissprünge in den 2040ern zu vermeiden, wenn immer weniger Kund*innen eine immer weniger nachgefragte Infrastruktur bezahlen. Neben degressiver Abschreibung wird auch ein Anspar-Fonds eingeführt (siehe auch Kreipl et al. (2024) und Bei der Wieden (2025)). Energieversorgungsunternehmen erhöhen v.a. die Gaspreise im Zuge der Einführung eines Energieverpflichtungssystems, um damit Effizienzmaßnahmen und Heizungstausche bei einkommensschwachen Haushalten zu bezahlen.

Der Anteil an den CO₂-Kosten, die Vermietende gemäß des CO₂-Kostenaufteilungsgesetzes bezahlen, wird angehoben, um die Lenkungswirkung des CO₂-Preises hin zu Heizungstausch bzw. energetischen Sanierungen in vermieteten Gebäuden zu verstärken.

Biomasse wird in die CO₂-Bepreisung mit aufgenommen, um die Emissionen zu berücksichtigen, die bei ihrer Verbrennung frei werden und als Instrument der Mengensteuerung angesichts des begrenzten Potenzials an nachhaltiger Biomasse.

Parametrisierung

Die Wirkung der Energiepreise wird nicht explizit abgeschätzt, sondern trägt dazu bei, dass der Vollzug der 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe gelingt und das Szenario CARETarget mit seinem ambitionierten Treibhausgaspfad – vor allem bis 2030 – insgesamt begründbar bleibt.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch das veränderte Energiepreis-Regime wird das Ordnungsrecht der 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe auch ökonomisch sinnvoll. Ein gesteigerter Anreiz bezüglich der Betriebskosten senkt den Druck auf die Anreizwirkung der Investitionskosten-Förderung der BEG.

6.2.1.4 Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Die Investitionsförderung für erneuerbare Heizungen und Effizienzmaßnahmen ist ein wesentlicher Kern des Policy-Mix. Es sind jederzeit genügend Fördermittel vorhanden, damit keine Förderstopps auftreten, die das Vertrauen in die Wärmewende ausbremsen. Das Verhältnis zwischen Fordern und Fördern wird so geregelt, dass es zukünftig prinzipiell zulässig ist, auch Sanierungsmaßnahmen zu fördern, die ordnungsrechtlich vorgeschrieben sind.

Die BEG wird zielgerichteter und sozialer. Für selbstnutzende Eigentümer*innen wird die einkommensabhängige Förderung beim Heizungstausch weiter ausgebaut und auch auf Effizienzmaßnahmen ausgeweitet. Social Leasing für Wärmepumpen wird Teil der BEG und stärkt die Rolle von Contractoren. Die meisten einkommensschwachen Haushalte leben zur Miete und können daher nicht direkt durch Investitionsförderung unterstützt werden, die zunächst durch die Hände der Vermietenden geht. Für gezielte Förderung von einkommensschwachen Mietenden und Schaffung von langfristig bezahlbarem sowie erneuerbar und effizient beheiztem Wohnraum eignen sich folgende drei Ansätze: ein Förderprogramm mit Mietpreisobergrenze, analog zur Städtebauförderung höhere Förderung für Quartiere mit einkommensschwachen Haushalten und eine Stärkung der Länderprogramme

zum Sozialen Wohnungsbau mit Fokus auf Sanierungen („Klimamilliarde“) (Braungardt et al. 2024).

Es werden diejenigen Gebäude mit dem höchsten Einsparpotenzial an Emissionen und Endenergie verstärkt gefördert.

Parametrisierung

Es erfolgt keine explizite Modellierung der sozialeren Ausgestaltung der BEG. Insgesamt trägt die BEG dazu bei, dass die Modellierung zukünftiger Heizungstausche und energetischer Sanierungen gesellschaftlich akzeptabel ist.

Um sicherzustellen, dass die zukünftige Nachfrage nach Biomasse mit dem vorhandenen Potenzial an nachhaltiger Biomasse Hand in Hand gehen, wird die Förderung für Biomasseheizungen abgesenkt und ab 2026 eingestellt.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

In einem Policy-Mix 2025+ vollzieht die Investitionsförderung in der BEG einen Rollenwechsel. In der Vergangenheit war ihre Aufgabe, durch ökonomische Attraktivität Sanierungsanlässe zu schaffen. Diese Funktion übernimmt in CARETarget ein starkes Ordnungsrecht aus 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe und Mindesteffizienzstandards. Zusammen mit dem Energiepreis-Regime sorgt die BEG nun dafür, dass es auch ökonomisch sinnvoll ist, das Ordnungsrecht umzusetzen.

Je weiter die Wärmewende voranschreitet, umso stärker ist die Rolle der BEG eine soziale: diejenigen zu unterstützen, die ansonsten abgehängt werden (siehe auch Sozialklimarat (2025)).

6.2.1.5 Gas-Ausstieg

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Die kommunale Wärmeplanung wird weiterentwickelt und konkretisiert zu einer Gas-Ausstiegsplanung in Bezug auf das Verteilnetz. In jeder Kommune wird festgelegt, bis zu welchem Datum das Gas-Verteilnetz stillgelegt wird (wie z.B. in Mannheim). Dies maximiert die Planungssicherheit von Gebäudeeigentümer*innen bezüglich ihrer zukünftigen Wärmeversorgung.

Parallel wird der Rechtsrahmen der Gasversorgung angepasst. Anlass ist die nationale Umsetzung der EU-Gas-Richtlinie. Netzbetreiber werden befähigt und angereizt, Teilnetze stillzulegen (siehe dazu auch Kreipl et al. (2024)).

Parametrisierung

Die flächendeckende Stilllegung des Gas-Verteilnetzes führt dazu, dass grüne Gase in CARETarget im Jahr 2045 keine Rolle spielen. Dies führt zu einem Rückgang des Einsatzes von Biomethan im Gebäudesektor, das z.B. für die Industrie frei wird.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Eine Gas-Ausstiegsplanung setzt den Ansatz der kommunalen Wärmeplanung fort. Kommunikation zur konkreten Stilllegung von Teilnetzen geht Hand in Hand mit der 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe im GEG. Die Abwicklungskosten der Gas-Infrastruktur vorausschauend jetzt auf viele Schultern zu verteilen, lenkt das Energiepreis-Regime zudem weiter in Richtung erneuerbare Energien.

6.2.1.6 Energieeffizienzverpflichtungssystem mit „Weißen Zertifikaten“

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Die Grundidee des Instruments ist, professionelle Akteure zu verpflichten, eine bestimmte Menge an Energie-Einsparungen nachzuweisen. Meistens werden Energieversorgungsunternehmen wie z.B. Stadtwerke verpflichtet. Diese führen dann Effizienz-Maßnahmen bei ihren Kund*innen durch wie z.B. effiziente Beleuchtung, einfache Dämmmaßnahmen, Heizungsoptimierung oder Heizungstausch (Wärmepumpen). Für Bürgerinnen und Bürger bedeutet das System keine Verpflichtung. Sie profitieren vielmehr davon, dass ihnen kostenlose oder günstige Angebote für mehr Effizienz gemacht werden. Energieverpflichtungssysteme steigern also die „Service-Orientierung“ eines Politik-Mixes. Außerdem ist es ein marktbasiertes und ökonomisch effizientes Instrument: Die Verpflichteten sind bemüht, die kostengünstigsten Maßnahmen mit der höchsten Einsparung zu realisieren, und erhalten dafür Einspar-Zertifikate. Wenn diese gehandelt werden können, spricht man von einem Weiße-Zertifikate-System. Die Kosten für die Umsetzung der Effizienz-Maßnahmen werden auf alle Kund*innen z.B. eines Gasversorgers umgelegt, die wiederum vom gesunkenen Energieverbrauch profitieren.⁴⁰

Parametrisierung

In CARETarget wird ein Energieeffizienzverpflichtungssystem als Weiße-Zertifikate-System eingeführt. Es werden Energieversorgungsunternehmen zu Einsparungen verpflichtet bei den netzgebundenen Energieträgern Gas, Fernwärme und Strom. Zusätzlich werden Heizöl-Steuerlager ebenfalls zu Einsparungen verpflichtet. Die Verpflichteten können ihre Einsparungen selbst erbringen oder Einspar-Zertifikate erwerben, die gehandelt werden.

Die Einführung dieses Systems trägt vor allem dazu bei, die Einsparpotenziale durch gering-investive Maßnahmen zu heben und verdichtet damit die Effizienz-Komponente im Politik-Mix in CARETarget. Dadurch werden auch in fossil beheizten Gebäuden Emissionseinsparungen erreicht, in denen die Heizung bis 2030 nicht mehr getauscht wird.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Im Zuge des Gas-Ausstiegs müssen Gas-Verteilnetzbetreiber neue Geschäftsmodelle entwickeln. Ein Energieverpflichtungssystem ermöglicht ihnen die Umlage der Kosten von Effizienzmaßnahmen auf alle Kund*innen und damit einen geschützten Rahmen für ihre Transformation. Dadurch verteuert sich v.a. das Gas, was zu einem Energiepreis-Regime mit Fokus auf erneuerbaren Energien beiträgt. Den gleichen Effekt in unterschiedlicher Höhe hat auch die CO₂-Bepreisung (BEHG/ETS2). Die Verpflichteten können auch Wärmepumpen installieren als Einsparmaßnahme, was zusätzliche Angebote generiert für Eigentümer*innen, die sich mit der Erfüllung der 65 %-Erneuerbare-Wärme-Vorgabe konfrontiert sehen.

Ein Energieverpflichtungssystem schafft ein Angebot an Effizienz-Dienstleistungen. Ordnungsrechtliche Vorgaben zur Heizungsoptimierung sind dazu symbiotisch, weil sie eine Nachfrage danach schaffen (siehe nächster Abschnitt).

6.2.1.7 Heizungsoptimierung

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Spätestens in der Gas-Krise wurde deutlich, dass es großes Potenzial gibt für Energieeinsparungen und dass nicht immer die energetische Sanierung der Gebäudehülle dafür notwendig ist. Die Vorgaben für gering-investive Maßnahmen wie regelmäßige

⁴⁰ Siehe dazu auch Art. 9 EED sowie Bei der Wieden et al. (2025b), Schlomann et al. (2021) und Bürger und Wiegmann (2007).

Heizungsinspektionen, Heizungsoptimierung, Absenkung der Vorlauftemperatur, hydraulischer Abgleich oder Austausch der Zirkulationspumpe werden ausgeweitet.⁴¹ Eine Nicht-Einhaltung wird zu einem Mietminderungsgrund erhoben.

Parametrisierung

Die Vorgaben führen zu bei den optimierten Gebäuden zu Endenergieeinsparungen von circa 10 % – abhängig von Gebäude und Maßnahme.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Ordnungsrechtliche Vorgaben schaffen eine Nachfrage nach gering-investiven Maßnahmen. Diese trifft auf ein gestiegenes Angebot der Verpflichteten eines Energieeffizienzverpflichtungssystems.

Durch gering-investive Maßnahmen kann oft bereits die Vorlauftemperatur des Heizungssystems abgesenkt werden. Dies ist der erste Schritt und mindert Hemmnisse beim Einbau einer Wärmepumpe.

6.2.1.8 Gebäudeindividueller Sanierungsfahrplan (iSFP)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Der gebäudeindividuelle Sanierungsfahrplan (iSFP) ist ein wichtiges Beratungsinstrument, dass Gebäudeeigentümern Orientierung darüber gibt, mit welchen Maßnahmen und in welcher Maßnahmen Reihenfolge ein Gebäude nach und nach auf ein zielkompatibles Energieniveau gebracht werden kann. Durch gesetzliche Vorgaben werden die Auslösetatbestände für den iSFP deutlich ausgeweitet.

Parametrisierung

Es werden weitere Anlässe geschaffen für die Ausstellung eines iSFP. Auch Anknüpfungspunkte an die Förderung von Einzelmaßnahmen werden verstärkt. Der Sanierungsfahrplan trägt außerdem dazu bei, dass die Sanierung der Bauteile optimal an ihren natürlichen Reinvestitionszyklus angepasst wird.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Auch wenn die MEPS nur eine Sanierung auf ein mäßig ambitioniertes Schwellwert-Niveau vorschreiben, sorgt der iSFP dafür, dass keine Lock-In-Effekte entstehen und in den Folgejahren entlang des Reinvestitionszyklus der Bauteile freiwillig ein höherer energetischer Standard erreicht wird.

6.2.1.9 Sanierungsvorgaben für öffentliche Gebäude

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Für die Gebäude des Bundes gelten bereits ambitionierte Sanierungsvorgaben („Vorbildfunktion Bundesgebäude“ im MMS). Artikel 6 der EU-Effizienzrichtlinie (EED) schreibt eine jährliche Sanierungsrate von 3 % für alle öffentlichen Gebäude (Bund, Länder, Kommunen) vor (Umsetzung Art. 6 EED im MWMS 2025).

⁴¹ Für weitere gering-investive Maßnahmen siehe Bei der Wieden et al. (2025a). Die Regulierungsvorschläge sind eine Ausweitung der Bestimmungen der ehemaligen EnSimiMaV und §71o GEG-E 2023.

Parametrisierung

In CARETarget werden Nichtwohngebäude insgesamt in ambitionierter Menge und Tiefe saniert, um die Vorgaben zu erfüllen. Eine explizite Unterscheidung zwischen öffentlichen und privaten Nichtwohngebäuden erfolgt in der Modellierung jedoch nicht.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Auch für öffentliche Gebäude gelten MEPS, die Sanierungsanlässe schaffen und auf die Zielvorgabe der Sanierungsrate anrechenbar sind.

6.2.2 Geräte und Prozesse**6.2.2.1 Vorgezogene Ökodesign-Anforderungen für fossil betriebene Geräte im GHD-Sektor****Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung**

Die Maßnahme sieht vor, die EU-Ökodesign-Verordnungen für gewerbliche Prozesswärme-, -kälte- und Antriebstechnik (z. B. Bäckereiöfen, Großküchenaggregate, Wäscherei-Trockner, gasbetriebene Flurförderzeuge) um mehrere Jahre vorzuziehen und in den relevanten Produktgruppen ambitionierte Mindesteffizienzgrenzen sowie Grenzwerte für CO₂-Emissionen pro Funktionseinheit einzuführen. Geräte, die fossile Brennstoffe direkt nutzen, werden in die höchste Effizienzklasse nur aufgenommen, wenn sie auf biogene Brennstoffe umrüstbar sind; reine Fossilgeräte dürfen nach dem Vorziehtermin nicht mehr neu in Verkehr gebracht werden.

Parametrisierung

Zeitliche Vorziehung: Inkrafttreten der aktualisierten Ökodesign-Anforderungen ab 2026 statt 2030 (wie in CARETech, CARESupreme).

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch die vorgezogenen Ökodesign-Anforderungen verlagert sich die Gerätebeschaffung in Richtung elektrischer bzw. biogenfähiger Technologien, sodass bereits im kommenden Investitionszyklus Lock-In-Risiken fossiler Anlagen entfallen.

6.2.2.2 Ausweitung des Stromspar-Checks für Haushalte**Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung**

Der bundesweite Stromspar-Check bietet einkommensschwachen Haushalten eine kostenlose Vor-Ort- oder Online-Beratung, Messgeräte-Ausleihe und Gutscheine zum Austausch energieintensiver Kleingeräte (LED-Lampen, abschaltbare Steckerleisten u. a.). Die Maßnahme sieht vor, den bisherigen, überwiegend kommunal finanzierten Ansatz auszuweiten: Mehr Bundesmittel ermöglichen ein flächendeckendes Netz aus qualifizierten Energie-Coach-Teams sowie eine verstärkte Ansprache Mieter-zentrierter Mehrfamilienhäuser.

Parametrisierung

Budgetaufstockung: Erhöhung der Bundesförderung von derzeit ~10 Mio. €/a auf 30 Mio. €/a ab 2026. Leistungsumfang: Mindestens 150 000 Beratungen/Jahr (heute ≈ 50 000).

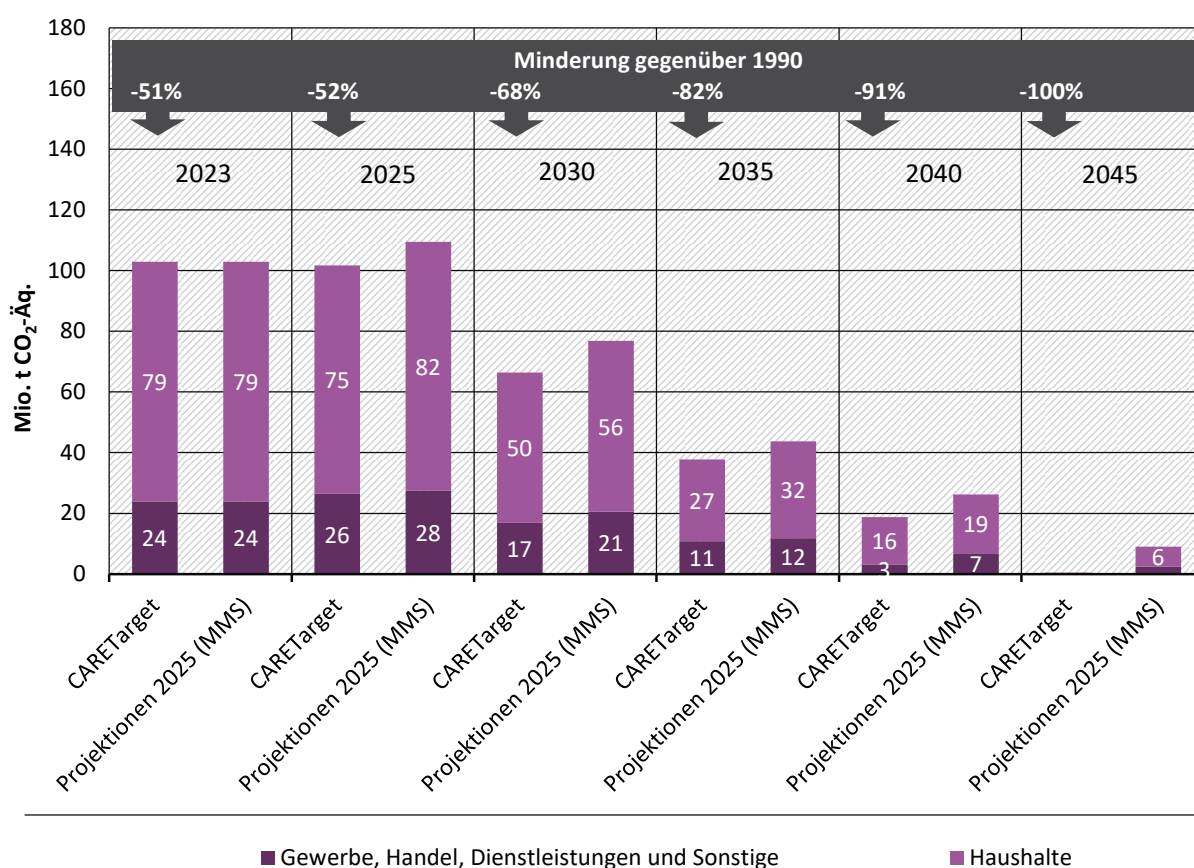
Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die zusätzliche Mittelausstattung erhöht die Reichweite des Stromspar-Checks und adressiert somit einen wesentlichen Hebel im Haushaltssektor, in dem Kleinmaßnahmen bisher oft ungenutzt bleiben. Die Einsparungen ergänzen die Effekte von Mindesteffizienzstandards (Ökodesign) und CO₂-Bepreisung, indem sie auch Haushalte ohne Investitionsspielraum erreichen.

6.3 Zentrale Ergebnisse

Abbildung 34, Tabelle 19 und Abbildung 35 zeigen den Minderungspfad der Treibhausgasemissionen in CARETarget. **Die ambitionierte Zielmarke für 2030 gemäß des früheren Sektorziels im Bundes-Klimaschutzgesetz 2021, die auch die Zielvorgaben des Umweltbundesamtes bestimmte, kann durch die zusätzlichen Instrumente in der Modellierung knapp eingehalten werden. Ein Gebäudesektor, der bis 2030 auf diesen Zielpfad einbiegt, kann getragen von den dafür zusätzlichen Instrumenten die restlichen Meilensteine zur Zielerreichen bis 2045 mit hoher Wahrscheinlichkeit erreichen.**

Abbildung 34: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

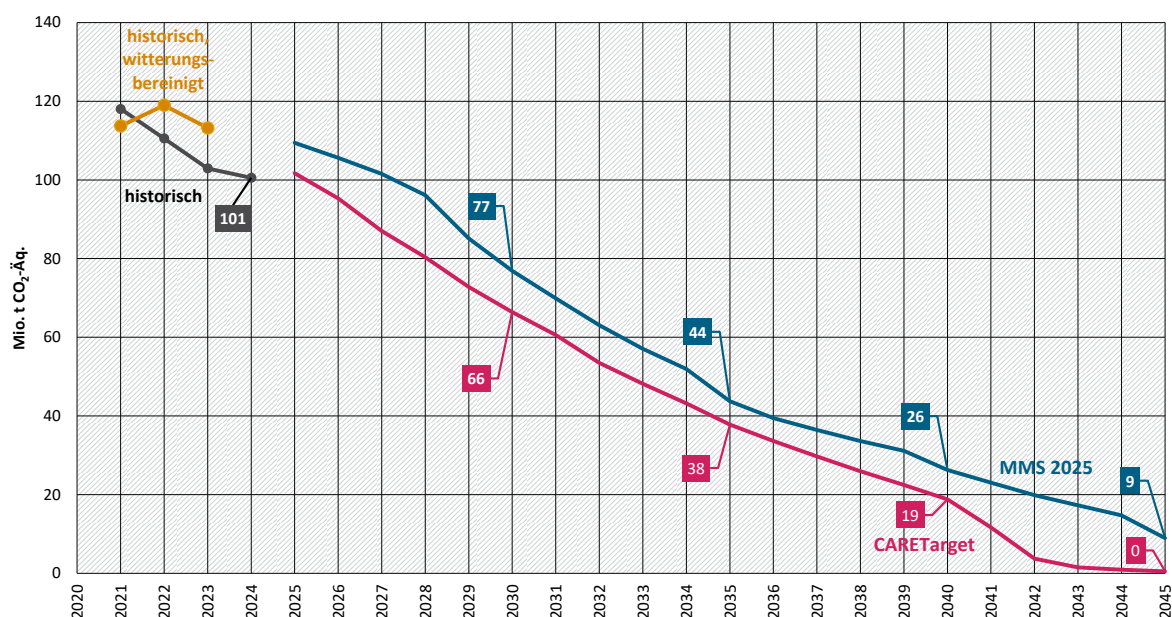
Tabelle 19: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude, CARETarget, in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045

	2023	2025	2030	2035	2040	2045
	Mio. t CO ₂ -Äq.					
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Sonstige	23,9	26,4	16,8	10,8	3,1	0,1
Haushalte	79,0	75,3	49,6	27,0	15,7	0,4
Gesamt	102,9	101,7	66,4	37,8	18,8	0,5

	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Minderung gegenüber 1990	-51,0 %	-51,6 %	-68,4 %	-82,0 %	-91,1 %	-99,8 %

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Abbildung 35: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025

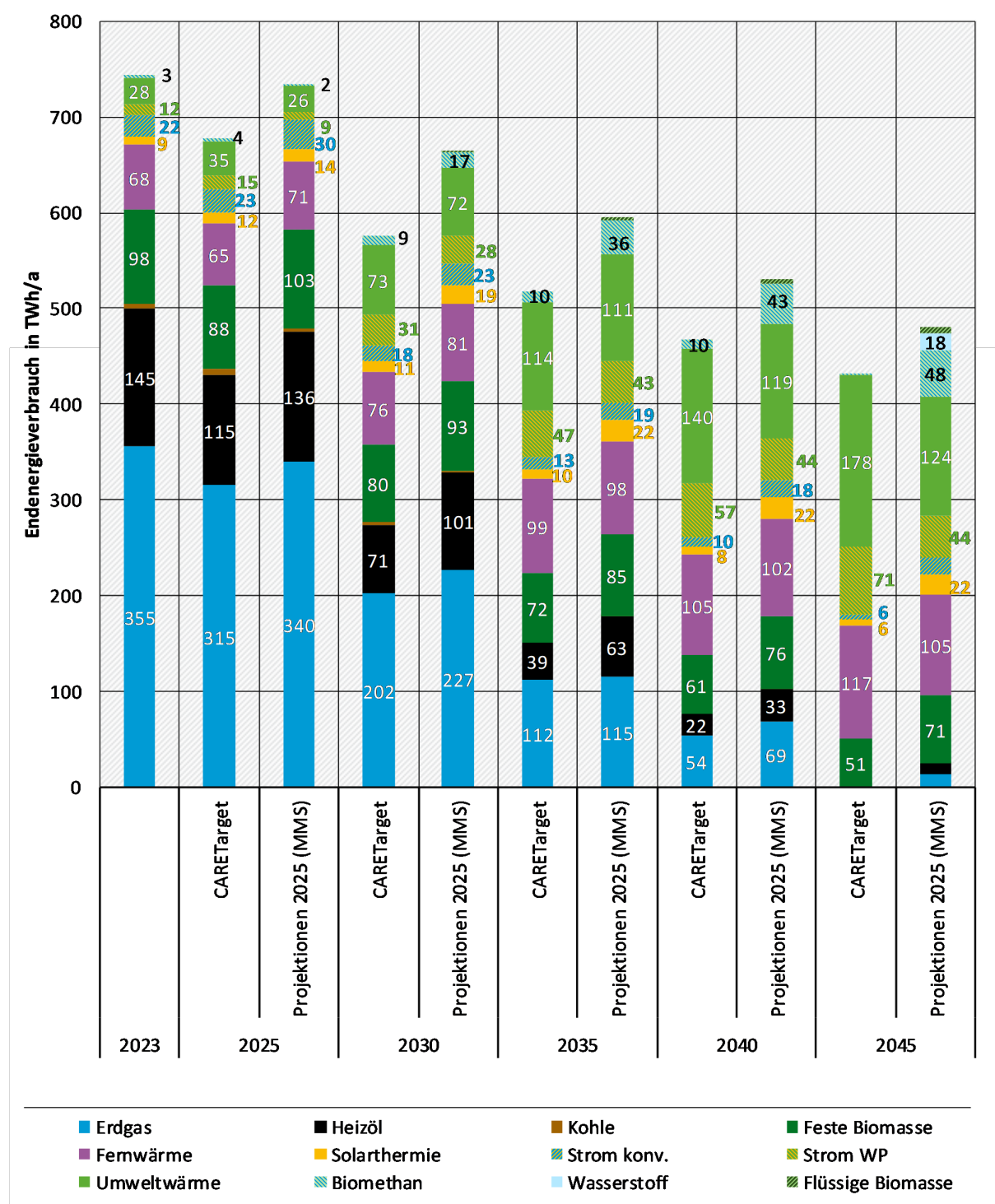


Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Abbildung 36 zeigt zum einen die Energieträgerverteilung in CARETarget. Der Anteil an Wärmepumpen (WP-Strom und Umweltwärme) sowie Fernwärme steigt kontinuierlich an. Die Nutzung von Biomasse geht zurück. Aufgrund des großflächigen Ausstiegs aus der Gas-Verteilnetz-Infrastruktur spielen grüne Gase – nach einem kurzen Hochlauf in den 2030ern – im Zielsystem keine Rolle mehr.

Zum anderen wird die Reduktion des Endenergieverbrauchs deutlich. Die Effizienz steigt mit jedem Jahr Sanierungsgeschehen (Dämmung und Heizungstausch). Weitere Treiber sind gering-investive Maßnahmen, Ersatz – d.h. Abriss – von ineffizienten Gebäuden durch Neubauten und weniger Heizgradtage durch die Klimakrise.

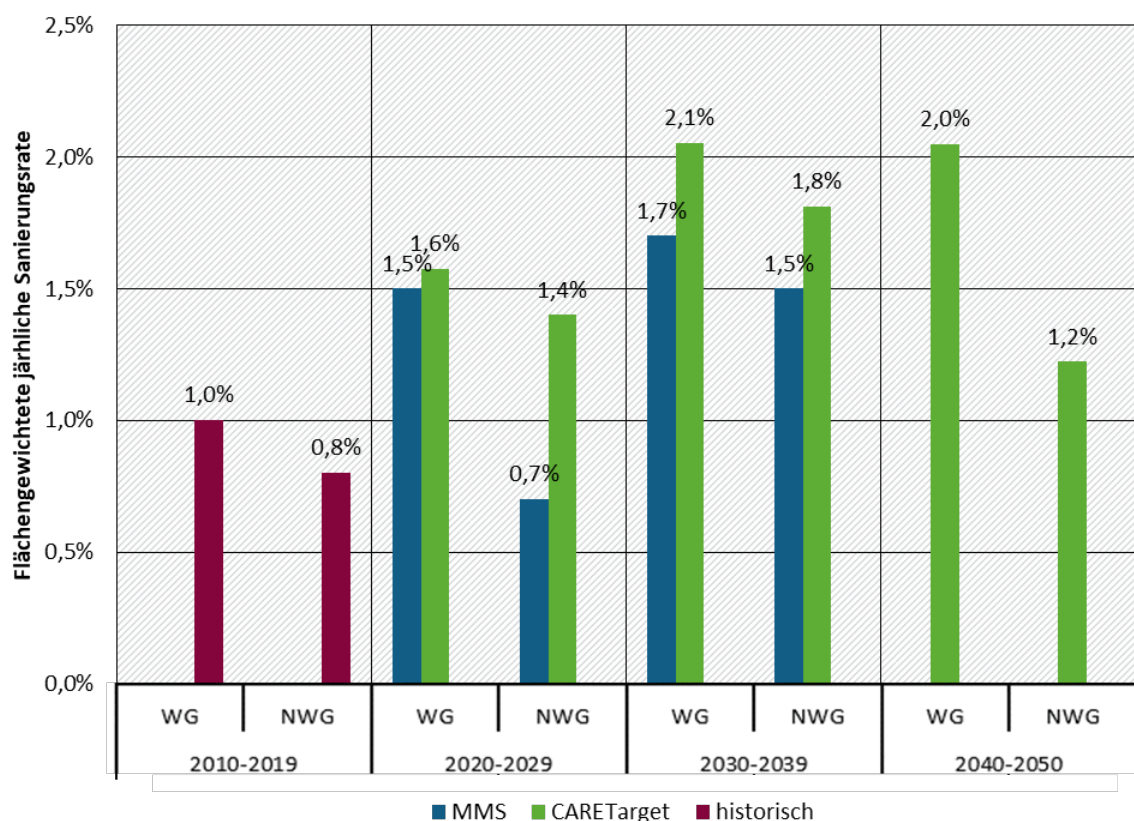
Abbildung 36: Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser je Energieträger in den Szenarien CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS)



Quelle: MMS aus Abb. 48 in Förster et al. (2025a) und CARETarget von Öko-Institut

Anmerkungen: Strom konv. = konventionell, d.h. in Stromdirektheizungen, Strom WP = Wärmepumpen

Abbildung 37 zeigt die Sanierungsrate in CARETarget. Insbesondere durch Mindesteffizienzstandards verdoppelt sich diese beinahe in den 2030ern im Vergleich zum historischen Niveau. Ein weiterer Treiber ist eine Ballung von Instandhaltungsbedarfen aufgrund der Baualters-Struktur des Gebäudebestands in der Modellierung. Diese Sanierungsfenster führen ebenfalls zu einer höheren Sanierungsrate.

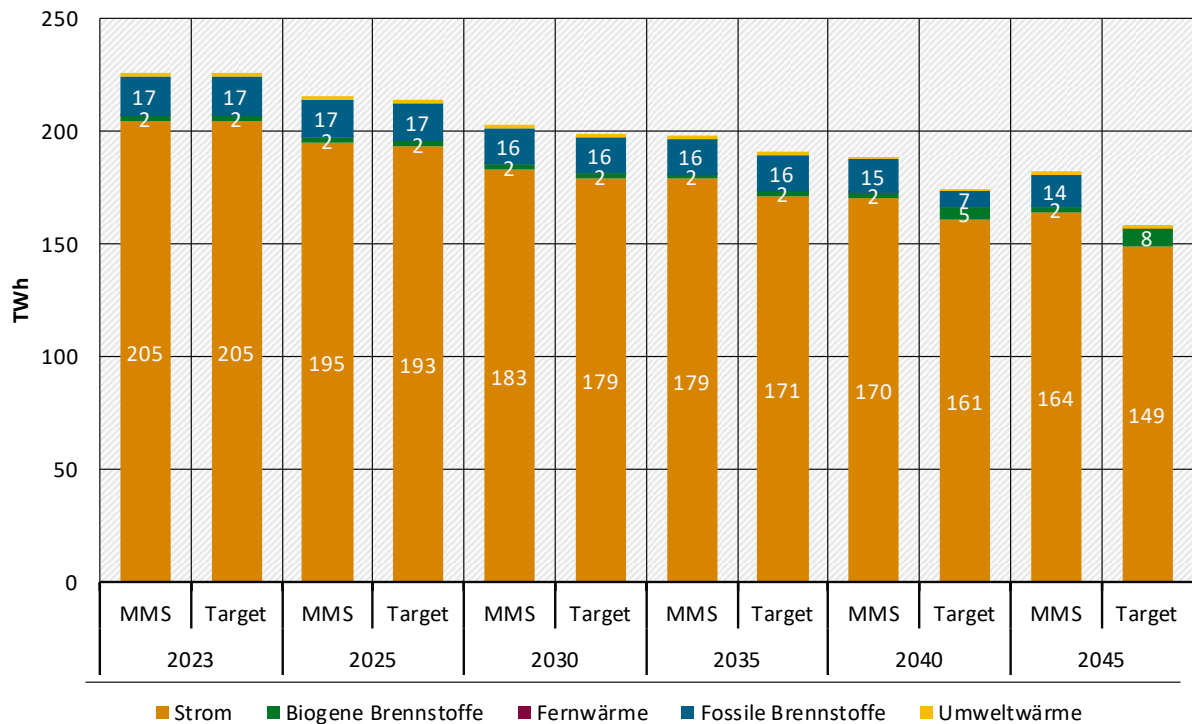
Abbildung 37: Flächengewichtete energetische Sanierungsrate für Wohn- und Nichtwohngebäude in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2010-2050

Quelle: MMS von S.183 in UBA (2025); CARETarget von Öko-Institut; historische Sanierungsrate von Cischinsky und Diefenbach (2018) (Wohngebäude) und Hörner (2022) (Nichtwohngebäude)

Anmerkung: WG=Wohngebäude, NWG=Nichtwohngebäude

Abbildung 38 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Geräte und Prozesse in Haushalten und im GHD-Sektor im Szenario CARETarget nach Energieträgern. Bis 2045 sinkt der Gesamtbedarf von 226 TWh (2023) auf rund 158 TWh (2045), ein Rückgang um knapp 30 %. Der größte Posten bleibt Strom, dessen Verbrauch schrittweise von 205 TWh (2023) auf 149 TWh (2045) abnimmt – vor allem dank Effizienzsteigerungen bei Haushaltsgeräten und elektrifizierten GHD-Prozessen. Fossile Brennstoffe werden nach einem moderaten Rückgang bis 2030 rasch substituiert und erreichen null bis 2045. Die Lücke füllen zunehmend biogene Brennstoffe, deren Einsatz sich zwischen 2030 und 2045 von 2 TWh auf fast 8 TWh vervierfacht, vor allem in umgerüsteten Bäckereiöfen, Großküchen und Notstromaggregaten. Fernwärme und Umweltwärme bleiben mit zusammen unter 2 TWh stabil, da sie im betrachteten Segment nur eine Nischenrolle spielen. Insgesamt zeigt CARETarget, dass deutliche Endenergieeinsparungen ohne weitreichende Lebensstiländerungen möglich sind, sofern frühe ordnungsrechtliche Verschärfungen Elektrifizierung und erneuerbare Energieträger konsequent in den Markt drücken.

Abbildung 38: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Geräte und Prozesse in den Sektoren Haushalte und GHD in CARETarget und in den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) nach Energieträgern, 2023-2045



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Fossile Brennstoffe: Andere Mineralölprodukte, Benzin, Braunkohle, Braunkohlen, Diesel, Erdgas, Flugtreibstoff, Heizöl leicht, Kerosin, Klärgas, LPG, Ottokraftstoff, Steinkohle; Biogene Brennstoffe: (Bio-) Ethanol, Biogas, Biokraftstoffe, Biomasse, Diesel (Bio), FAME, Feste Biomasse (Holz), Flüssige Biomasse, Ottokraftstoff (Bio)

7 Verkehr

7.1 Narrativ

Der Verkehrssektor steht vor der Herausforderung, die zukünftige Verkehrs- und Mobilitätswelt so zu gestalten, dass bezahlbare Mobilität für alle gewährleistet werden kann, während das Ziel der Treibhausgasneutralität 2045 erreicht wird. Die Sektorbetrachtung in diesem Projekt umfasst die nationalen Verkehre entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) sowie die internationalen Verkehre der Seeschifffahrt und des internationalen Luftverkehrs. Die Treibhausgasemissionen des nationalen Verkehrs liegen seit dem Jahr 2022 über den Emissionsmengen des Zielpfads laut KSG. Die Zielverfehlung ist hierbei stetig angewachsen, von 8,9 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2022 auf 18,1 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2024. Ziel in CARETarget ist es, vornehmlich, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, die sektorübergreifenden Gesamtinderungen in den Zieljahren zu erreichen. In den Sektoren dienen sektorale Jahresemissionsmengen vom Auftraggeber als Orientierungsrahmen für die Modellierung.

Seit der im Jahr 2024 vollzogenen Änderung des KSG hinsichtlich einer Gesamtbetrachtung aller Sektoren ist der unmittelbare Druck auf den Verkehrssektor, kurzfristig starke Emissionsminderungen zu erzielen, deutlich gesunken. Dennoch bleibt der Verkehrsbereich ein zentraler Baustein zur Erreichung der übergeordneten Klimaziele.

Während im Güterverkehr bereits wichtige Maßnahmen auf EU-Ebene durchgesetzt wurden – etwa die Ausweitung der Lkw-Maut, die CO₂-Bepreisung sowie verschärfte Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge – bietet eine beschleunigte Elektrifizierung im Personenverkehr das größte Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasen im Verkehrssektor. Kurzfristig birgt zudem der effizientere Betrieb von Pkw ein relevantes Einsparpotenzial. Um diese Transformation hin zu einem klimaneutralen Personenverkehr wirkungsvoll zu beschleunigen, sind gezielte Maßnahmen notwendig. Dazu zählen unter anderem eine Klimaabgabe zum Zeitpunkt der Anschaffung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sowie die Einführung eines allgemeinen Tempolimits – beides zentrale Hebel einer nachhaltigen Verkehrswende. Gleichzeitig gilt es, klimaschädliche Subventionen wie die steuerliche Bevorzugung von Plug-in-Hybriden im Rahmen der Dienstwagenbesteuerung oder die Entfernungspauschale abzubauen.

Flankierend leisten die Fortführung des Deutschlandtickets sowie eine dauerhaft erhöhte und verlässliche Förderung des Radverkehrs einen wichtigen Beitrag zur Attraktivitätssteigerung ressourcenschonender Mobilitätsformen. Nur durch ein ausgewogenes Zusammenspiel aus Anreizen, ordnungspolitischen Maßnahmen und dem Abbau bestehender Fehlanreize lässt sich der Wandel zu einem zukunftsfähigen, klimafreundlichen Verkehrssystem erfolgreich gestalten.

Beim internationalen Verkehr wird angenommen, dass dieser bis 2050 treibhausgasneutral ausgestaltet sein wird.

Für die Erfüllung der Klimaschutzziele und der dafür erforderlichen Begrenzung von kumulierten Jahresemissionsmengen stellt das Szenario CARETarget im Vergleich zum bisherigen Fortschritt im Sektor ein ambitioniertes Zielszenario für den Verkehr dar.

7.2 Maßnahmen und Instrumente

7.2.1 Anpassung der Kfz-Steuer (Einführung einer Klimaabgabe)

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Die Kfz-Steuer im 1. Jahr für neu zugelassene Pkw wird ab 2026 in Abhängigkeit der CO₂-Emissionen stufenweise erhöht. Die Bemessungsgrenze, über der die zusätzliche Komponente der Kfz-Steuer zu entrichten ist, sinkt kontinuierlich ab. Im Jahr 2030 sind von der Klimaabgabe alle Fahrzeuge außer Nullemissionsfahrzeuge erfasst. Die CO₂-abhängigen Steuersätze sind in Tabelle 20 dargestellt. Die zusätzliche Kfz-Steuer im ersten Jahr darf jedoch maximal 50 % des Fahrzeugkaufpreises betragen.

Parametrisierung

Die Ausgestaltung der Klimaabgabe ist in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Kfz-Steuer im 1. Jahr in € je g CO₂/km (WLTP)

Jahr	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Bemessungsgrenze in g CO ₂ /km	95	75	50	25	0	0	0
Zusatzzahlung in €/g CO ₂ /km	40	60	80	120	160	200	240

Quelle: Eigene Zusammenstellung Öko-Institut

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Maßnahme wirkt im Modell auf die Gesamtkosten für die Anschaffung und Nutzung (Total Cost of Ownership, TCO) von neuen Verbrenner-Pkw und damit auf die Neuzulassungsstruktur.

7.2.2 Tempolimit

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Für das allgemeine Tempolimit wird angenommen, dass ab 2026 ein flächendeckendes Tempolimit von 120 km/h auf Bundesautobahnen und 80 km/h außerorts eingeführt wird.

Parametrisierung

Die Parametrisierung orientiert sich an der Studie von Schmaus et al. (2023). Es werden Routenwahleffekte, Nachfrageeffekte sowie Änderungen durch die HBEFA-Streckentypen berücksichtigt (Änderung der Geschwindigkeiten). Bei den Routenwahleffekten wird berücksichtigt, dass durch das Tempolimit und die damit verbundene Reisezeitänderung verschiedene Routen für die Zielerreichung gewählt werden. Dadurch wird die Fahrleistung bei Pkw um 0,9 % verringert und bei Lkw um 0,1 % erhöht. Durch Nachfrageeffekte werden außerdem 2,1 % der Verkehrsleistung im MIV auf andere Verkehrsträger verlagert bzw. vermieden. In einem letzten Schritt wird der Energieverbrauch pro km angepasst, da die Fahrzeuge langsamer fahren und somit weniger verbrauchen. Im MIV sinkt der Energieverbrauch um 4,7 %, bei Lkw und LNF um 0,4 %.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Das Tempolimit bewirkt zum einen eine Verringerung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen infolge reduzierter Fahrgeschwindigkeiten. Zum anderen beeinflusst

es die Fahrleistung über veränderte Routenwahlentscheidungen und fördert eine Verlagerung des Straßenverkehrs auf alternative, umweltfreundlichere Verkehrsträger.

7.2.3 Umweltbonus / Kaufprämie für Pkw

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Die Kaufprämie für vollelektrische Fahrzeuge hat das Ziel, den Markthochlauf von emissionsfreien Fahrzeugen zu beschleunigen. Sie soll die Anschaffungskosten für Käufer*innen senken, technologische Innovationen fördern und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor beitragen.

Parametrisierung

Ab dem Jahr 2026 wird für emissionsfreie Kleinwagen mit einem Nettolistenpreis von maximal 40.000 Euro eine Kaufprämie in Höhe von 3.000 Euro gewährt. Die Förderung ist bis 2030 befristet und ausschließlich für private Fahrzeughalter*innen vorgesehen.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Maßnahmen wirkt im Modell auf die Gesamtkosten für die Anschaffung und Nutzung (TCO) der neuen Pkw und damit auf die Neuzulassungsstruktur.

7.2.4 THG-Quote/Energetische Quoten für erneuerbare Kraftstoffe

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Bis zum Jahr 2030 entspricht die THG-Quote der heutigen Ausgestaltung (kontinuierlicher Anstieg der THG-Quote bis auf 25 %). Bis zum Jahr 2035 werden konventionelle Biokraftstoffe und bis zum Jahr 2040 Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse und aus Altspeiseölen ausgephast und durch fortschrittliche Biokraftstoffe und RFNBO-E-Fuels ersetzt. Die absolute Menge an erneuerbaren Kraftstoffen (biogen und E-Fuels) bleibt bis zum Jahr 2040 insgesamt konstant. Durch die zurückgehende Nachfrage nach Flüssigkraftstoffen steigt der Anteil erneuerbarer Kraftstoffe an Flüssigkraftstoffen im Jahr 2035 auf rund 28 % und im Jahr 2040 auf rund 51 %. Bis zum Jahr 2045 steigt der erneuerbare Anteil der Kraftstoffe in den nationalen Verkehren im Verkehrssektor auf 100 %.

Für die internationalen Verkehre (internationaler Flugverkehr, Seeverkehr) wird der Beimischungsanteil für erneuerbare Kraftstoffe ab 2035 linear bis 2050 auf 100 % gesenkt.

Parametrisierung

Der Hochlauf erneuerbarer Kraftstoffe entspricht den Anteilen der Instrumentenbeschreibung.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die THG-Quote führt zu einer Verteuerung von Kraftstoffen. Der Preisanstieg führt zu mehr Verlagerung auf andere Verkehrsträger.

7.2.5 Fortführung des Deutschlandtickets

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Im Szenario CARETarget wird das Deutschlandticket von 2026 bis 2050 zum Preis von 58 Euro fortgeführt.

Parametrisierung

Am 1. Mai 2023 wurde das bundesweit gültige Deutschlandticket für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) eingeführt. Der Einstiegspreis lag bei 49 Euro pro Monat. Eine

Preiserhöhung auf 58 Euro monatlich wurde am 23. September 2024 beschlossen und gilt ab dem 1. Januar 2025. Da die Finanzierung ab dem Jahr 2026 bislang nicht geregelt ist, läuft das Deutschlandticket nach aktuellem Stand zum 31. Dezember 2025 aus. Im Szenario CARETarget wird jedoch davon ausgegangen, dass das Deutschlandticket von 2026 bis 2050 zum Preis von 58 Euro (real) fortgeführt wird.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch die günstigen Nutzungskosten wird mehr Verkehr von der Straße und von anderen Verkehrsträgern auf die Schiene verlagert.

7.2.6 Radverkehrsförderung

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Die Attraktivität des Radverkehrs soll durch Investitionen in die entsprechende Infrastruktur gesteigert werden – etwa durch den Bau von Abstellanlagen, Radwegen und Radschnellwegen. Solche (Pull-)Maßnahmen sind eine wichtige Voraussetzung dafür, dass preisliche Anreize (Push-Maßnahmen) überhaupt eine spürbare Verlagerung im Verkehrsverhalten bewirken können.

Parametrisierung

Die im MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 vorgesehenen Investitionen werden in den Jahren 2029 und 2030 fortgeführt. Anschließend werden die Bundesmittel für die Radverkehrsförderung schrittweise erhöht, sodass bis zum Jahr 2040 jährlich 30 Euro pro Person in den Ausbau der Radinfrastruktur investiert werden.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Investitionen in die Radinfrastruktur bewirken eine Reduktion der Verkehrsleistung im MIV und im ÖPNV. Entsprechend sinken die Endenergienachfrage und die Treibhausgasemissionen dieser Verkehrsmodi. Im Radverkehr steigt die Verkehrsleistung. Aufgrund induzierten Verkehrs übertrifft der Anstieg der Verkehrsleistung im Radverkehr den Rückgang im MIV und ÖPNV.

7.2.7 Umgestaltung der Besteuerung von Dienstwagen

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Ab dem Jahr 2026 sind Plug-in-Hybride von der steuerlichen Begünstigung im Rahmen der Dienstwagensteuer ausgeschlossen.

Parametrisierung

Siehe Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Dienstwagensteuer verändert die Nutzungskosten für batterieelektrische Fahrzeuge und wirkt sich damit auf die Kaufentscheidung von Antrieben und die Neuzulassungsstruktur aus.

7.2.8 Abschaffung der Entfernungspauschale

Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung

Die Entfernungspauschale wird im Jahr 2027 abgeschafft.

Parametrisierung

Siehe Instrumenten- und Maßnahmenbeschreibung.

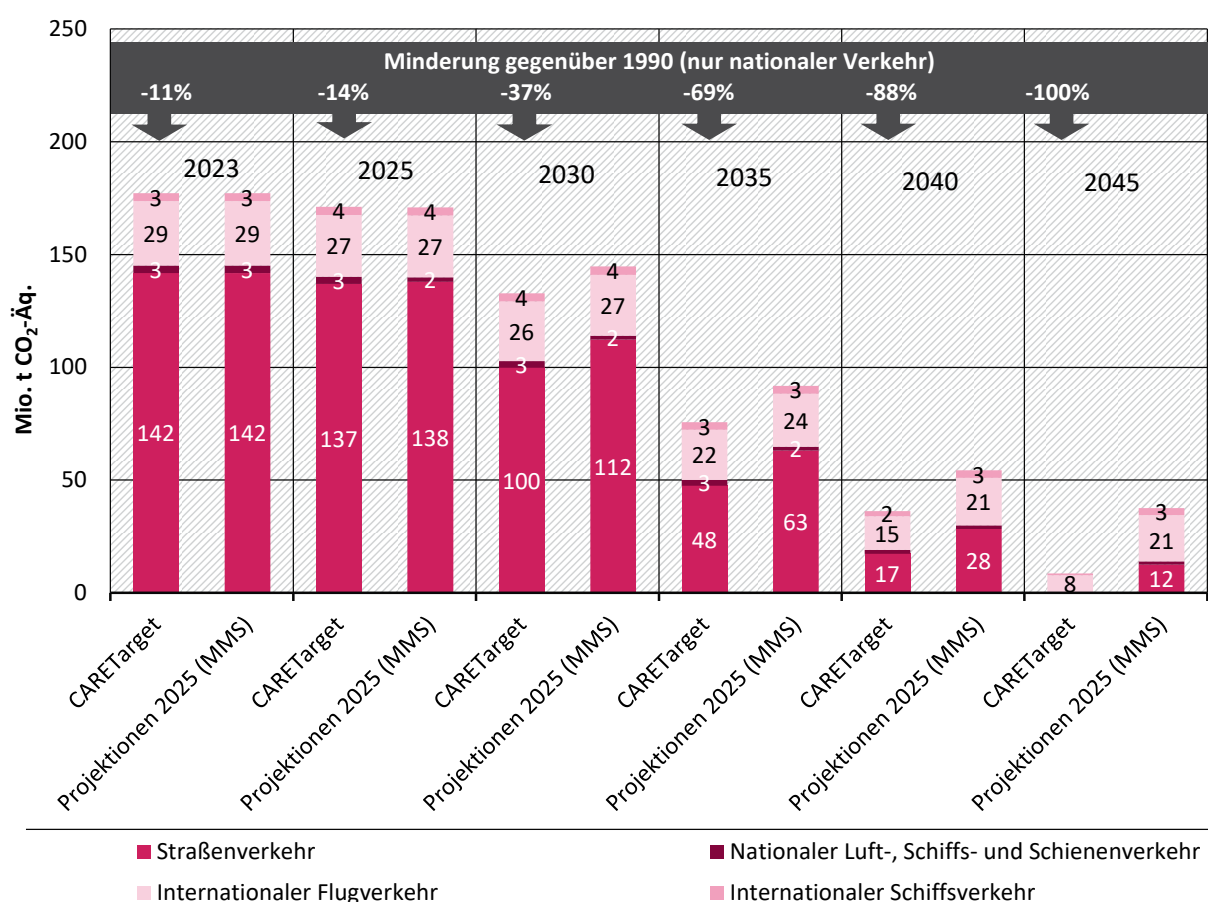
Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch den Wegfall der Entfernungspauschale wird das Pendeln durch Arbeitswege weniger attraktiv. Nach Petschow et al. (2008) wird die Minderung der Verkehrsleistung durch die Abschaffung der Entfernungspauschale hergeleitet. Im Laufe von 10 Jahren reduziert sich die Verkehrsleistung gegenüber der Referenzentwicklung demnach um 2,3 % jährlich.

7.3 Zentrale Ergebnisse

In CARETarget werden die sektorübergreifenden Klimaschutzziele der Jahre 2030, 2040 und 2045 eingehalten. **Im Jahr 2045 ist der Verkehrssektor treibhausgasneutral (Abbildung 39, Tabelle 21). Das Sektorziel wird im Jahr 2030 mit rund 103 Mio. t CO₂-Äq. jedoch weiterhin verfehlt.**

Abbildung 39: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

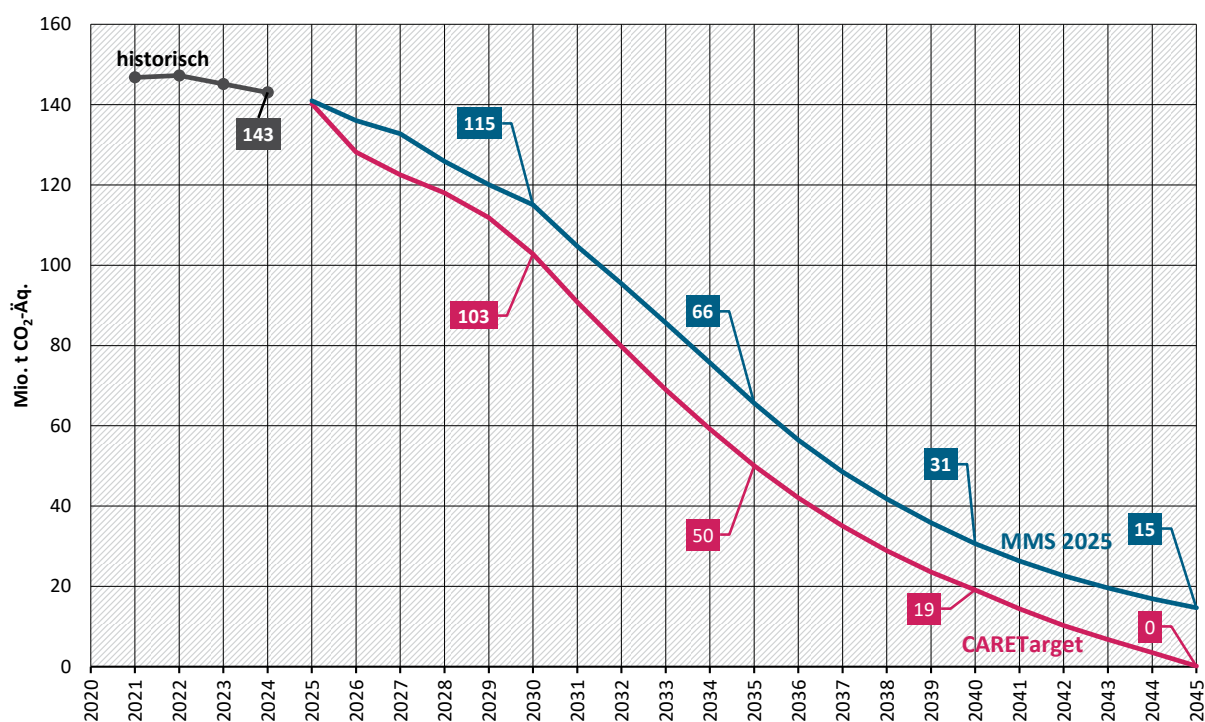


Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut. Aus methodischen Gründen (Modellaktualisierung) weichen die Emissionen von CARETarget im Jahr 2025 leicht von den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) ab.

Tabelle 21: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr, CARETarget, in ausgewählten Jahren zwischen 2023 und 2045

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Ziviler Luftverkehr	1,1	1,0	1,0	0,8	0,4	0,0
Straßenverkehr	141,9	137,0	99,8	47,6	17,4	0,1
Schienenverkehr	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,0
Schiffsverkehr	1,4	1,3	1,1	0,8	0,6	0,0
Gesamt	145,1	140,2	102,8	50,1	19,1	0,1
Minderung gegenüber 1990	-11,1 %	-14,1 %	-37,0 %	-69,3 %	-88,3 %	-99,9 %
Gesamt Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) zum Vergleich	145,1	141,0	115,0	65,6	30,7	14,7
Nachrichtlich:						
Internationaler Flugverkehr	28,6	27,3	26,4	22,3	14,8	7,6
Internationaler Schiffsverkehr	3,5	3,7	3,7	3,3	2,3	0,8
Gesamt inklusive nachrichtlich	177,2	171,2	132,9	75,6	36,2	8,6

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut. Aus methodischen Gründen (Modellaktualisierung) weichen die Emissionen von CARETarget im Jahr 2025 leicht von den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS) ab.

Abbildung 40: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045

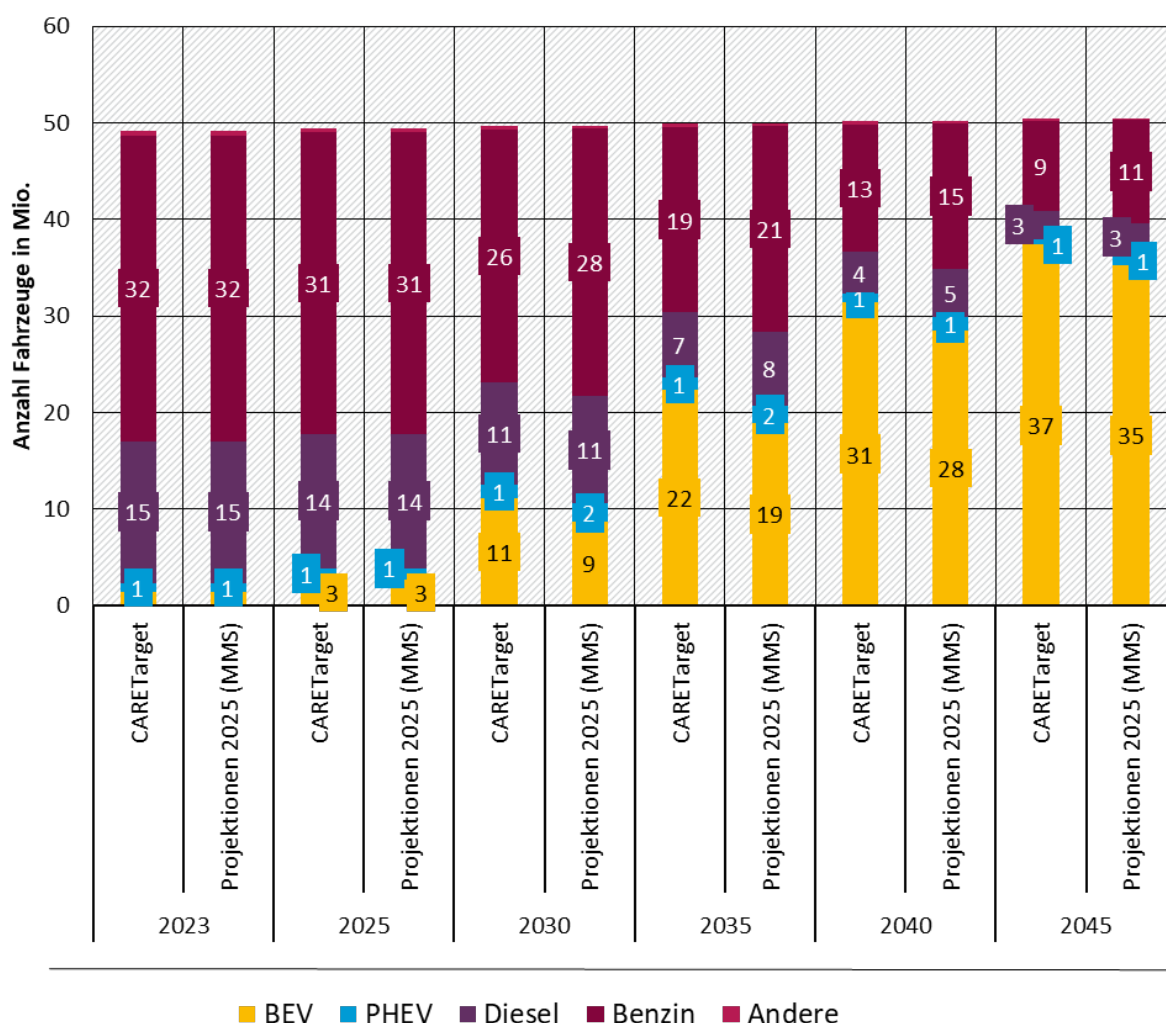
Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Zwischen den Jahren 2030 und 2035 sinken die Treibhausgasemissionen sowohl in CARETarget als auch im MMS und MWMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 um etwa 50 Mio. t CO₂-Äq.. Hauptursache dafür ist die in diesem Zeitraum schnelle Flottenumwälzung aufgrund der Flottenzielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge einerseits sowie für schwere Nutzfahrzeuge andererseits.

In CARETarget führt darüber hinaus insbesondere die Klimaabgabe auf Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu einem beschleunigten Anstieg von batterieelektrischen Pkw (BEV) im MIV. Die maximale Flottenumwälzung wird dadurch von 2035 (Treibhausgas-Projektionen 2025) auf 2032 vorgezogen. Während dieser Hochlaufphase scheiden aufgrund des jungen Fahrzeugalters kaum BEVs aus dem Bestand aus. Erst später nimmt auch die Zahl der außer Betrieb gehenden BEVs zu, sodass die Netto-Bestandsveränderung wieder zurückgeht. Bei den Verbrennern zeigt sich ein entgegengesetzter Effekt: Bis 2032 bzw. 2035 gehen die Neuzulassungen stark zurück, während weiterhin viele ältere Verbrenner aus dem Bestand ausscheiden. Danach nimmt auch das Ausscheiden von Verbrennern ab, da nur noch wenige im Bestand verbleiben. Die negative Netto-Bestandsveränderung von Verbrennerfahrzeugen erreicht somit zwischen 2030 und 2035 ihr Maximum – in dieser Phase werden also besonders viele Verbrenner aus dem Verkehr gezogen. Dieser Effekt trägt maßgeblich zur starken Emissionsminderung in diesem Zeitraum bei.

Zusätzlich zu den Flottenzielwerten sind weitere eingeführte Instrumente besonders wichtig, um bereits im Jahr 2030 zu einer deutlichen Emissionsminderung beizutragen. Die größte Minderungswirkung gegenüber den Treibhausgas-Projektionen 2025 hat die Klimaabgabe auf Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, das Tempolimit und die THG-Quote.

Der internationale Verkehr wird erst bis 2050 treibhausgasneutral, sodass im Jahr 2045 hier noch Restemissionen bestehen.

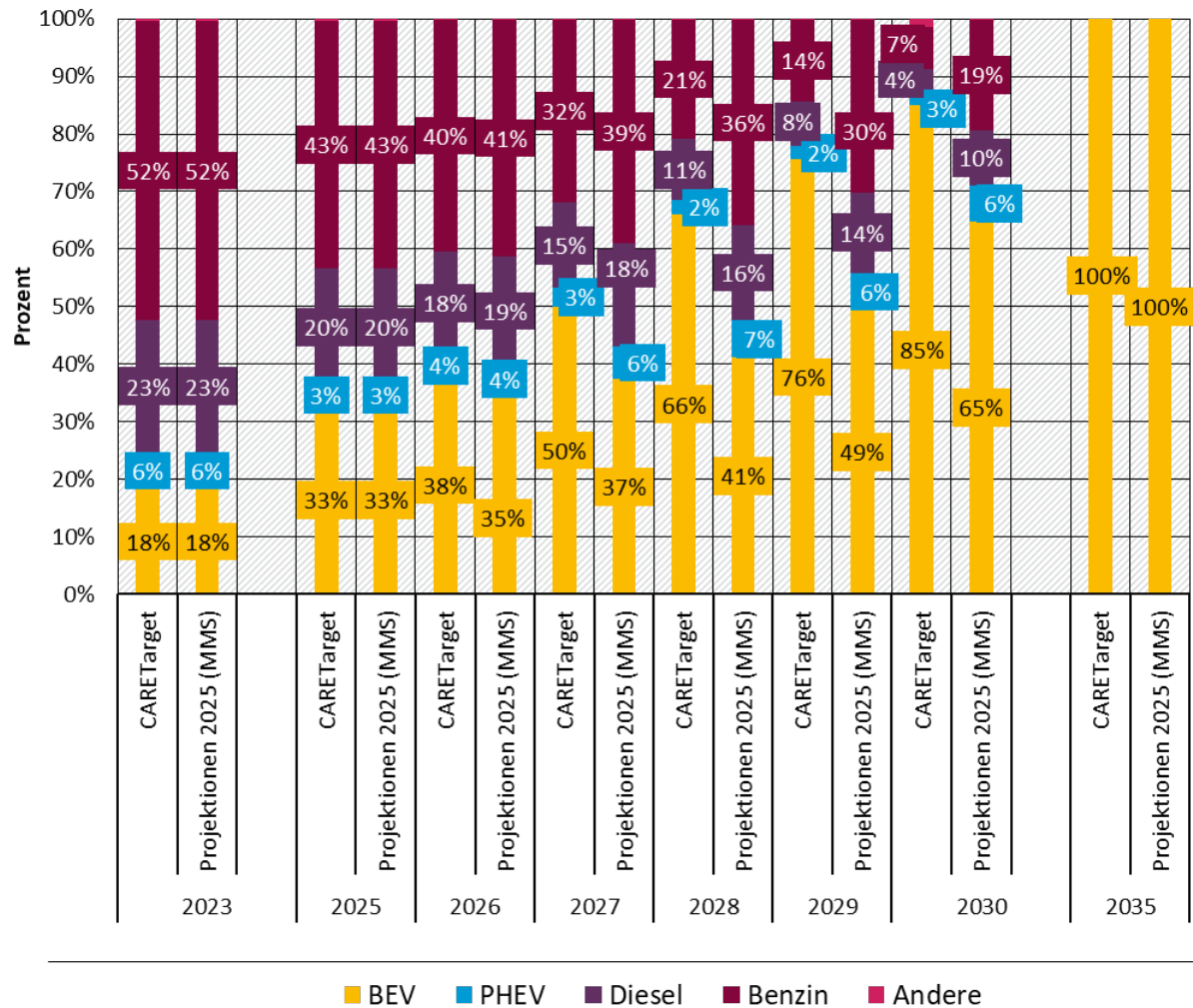
Abbildung 41: Pkw-Bestand nach Antriebstypen, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

In Abbildung 41 und Abbildung 42 ist die Entwicklung des Pkw-Bestands und der Pkw-Neuzulassungen dargestellt. Im Szenario CARETarget steigt der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge (BEVs) zwischen 2025 und 2030 schnell. Haupttreiber dieser Entwicklung sind insbesondere der Malus auf Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sowie die Wiedereinführung der Kaufprämie für vollelektrische Kleinwagen. Insgesamt ergibt sich so im Jahr 2030 ein Neuzulassungsanteil der BEVs von 85 % und insgesamt 11,1 Mio. BEVs im Bestand.

Die steuerliche Bevorzugung von Plug-in-Hybridfahrzeugen (PHEVs) bei der Dienstwagenregelung läuft im Jahr 2026 aus. In der Folge geht die Zahl der Neuzulassungen von PHEVs gegenüber der Referenz deutlich zurück. Der Bestand an PHEVs sinkt dadurch im Jahr 2030 um rund 400.000 Fahrzeuge auf insgesamt 1,4 Mio.

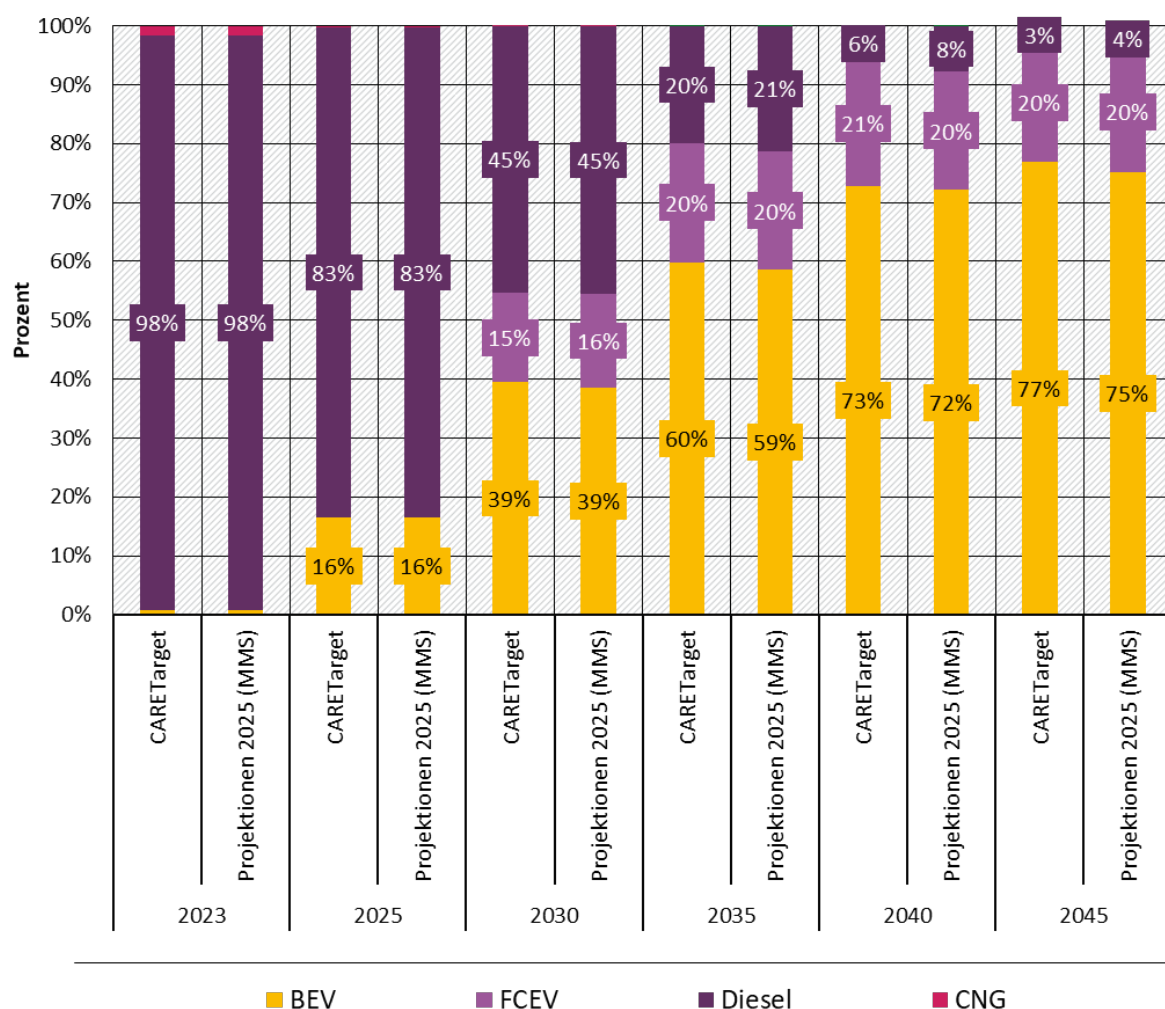
Der Pkw-Bestand in CARETarget sinkt bis 2045 nicht ab, sondern bleibt annähernd konstant. In CARETarget bleibt Autofahren mit zunehmender Elektrifizierung der Flotte günstig und damit attraktiv.

Abbildung 42: Antriebsverteilung der Neuzulassungen bei Pkw, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2035

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Hinweis: Nach 2035 bleiben die Anteile konstant.

Bei den Neuzulassungen von schweren Nutzfahrzeugen über 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht (zGG) (siehe Abbildung 43) weist CARETarget kaum Änderungen zur Referenz auf, da im Güterverkehr keine zusätzlichen Instrumente in CARETarget umgesetzt wurden. Leichte Abweichungen ergeben sich lediglich durch eine angepasste THG-Quote, die zu leicht veränderten Kraftstoffpreisen führt. Im Jahr 2030 liegt der Anteil emissionsfreier Lkw bei 55 %, bis zum Jahr 2045 steigt dieser Anteil auf 97 %.

Abbildung 43: Antriebsverteilung der Neuzulassungen bei Lkw > 12 Tonnen zGG, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

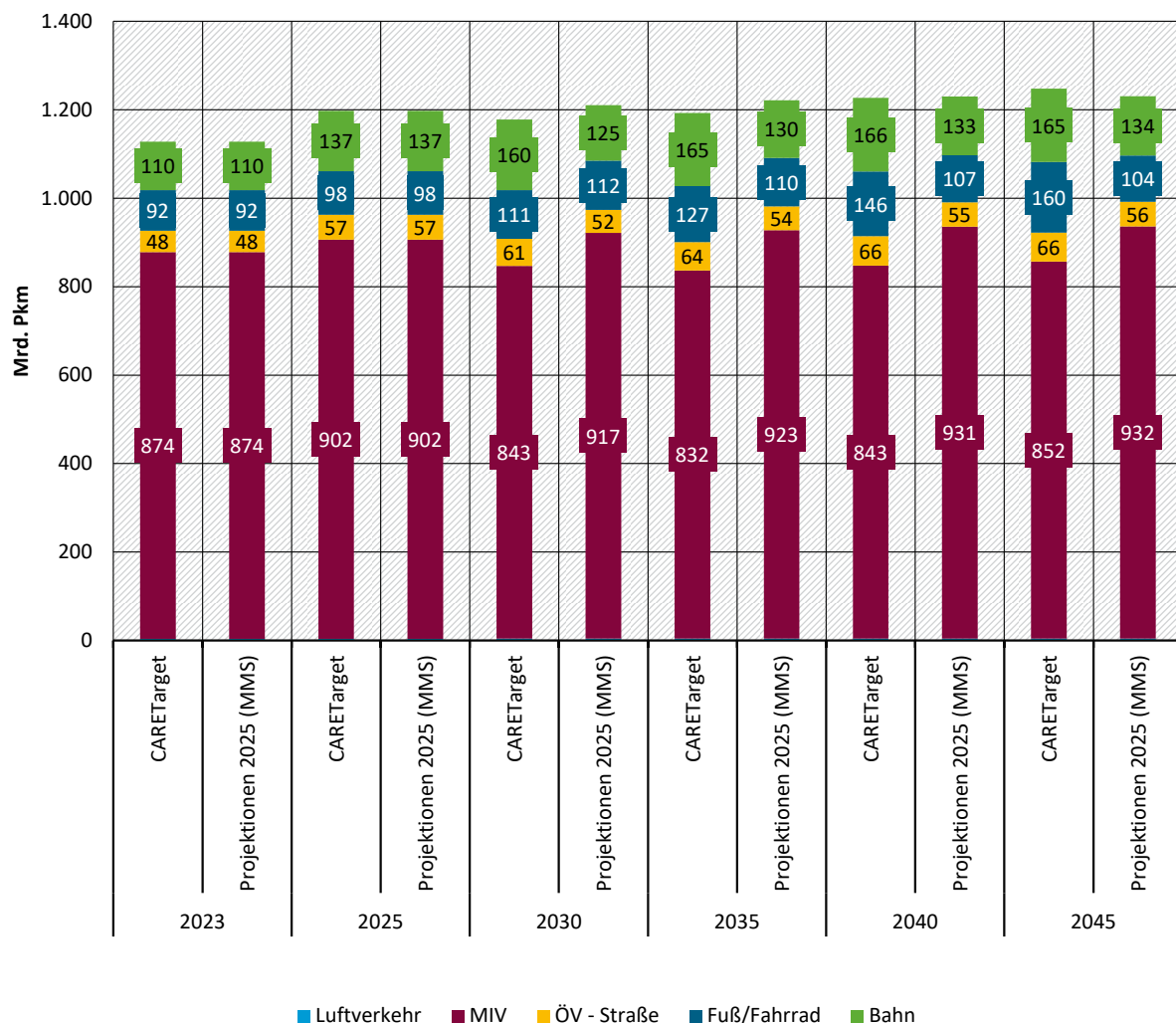
Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Im Szenario CARETarget geht die Gesamtverkehrsleistung bis zum Jahr 2030 zunächst leicht zurück, steigt danach jedoch kontinuierlich an (siehe Abbildung 44). Im Jahr 2045 liegt die Gesamtverkehrsleistung schließlich über dem heutigen Niveau.

Die kurzfristige Reduktion der Verkehrsleistung im MIV bis 2030 ist vor allem auf die Verteuerung fossiler Kraftstoffe zurückzuführen – insbesondere durch den steigenden CO₂-Preis und die Anpassung der Energiesteuer. Mit zunehmender Elektrifizierung sinken die Energiekosten im MIV langfristig, was wiederum zu einem erneuten Anstieg der MIV-Verkehrsleistung führt.

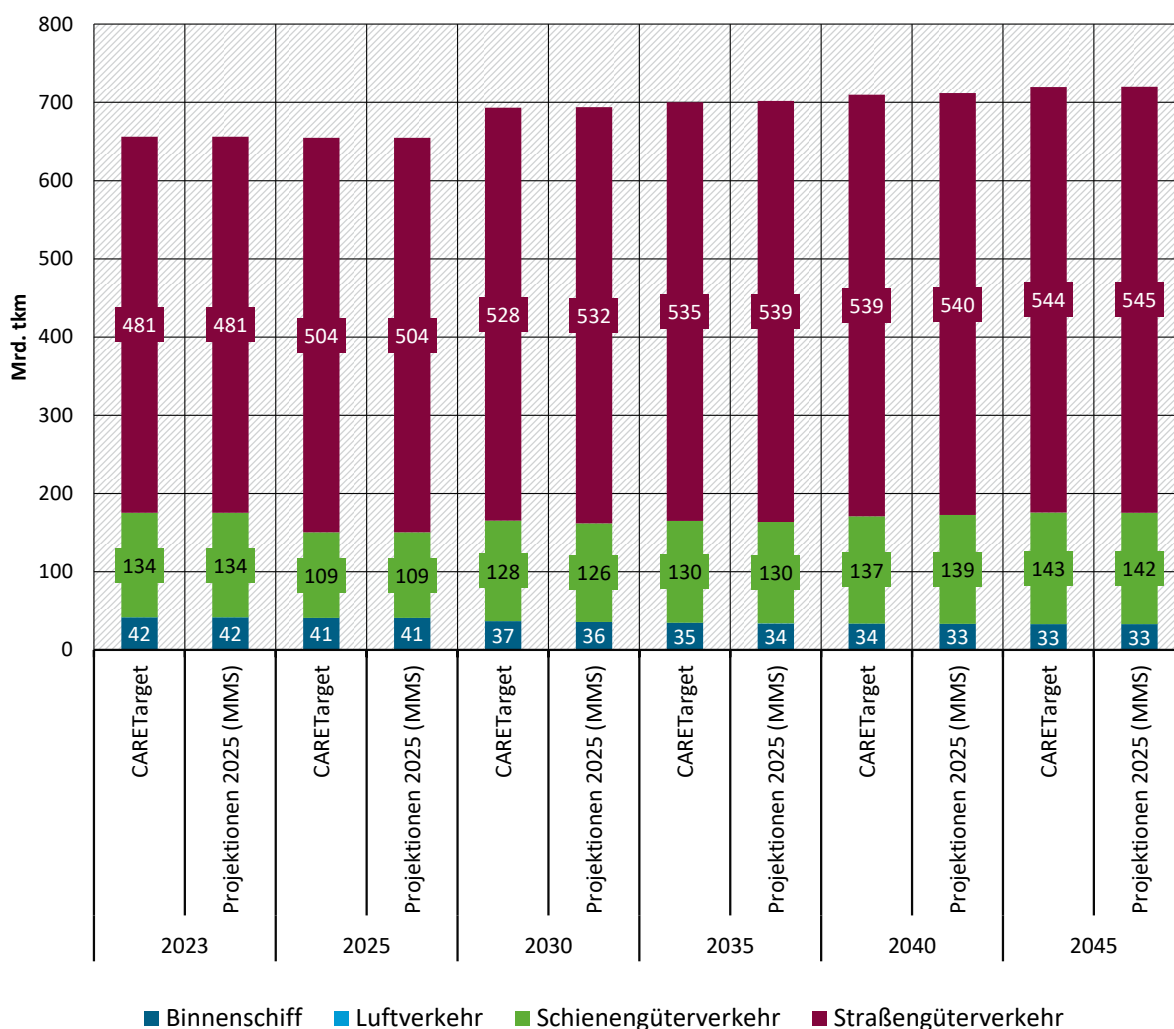
Parallel dazu kommt es bis 2030 zu einer spürbaren Verlagerung von Verkehr auf die Schiene. Treiber ist hier neben den steigenden Kilometerkosten im MIV auch die Fortführung des Deutschlandtickets. Diese Zunahme flacht nach 2030 jedoch ab und geht nach 2045 sogar leicht zurück – im Gegensatz zum weiterhin wachsenden, durch die Elektrifizierung immer günstiger werdenden, MIV.

Die gezielte Förderung des Radverkehrs im Rahmen von CARETarget führt nach 2030 zu einem starken Anstieg. Bis 2045 erreicht die Verkehrsleistung im Rad- und Fußverkehr rund 160 Milliarden Personenkilometer.

Abbildung 44: Personenverkehrsleistung, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Bei der Güterverkehrsleistung (Abbildung 45) zeigt sich kaum eine Änderung in CARETarget gegenüber der Referenz, da die Instrumente im Güterverkehr in beiden Szenarien identisch sind. Marginale Änderungen ergeben sich durch leicht veränderte Kraftstoffpreise, welche durch eine Angepasste THG-Quote zustande kommen.

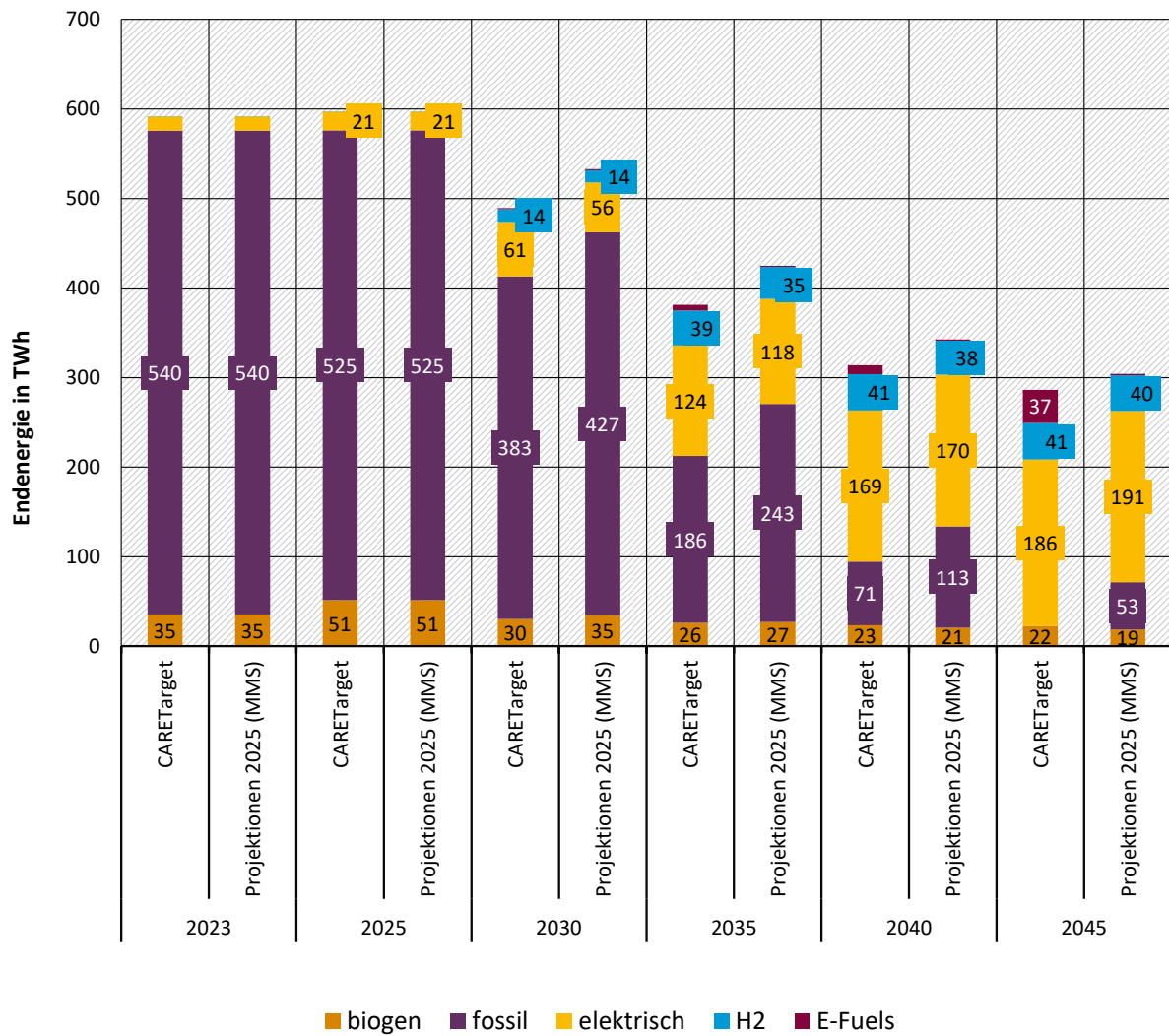
Abbildung 45: Güterverkehrsleistung (nationale Verkehre), CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Abbildung 46 zeigt den Endenergiebedarf im Verkehrssektor. Insgesamt zeigt sich im Szenario CARETarget ein deutlicher Rückgang des Verbrauchs fossiler Energieträger, insbesondere im Zeitraum zwischen 2025 und 2035. In diesen Jahren erfolgt die Elektrifizierung großer Teile der Pkw- und Lkw-Flotte.

Im Jahr 2035 liegt der Strombedarf des Verkehrssektors bei rund 124 TWh, bis 2045 steigt dieser auf 186 TWh an. Der Einsatz von Biokraftstoffen bleibt auf einem ähnlichen Niveau wie im Referenzszenario. Der Bedarf an Wasserstoff ist in CARETarget leicht erhöht.

Einen besonders starken Anstieg verzeichnet der Bedarf an synthetischen Kraftstoffen (E-Fuels), die zur Erreichung vollständiger Klimaneutralität im Jahr 2045 eine zentrale Rolle spielen. Ihr Einsatz steigt bis dahin auf 37 TWh.

Abbildung 46: Nationaler Endenergiebedarf im Sektor Verkehr, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

8 Landwirtschaft

8.1 Narrativ

Das CARETarget knüpft direkt an die Ergebnisse der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2025a) an. Dieser zeigt für das MMS wie auch das MWMS eine Unterschreitung der zulässigen Jahresemissionsmengen bis 2030. Um die Klimaziele des KSG auch langfristig sicherzustellen, werden weitere Instrumente bzw. Instrumentenanpassungen hinzugefügt. Auf diese Weise kann der in der Szenariodefinition vom Umweltbundesamt vorgegebene Treibhausgasminderungspfad eingehalten werden. Im hier vorliegenden Zielszenario CARETarget folgen die Annahmen zur wirtschaftlichen Entwicklung und weitere Rahmendaten jenen der Treibhausgas-Projektionen 2025. Ziel in CARETarget ist es, vornehmlich, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, die sektorübergreifenden Gesamtminderungen in den Zieljahren zu erreichen. In den Sektoren dienen sektorale Jahresemissionsmengen vom Auftraggeber als Orientierungsrahmen für die Modellierung.

Zentral ist die zügige Einführung zusätzlicher technischer Minderungsmaßnahmen, wie die Ausweitung der Wirtschaftsdüngervergärung oder Zusatzstoffe im Tierfutter und in Düngemitteln. Angesichts des ambitionierten Reduktionspfads in CARETarget wird hier von einer hohen Durchdringung ausgegangen, Art und Umfang sind dabei wie im CARETech (Harthan et al. 2025), es erfolgt aber eine frühere Umsetzung.

Die Jahresemissionsmengen für CARETarget sind für den Landwirtschaftssektor ambitioniert und erfordern neben den technischen Maßnahmen auch eine Abstockung der Tierbestände und somit eine Verringerung der Produktion tierischer Produkte. Diese wird über eine Steuerung der Lebensmittelpreise erreicht, indem sowohl eine Reform der Mehrwertsteuer als auch die Einführung eines Treibhausgaspreises für tierische Lebensmittel implementiert werden. Die Einführung erfolgt aus gesundheits- und umweltbezogenen Erwägungen heraus und sie verändert das Preisgefüge im Lebensmittelsektor signifikant und hat eine Verschiebung der Ernährungsgewohnheiten in der breiten Bevölkerung zugunsten pflanzlicher Lebensmittel zur Folge.

Die veränderten Nachfragemuster wirken sich wiederum auf die Produktion in der Landwirtschaft aus: Die verringerte Nachfrage nach Milch- und Fleischprodukten führt zu einer Verringerung der Nutztierbestände und die verstärkte Nachfrage nach pflanzlichen Produkten zu einer Ausdehnung des Anbaus insbesondere von Hülsenfrüchten und Gemüse. Letzteres zielt auch darauf ab, die heimische Versorgung mit pflanzlichen Lebensmitteln zu stärken, was mit den Zielen des Maßnahmenpakets Zukunft Gartenbau⁴² und denen der nationalen Ernährungsstrategie (BMEL 2024) und der Eiweißpflanzenstrategie des BMLEH übereinstimmt, die gerade neu überarbeitet wird⁴³.

Zusammengenommen führen diese Annahmen dazu, dass weniger Flächen für den Futteranbau notwendig sind. So ist die großflächige Wiedervernässung von Moorstandorten, die umfangreiche Etablierung von Agroforstsystemen und die moderate Ausweitung des

⁴² Auf Initiative des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft haben Vertreter und Vertreterinnen aus der Praxis, Branchenorganisationen, Verbänden und Wissenschaft ein „Maßnahmenpaket Zukunft Gartenbau“ erarbeitet und im Februar 2024 dem Ministerium übergeben. Das Maßnahmenpaket ist online hier abrufbar (Kurzfassung, zuletzt am 19.9.2025): https://www.derdeutschegartenbau.de/wp-content/uploads/2024/02/Zusammenfassung_Massnahmenpaket_Zukunft_Gartenbau_fin.pdf

⁴³ Die BMEL-Eiweißpflanzenstrategie von 2012 wird derzeit zu einer Proteinstrategie weiterentwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf pflanzlichen Proteinquellen. Die BMLEH-Proteinstrategie soll im Sommer 2025 vorliegen (vergl. Tagungsband zum 2. Nationalen Leguminosen-Kongress, Download unter: <https://www.dafa.de/wp-content/uploads/Konferenzband2NatLegKongress2024.pdf>).

Ökolandbaus (analog zum MWMS in den Treibhausgas-Projektionen 2025) möglich, ohne den Nutzungsdruck auf die Agrarfläche zu sehr zu erhöhen.

Der Aufwuchs des Grünlandes wird für die Tierhaltung verwendet. Diese Flächen stehen nicht in Konkurrenz zur menschlichen Ernährung, da Grünland bereits heute zu erhalten ist und nur in Ausnahmefällen zu Ackerland umgebrochen werden darf. Allerdings sinkt die verfügbare Grünlandfläche auf Grund von Moorwiedervernässung, Extensivierung und der Etablierung von Agroforstsystemen. Das verfügbare Grünland wird weiterhin für die Wiederkäuerhaltung, insbesondere für die Fütterung von Milchkühen, genutzt.

8.2 Maßnahmen und Instrumente

8.2.1 Preissteuerung auf der Ebene des Endverbrauchs

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Bislang ist die Nachfrageseite für landwirtschaftliche Produkte nicht durch die Klimapolitik geregelt. Diese Lücke wird durch die Einführung der Preissteuerung in CARETarget geschlossen. Diese sieht zunächst vor, den vergünstigten Mehrwertsteuersatz von 7 % für tierische Lebensmittel ab 2030 auf den regulären Satz von 19 %⁴⁴ anzuheben.

Es wird angenommen, dass die resultierende Preissteigerung dazu führt, dass die Gesamtnachfrage nach tierischen Produkten zurückgeht und mehr pflanzliche Lebensmittel konsumiert werden. Durch den ambitionierten Emissionspfad in CARETarget reicht jedoch die alleinige Erhöhung der Mehrwertsteuer nicht aus, da diese keinen ausreichend hohen Preisaufschlag erzeugt (s. u.). Es ist daher zusätzlich noch ein Treibhausgaspreis notwendig, der ab dem Jahr 2035 eingeführt wird und zu einer Verstärkung der Nachfrageänderung beiträgt.

Parametrisierung

Die Höhe des Treibhausgaspreises, die zur Erreichung des Zieles notwendig ist, richtet sich nach den angenommenen Elastizitäten. Diese geben die Änderung der Nachfrage bei Änderungen des Preises an. Eine Preiselastizität von -0,5 bedeutet, dass bei einem Preisanstieg von 1 % die Nachfrage um 0,5 % zurück geht. Der Szenarioberechnung in CARETarget liegen unkompenzierte Eigenpreiselastizitäten für verschiedene Fleischsorten und Milch von Schaper et al. (2025) zugrunde.

Tabelle 22: Produktbezogene Preiselastizitäten, Treibhausgasemissionen und Endverbraucherpreise für die Berechnung für ausgewählte tierische Lebensmittel sowie die resultierenden Preisaufschläge, Eigenpreiselastizitäten und Preisannahmen für verschiedene Fleischsorten und Milch

	Rind- fleisch	Schweine- fleisch	Geflügel- fleisch	Milch	Käse
Unkompenzierte Eigenpreiselastizitäten ¹	-0,937	-0,885	-1,073	-0,881	-0,881
Spezifische Emissionen ² (kg CO ₂ -Äq. je kg Produkt)	21,70	4,64	2,70	1,23	12,12

⁴⁴ Im Rahmen dieser Studie wurde nur die Variante einer 19 %-igen Mehrwertsteuer auf tierische Produkte untersucht. Diese führt zu Mehreinnahmen für den Staat; Geld, das für sozialen Ausgleich oder Gegenfinanzierung von Maßnahmen verwendet werden könnte. Das uba 2025 präferiert dagegen eine andere Variante, nämlich die 19%-ige Mehrwertsteuer auf tierische Produkte in Kombination mit einer MWSt-Senkung auf unverarbeitete oder gering verarbeitete pflanzliche Produkte, die aufkommensneutral ist.

	Rind- fleisch	Schweine- fleisch	Geflügel- fleisch	Milch	Käse
Angenommener Bruttopreis pro Kilogramm im LEH ³	12,11 €	7,90 €	8,27 €	1,09 €	9,14 €
Resultierende Preisaufschläge					
Zusätzlicher MWSt-Betrag	1,26 €/kg	0,88 €/kg	0,84 €/kg	0,12 €/kg	0,98 €/kg
Preisänderung bei 75 €/t CO ₂ -Äq.	1,63 €/kg	0,20 €/kg	0,35 €/kg	0,09 €/kg	0,91 €/kg
Preisänderung bei 145 €/t CO ₂ -Äq.	3,15 €/kg	0,39 €/kg	0,67 €/kg	0,18 €/kg	1,76 €/kg

Quellen:

¹ (Schaper et al. 2025), basierend auf den Daten der EVS 2018

² (Schaper et al. 2025): Emissionen auf Basis von Produktökobilanzen

³ Da die Statistik keine durchschnittlichen Lebensmittelpreise in Euro pro Kilogramm ausgibt, wurden auf Basis einer Internetrecherche Preise im Einzelhandel für z.B. Hackfleisch, Milch, Käse gesammelt und genutzt.

Alle tierischen Lebensmittel werden durch die Aufhebung der Mehrwertsteuervergünstigung um 11,2 % teurer. Dieser Preisanstieg führt dann mithilfe der Elastizitäten zu einem Konsumrückgang. Die Preisaufschläge durch den Treibhausgaspreis ergeben sich dagegen etwas anders: Der Treibhausgaspreis wird als letztes Instrument im Szenario eingeführt. Die Einhaltung der Jahresemissionsmengen werden dabei durch die Justierung des Treibhausgaspreises erreicht: dessen Höhe wird in der Höhe gesetzt, bei der der Konsum und damit die Tierhaltung durch die Preisreaktion so weit zurückgehen, dass der Minderungspfad eingehalten wird. Dabei wird angenommen⁴⁵, dass die verringerte Inlandsnachfrage nicht durch Exporte kompensiert wird. Im Jahr 2035 beträgt der Treibhausgaspreis 10 €/t CO₂-Äq., im Jahr 2040 75 €/t CO₂-Äq. und im Jahr 2045 liegt er dann bei 145 €/t CO₂-Äq.

Für die Treibhausgasabgabe werden produktgezogene Emissionen auf der Basis von Lebenszyklusbilanzen herangezogen und mit dem Treibhausgaspreis multipliziert. Diese sind nicht mit angestrebten Emissionseinsparungen im Landwirtschaftssektor gleichzusetzen, da sie auch Emissionen für Transporte, Verarbeitung und Lagerung umfassen.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Es wird angenommen, dass durch die Einführung einer Preissteuerung auf tierische Produkte die Nachfrage sinkt und in der Folge die Produktion tierischer Lebensmittel entsprechend zurückgeht. Dadurch sinken nicht nur die direkten Emissionen aus der Tierhaltung (Verdauung, Wirtschaftsdüngermanagement), sondern durch den Rückgang wird auch weniger Futterfläche benötigt und es werden Flächen frei, die für die Wiedervernässung der Moorstandorte, die Ausweitung von Biodiversitätsflächen und die Anlage von Agroforstsystemen benötigt werden. Gleichzeitig kann ein Teil des Grünlands durch den geringeren Grünlandbedarf extensiver bewirtschaftet werden. Zudem steht mehr Ackerland für den Anbau von Kulturen für die pflanzliche Ernährung wie z.B. Hülsenfrüchte oder Gemüse zur Verfügung. Durch den Rückgang der Futterproduktion und die Extensivierung der Bewirtschaftung auf den ehemaligen Futterflächen sinkt auch der Stickstoffeinsatz und damit die N₂O-Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden.

Es wird zusätzlich zur Steuerung auf der Verbrauchsebene auch eine politische Regelung für die Landwirtschaft benötigt. Diese muss sicherstellen, dass durch heute getätigte Investitionen z.B.

⁴⁵ Diese Annahme wird getroffen, da das verwendete Modell LiSE nicht mit einem ökonomischen Nachfragemodell gekoppelt ist. Dies erscheint jedoch plausibel, da die Länder im europäischen Binnenmarkt ein gemeinsames EU-Klimaschutzziel verfolgen.

in Stallneubau (z.B. für Tierwohl) oder den Bau von Biogasanlagen für die Wirtschaftsdüngervergärung keine Lock-In Effekte entstehen. Dazu zählen z.B. Maßnahmen für die Abstockung der Tierbestände in den Moorregionen, damit diese für die Wiedervernässung zur Verfügung stehen. Diese werden in Abschnitt 8.2.4 behandelt.

8.2.2 Reduktion der energiebedingten Emissionen

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Zur Reduktion der energiebedingten Emissionen des Landwirtschaftssektors stehen bereits Förderinstrumente zur Verfügung. Neben der Energieeffizienzrichtlinie zur Förderung der Energieeffizienz in Landwirtschaft und Gartenbau wirken auch Instrumente aus anderen Sektoren wie dem Gebäudesektor (Marktanreizprogramme, GEG), dem Energiesektor (EEG) oder dem Verkehrssektor (RED II). Diese Instrumente kommen auch in CARETarget zum Tragen. Durch eine Ausweitung der bestehenden Förderrichtlinien zur Energieeffizienz in Landwirtschaft und Gartenbau durch höhere Fördervolumina ergeben sich höhere Durchdringungsraten bei effizienteren Gewächshäusern, Erntetrocknung sowie in der Tierhaltung und der Elektrifizierung der Innenwirtschaft.

Bei schweren Landmaschinen in der Außenwirtschaft werden vermehrt Biokraftstoffe (2. Generation) genutzt, wenn die Biokraftstoffnachfrage im Straßenverkehr durch hohe Elektrifizierung verringert wird. Als Alternative wird von einer PtL-Nutzung ausgegangen.

Parametrisierung

- ▶ Aufstockung der Fördermittel für Energieeffizienz in Landwirtschaft und Gartenbau (48 Mio. € im Jahr 2022), ab 2025 und Fortschreibung bis 2035, danach wirken andere Instrumente (Ordnungsrecht, BEHG, GEG etc.)
- ▶ Ausweitung der Biokraftstoffnutzung (2. Generation) in schweren Landmaschinen, wenn sie im Verkehrssektor nicht mehr gebraucht werden.
- ▶ Einsatz von PtL in schweren Landmaschinen schrittweise bis 2045, sofern keine Biokraftstoffe verfügbar.

Rückkopplung mit Instrumenten aus anderen Sektoren.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Wirkung wird durch die Einsparung fossiler Energieträger infolge einer effizienteren Nutzung oder des vollständigen Austauschs durch erneuerbare Energien erzeugt. Für die Übersetzung von Fördergeldern in Energieeinsparungen werden Annahmen zur Förderhöhe mit Hilfe von Daten aus der Evaluierung bestehender Fördermittel übertragen. Zusätzlich wirken Maßnahmen aus anderen Sektoren wie z.B. die THG-Quote aus dem Verkehrssektor, welche die Verfügbarkeit des Kraftstoffmixes an der Tankstelle beeinflusst. Daneben wirken Maßnahmen aus dem Gebäudesektor zur Förderung von Energieeffizienz und dem Umstieg auf eine erneuerbare Wärmebereitstellung.

8.2.3 Reduktion der Emissionen durch technische Maßnahmen

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Zunächst kommen technische Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen zum Einsatz. Dazu zählen die bereits in der Umsetzung befindlichen Maßnahmen der Güllevergärung. Hinzu kommt der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion der N₂O-Emissionen aus dem Düngemiteleinsatz oder Futterzusätze zur Reduktion der Methanemissionen aus der

Verdauung. Im Folgenden wird die Parametrisierung für diese Maßnahmen dargestellt. Diese Maßnahmen können anfangs über Fördermittel und später über ordnungsrechtliche Vorgaben realisiert werden.

Parametrisierung

- ▶ Wirtschaftsdüngervergärung: Eine 70 % Güllevergärung nach dem Klimaprogramm 2030 wird in CARETarget bis zum Jahr 2040 erreicht und bezieht sich auf den im Stall anfallenden Wirtschaftsdünger. Dies bedeutet eine Steigerung auf 80 % bei Schweinen und auf 70 % bei Milchkühen und Rindern.
- ▶ Einsatz von Futterzusatzstoffen erfolgt bis ins Jahr 2045 für Milchkühe in einer Durchdringung von 78 % und bei 50 % aller Rinder. Dabei wird jeweils eine langfristige Minderung der Emissionen in Höhe von 15 % angenommen. Durch die Weiterentwicklung und Züchtung werden zusätzlich weitere 5 % CH₄-Minderung aus der Verdauung erzielt. Diese Werte sind an die Werte von ECAMPA3 (Pérez Domínguez et al. 2020) angelehnt und reflektieren die bestehenden hohen Unsicherheiten dieser Verfahren.
- ▶ Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion der N₂O-Emissionen bei der Stickstoffdüngerausbringung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern. Dabei wird in beiden Fällen eine Verringerung der Emissionsfaktoren für N₂O um 24 % angenommen und zusätzlich eine Düngemittleinsparung um 10 % durch die verbesserte Stickstoffausnutzung. Bei Mineraldüngern wird in CARETarget eine vollständige Durchdringung unterstellt, bei Wirtschaftsdüngern 50 %. Die Annahmen sind aus ECAMPA3 (Pérez Domínguez et al. 2020) abgeleitet worden und decken sich mit der Metaanalyse in Biewald et al. (2025).
- ▶ Weitere Maßnahmen wie die Gülleensäuerung wurden nicht einbezogen, da ein großer Anteil des Wirtschaftsdüngers vergoren wird und die Vergärung angesäuerter Gülle technisch herausfordernd ist.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Bei den technischen Minderungen durch Wirtschaftsdüngervergärung, Inhibitoren und Futterzusatzstoffe ist das Wirkungspotenzial durch eine Verringerung der der jeweiligen Emissionsfaktoren⁴⁶ in die Berechnungen einbezogen worden.

Wechselwirkung mit anderen Instrumenten: Mit sinkendem Tierbestand infolge der Preissteuerung auf Verbraucherebene sinkt auch das Minderungspotenzial der technischen Maßnahmen, weil zum Beispiel weniger Wirtschaftsdünger anfallen und weniger Futtermittel angebaut werden müssen.

8.2.4 Strukturelle Änderungen in der Landwirtschaft und Extensivierung

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Im Bereich der strukturellen Änderung und der Extensivierung zeigen vor allem drei Maßnahmen gegenüber dem MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 eine Wirkung. Dazu zählen die Steigerung des Gehölzanteils auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, großflächige

⁴⁶ Emissionen für einzelne Prozesse ergeben sich oft aus dem Produkt von Emissionsfaktor (EF) und Aktivitätsdaten. Als Beispiel sei hier die Gabe eines Futterzusatzstoffes genannt:

Ohne Futterzusatzstoff:

CH₄ aus enterischer Verdauung = Aktivitätsdaten (Anzahl Kühe) * CH₄-EF pro Tier

Mit Futterzusatzstoff:

CH₄ aus enterischer Verdauung = Aktivitätsdaten (Anzahl Kühe) * [CH₄-EF pro Tier * (1- %-Minderung für Zusatzstoff)]

Vernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte, die Ausweitung des Gemüseanbaus und die Steigerung des Leguminosenanbaus.

Die Steigerung des Gehölzanteils in der gesamten Agrarlandschaft erfolgt durch die Anpflanzung von Agroforstsystemen, (streifenförmige) Kurzumtriebsgehölze und Hecken. Alle drei Flächennutzungen führen v.a. zu Kohlenstoffeinbindungen, die jedoch im LULUCF-Sektor bilanziert werden. Doch auch für den Landwirtschaftssektor kommt es zu Treibhausgaseinsparungen, da gegenüber der bisherigen Ackernutzung durch den (weitgehenden) Verzicht auf eine Stickstoffdüngung weniger Lachgasemissionen anfallen. Hier wird davon ausgegangen, dass vor allem Fördermaßnahmen Entwicklung in die Umsetzung bringen. Zusätzlich könnte der freiwillige Kohlenstoffmarkt über Akteure, die nicht aus der Landwirtschaft stammen Geld für die Umsetzung dieser Maßnahme mobilisieren.

Eine vergleichbare Wirkung zeigt die ebenfalls im LULUCF-Sektor angesiedelte Maßnahme der Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte. Durch die nasse Nutzung als Paludikulturen (oder die Nutzungsaufgabe) kommt es auch hier durch die Einstellung der Stickstoffdüngung zur Einsparung von Lachgasemissionen. Diese wird durch eine Kombination von Förderung, Flächenkauf oder Flächentausch und Ordnungsrecht umgesetzt (vergl. Abschnitt 8.2.1). Paludikulturen dienen dem Anbau von Biomasse für die Stoff- bzw. Energienutzung. Bisher dienen die Flächen, die überwiegend als Grünland genutzt werden, als Futterflächen für die Milchkuh- und Rinderhaltung. Durch die Wiedervernässung fällt diese Nutzung weg. Als Reaktion kommt es in den betroffenen Regionen zu einer Verringerung des Tierbestands und zusätzlichen Treibhausgasminderungen. Lediglich die Ausweitung des Gemüseanbaus in Folge erhöhter Nachfrage und durch Förderung (vergl. Instrumente der Nachfrageseite) führt zu einem leichten Anstieg der Stickstoffdüngung und damit Lachgasemissionen auf der betroffenen Fläche. Gleichzeitig sinkt aber auch der Stickstoffbedarf durch die Zunahme von Hülsenfrüchten in der Fruchtfolge.

Insgesamt resultiert eine Nettoeinsparung im Stickstoffeinsatz durch die Summe der strukturellen Änderungen und der Extensivierung.

Parametrisierung

- ▶ Die Förderung von Gehölzstreifen entspricht bis 2030 den Annahmen aus dem MMS der Treibhausgas-Projektionen (Förster et al. 2025a) und erfolgt ab 2030 mit hohen jährlichen Zuwachsraten zwischen 56.000 ha und 77.000 ha jährlich. Bis 2045 werden damit ca. 1,1 Mio. ha als Agroforstsystem bewirtschaftet.
- ▶ Der Moorbodenschutz ist bereits in verschiedenen Programmen verankert und die Umsetzung hat begonnen. Für die Zielerreichung in CARETarget wird eine Intensivierung der Aktivitäten angenommen. Demnach werden bis zum Jahr 2030 5,1 % der Flächen vernässt. Im Jahr 2045 wird ein Vernässungsgrad von 82,4 % erreicht, der bis 2050 noch leicht erhöht wird. Die zeitliche Entwicklung der wiedervernässten landwirtschaftlichen Fläche auf organischen Böden ist in Abbildung 55 dargestellt. Die Abstockung der Rinder in den Moorregionen ist nicht im Rahmen dieser Maßnahme quantifiziert worden, da zeitgleich auch die Verbraucherreaktion durch die Mehrwertsteuer und den Treibhausgaspreis auf der Nachfrageseite wirken.
- ▶ Die Flächen für den Feldgemüseanbau verdoppeln sich bis 2045 gegenüber heute auf rund 230.000 ha. Auch der Leguminosenanbau (Hülsenfrüchte und Futterleguminosen / Zwischenfrüchte) verdoppelt sich fast ggü. heute und nimmt im Jahr 2045 ca. 10 % der Anbaufläche ein.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Von der Anlage der Gehölze sind sowohl der Landnutzungssektor als auch der Landwirtschaftssektor betroffen. Die Parametrisierung erfolgt in Rückkopplung beider Sektormodelle über die Fläche. In der Landwirtschaft werden die Einsparung der Stickstoffdüngung und die damit vermiedenen Lachgasemissionen ermittelt.

Auch bei der Wiedervernässung der Moore sind beide Sektoren, Landwirtschaft und Landnutzung betroffen. Mit der Wiedervernässung entfällt für die Landwirtschaft die Düngung mit den daraus resultierenden Lachgasemissionen und außerdem wird die Stickstofffreisetzung aus der Torfmineralisierung unterbunden. Aus diesem Grund sind die resultierenden Lachgasminderungen pro Hektar höher als bei einem reinen Verzicht auf Düngung.

Um sicherzustellen, dass v.a. auch die Tiere der Milchvieh- und Futterbetriebe der Moorregionen verringert werden, sind zusätzliche Maßnahmen nötig. Hier könnten eine Kombination verschiedener Instrumente mit sog. Push- und Pullfaktoren umgesetzt werden, wie z.B.

- ▶ Moratorium für Investitionen in neue Tierhaltungsanlagen und Güllevergärung in Moorregionen
- ▶ degressive Grünlandbindung für Wiederkäuer auf Moorgrünland
- ▶ Auslaufen der GAP-Förderung von trockengelegten Moorstandorten
- ▶ Förderprogramm für Paludikultur bei gleichzeitiger Aufgabe oder Reduktion der Tierhaltungsplätze
- ▶ Aufkaufprogramme für betroffene Flächen

Das Modell LiSE ermittelt die Düngegabe aus den Düngeempfehlungen für die jeweils angebauten Kulturen. Da die Empfehlungen für Gemüse, über denen der meisten anderen Ackerkulturen liegen, steigen auf diesen Flächen die Lachgasemissionen etwas an. Dagegen sinkt durch die Ausweitung des Leguminosenanbaus der Stickstoffeinsatz auf diesen Anbauflächen, da Leguminosen in der Regel keine weitere Stickstoffdüngung brauchen.

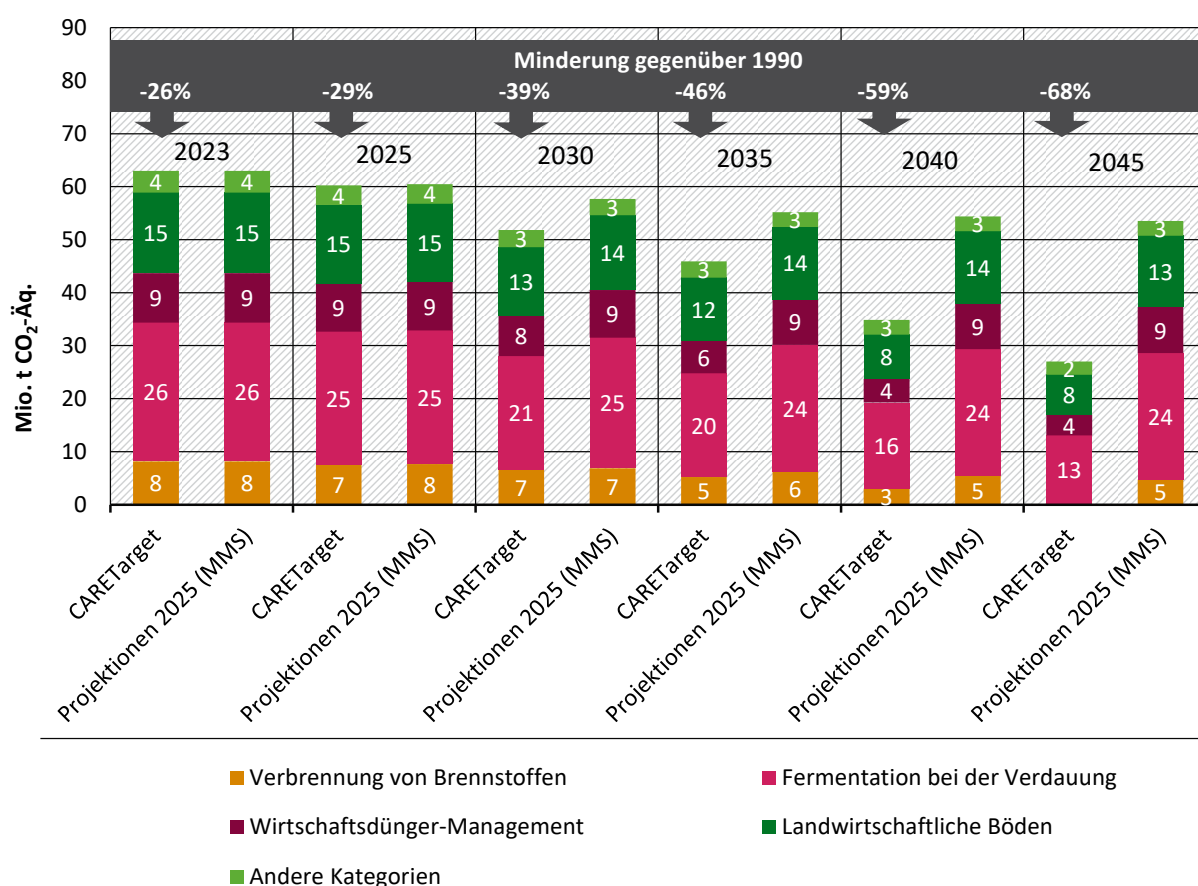
8.2.5 Weitere Maßnahmen

Maßnahmen zur Ausweitung des Ökolandbaus und zur Beibehaltung und Ausweitung von Brachflächen werden wie im MWMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 angenommen und parametrisiert (Förster et al. 2025a).

8.3 Zentrale Ergebnisse

8.3.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

In CARETarget sinken die Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft von 63 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2023 auf 27 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045 (Abbildung 47). **Das entspricht einem Rückgang von -57 % ggü. 2023, ggü. 1990 liegt der Rückgang der Treibhausgasemissionen bei -68 %. Der Rückgang ist auf das wesentlich geringere Produktionsniveau von tierischen Produkten gegenüber heute zurückzuführen. Hier wirkt vor allem der Treibhausgaspreis für tierische Produkte bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern.** Durch den Einsatz von Minderungstechnologien wie der Wirtschaftsdüngervergärung oder Zusatzstoffen im Tierfutter und in Düngemitteln werden die Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion in CARETarget noch weiter gesenkt.

Abbildung 47: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 23 zeigt eine detaillierte Entwicklung der Emissionen für CARETarget. Den stärksten Rückgang verzeichnen die direkten Emissionen aus der Tierhaltung (Verdauung und Düngewirtschaft). Bis zum Jahr 2045 sinken diese Emissionen um 18,7 Mio. t CO₂-Äq. vor allem durch den Rückgang der Tierbestände sowie durch den Einsatz der technischen Minderungen wie der Wirtschaftsdüngervergärung und der Gabe von Zusatzstoffen. Die Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden sinken um -7,6 Mio. t CO₂-Äq. bis 2045 vor allem durch den geringeren Düngemiteleinsatz in Folge einer verbesserten Stickstoffeffizienz und des Einsatzes von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion der N₂O-Emissionen. Gleichzeitig verringert sich die Nachfrage nach Stickstoffdünger durch extensivere Bewirtschaftungsformen wie Ökolandbau, Gehölzstreifen und andere Biodiversitätsflächen. In CARETarget wird die komplette Energieversorgung im Landwirtschaftssektor auf erneuerbare Energien umgestellt und entsprechend sinken die Treibhausgasemissionen aus stationärer und mobiler Feuerung fast vollständig.

Tabelle 23: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft, CARETarget, 2023-2045

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Stationäre und mobile Feuerung	8,2	7,5	6,6	5,2	3,1	0,1

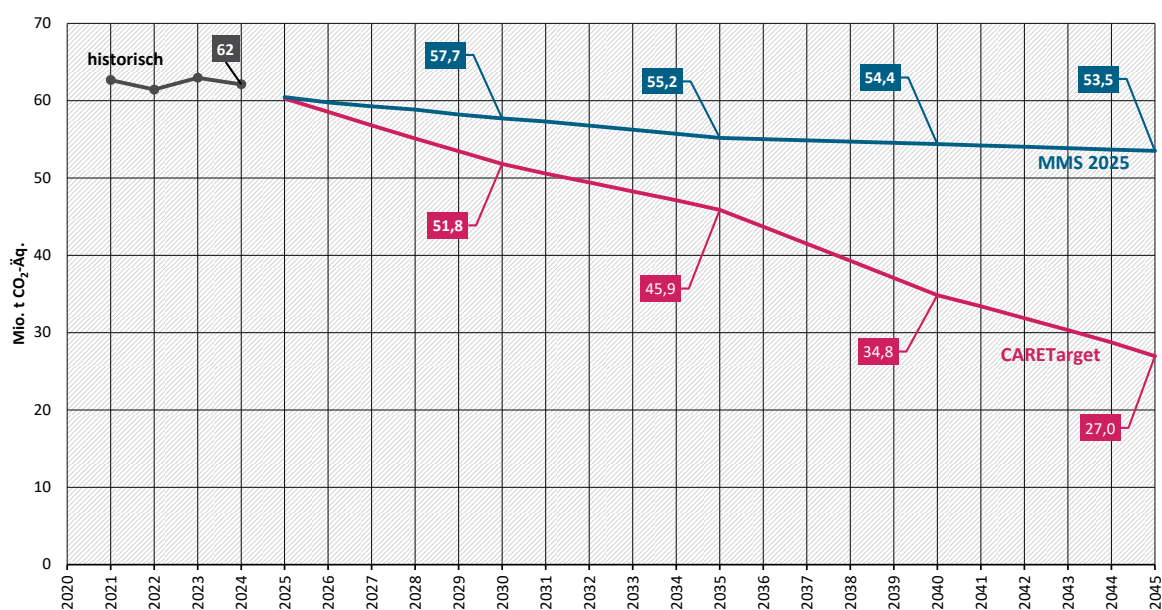
Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Fermentation bei der Verdauung	26,2	25,2	21,4	19,6	16,2	13,0
Wirtschaftsdünger-Lagerung ("Düngerwirtschaft")	9,3	9,2	7,7	6,1	4,5	3,9
Landwirtschaftliche Böden	15,2	14,7	12,9	12,0	8,3	7,6
Kalkung	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9
Harnstoffanwendung	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
Andere kohlenstoffhaltige Dünger	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Andere (Emissionen aus Biogas- Gärresten)	1,6	1,3	0,8	0,6	0,5	0,2
Gesamt	63,0	60,3	51,8	45,9	34,9	27,0
Minderung gegenüber 1990	-25,9 %	-29,1 %	-39,0 %	-46,0 %	-59,0 %	-68,3 %

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes für das Jahr 2030 in Bezug auf die Jahresemissionsmengen werden übererfüllt. In CARETarget liegen die Emissionen mit 52 Mio. t CO₂-Äq. 7 % unterhalb des Zielwertes von 56 Mio. t CO₂-Äq. Kumuliert liegt die Übererfüllung der Jahresemissionsmengen bei 38,3 Mio. t CO₂-Äq. über den Vorgaben bis 2030 (Abbildung 48). Damit können 17,7 Mio. t CO₂-Äq. mehr eingespart werden als im MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025.

Für die Jahre nach 2030 liegen keine gesetzlichen Ziele für den Sektor Landwirtschaft vor.

Abbildung 48: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045

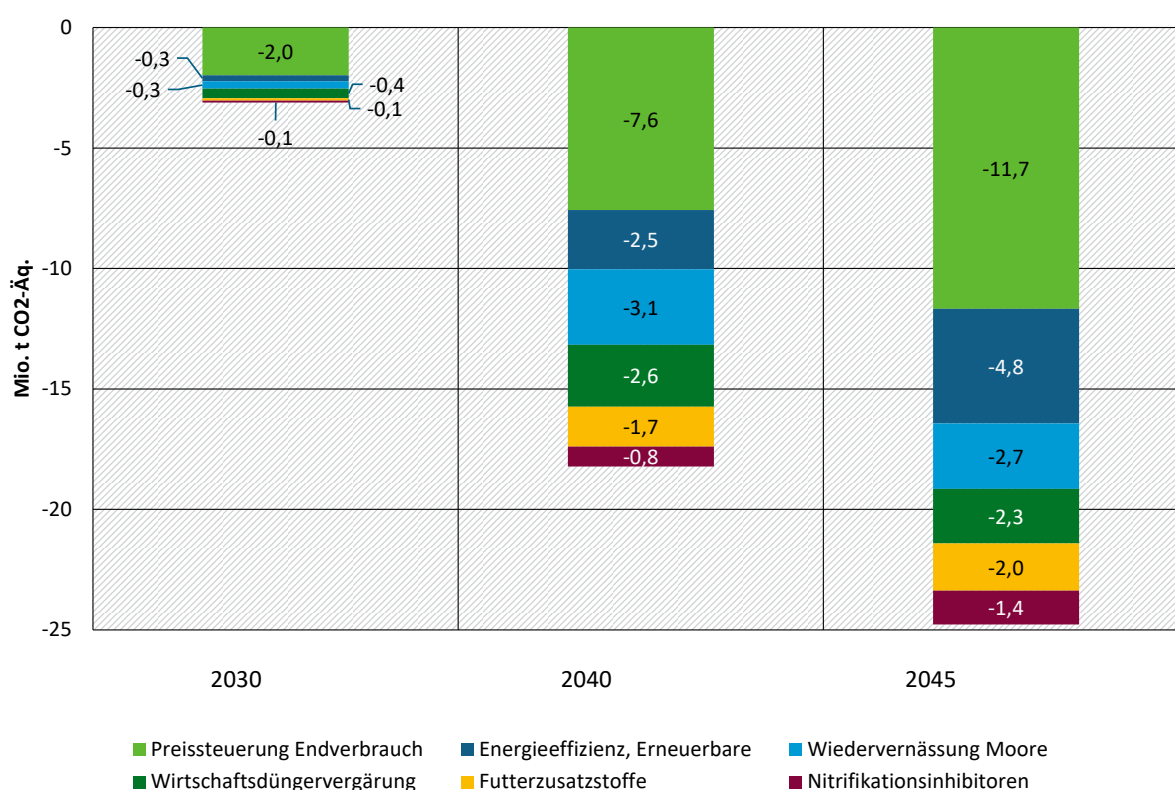


Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Die folgende Abbildung 49 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasminderungen der einzelnen Maßnahmen ggü. dem MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025. Der Großteil der Minderungen

wird in allen Jahren über die Preissteuerung durch die Verteuerung der tierischen Produkte erzielt. Analog zu der Nachfrageänderungen sinken die Produktion der tierischen Produkte und damit die Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung. Im Jahr 2045 lassen sich rund 46 % der Gesamtminderung auf die Preissteuerung zurückführen, danach folgt mit 19 % die Reduktion der Emissionen im Bereich der energiebedingten Emissionen. Der Beitrag der strukturellen Maßnahmen (z.B. Wiedervernässung, Agroforst) an der gesamten Minderung liegt bei 13 %. Die technischen Maßnahmen wie die Wirtschaftsdüngervergärung oder der Einsatz von Zusatzstoffen tragen 22 % bei. Bezogen auf die landwirtschaftlichen Emissionen (ohne Energie) liegt die Minderung, die man über die hier berücksichtigen technischen Maßnahmen im Jahr 2045 erreichen kann, bei 17,2 %⁴⁷.

Abbildung 49: Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft im Vergleich zum MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025, 2030-2045



Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut

8.3.2 Entwicklung der Flächennutzung

Tabelle 24 zeigt die Entwicklung der Flächennutzung für die extensiven Bewirtschaftungsformen in CARETarget. Es verändert sich die Flächennutzung zugunsten von Gehölzstreifen, Brachflächen sowie der Wiedervernässung von Moorstandorten. Auch der Anteil des Ökolandbaus steigt weiter an und erreicht bis zum Jahr 2040 einen Anteil von 18 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF). Dies entspricht dem Referenzszenario, wie im 50Narrativ erläutert. Im Jahr 2045 sind insgesamt 17 % der LF in Form von wiedervernässten Mooren, Gehölzstrukturen und Brachflächen belegt und tragen zur Förderung der Biodiversität

⁴⁷ Minderungswirkung aus Wirtschaftsdüngervergärung, Nitrifikationsinhibitoren, Futterzusatzstoffe: 5,6 Mio. t CO₂-Äq., Emissionen Landwirtschaft ohne Energie: 26,9 Mio. t CO₂-Äq., Anteil technische Maßnahmen: 5,6 Mio. t CO₂-Äq./ (26,9+5,6)= 17,2 %.

bei. Das Ziel der Biodiversitätsstrategie, auf 10 % des Agrarlands hohe Biodiversitätsstandards zu etablieren, wird ab dem Jahr 2040 erreicht.

Tabelle 24: Entwicklung der Flächennutzung in CARETarget, 2022-2045

	2022/2023	2030	2040	2045
Landwirtschaftliche Nutzfläche	16,6	16,4	16,2	16,2
Ökolandbau	1,9	2,9	2,9	2,9
Gehölzstreifen	k.A.	0,36	0,7	1,1
Wiedervernässte Moore	k.A.	0,1	1,0	1,1
Brachfläche etc.	0,4	0,5	0,5	0,5

Quelle: (destatis 2025), Modellrechnungen Öko-Institut

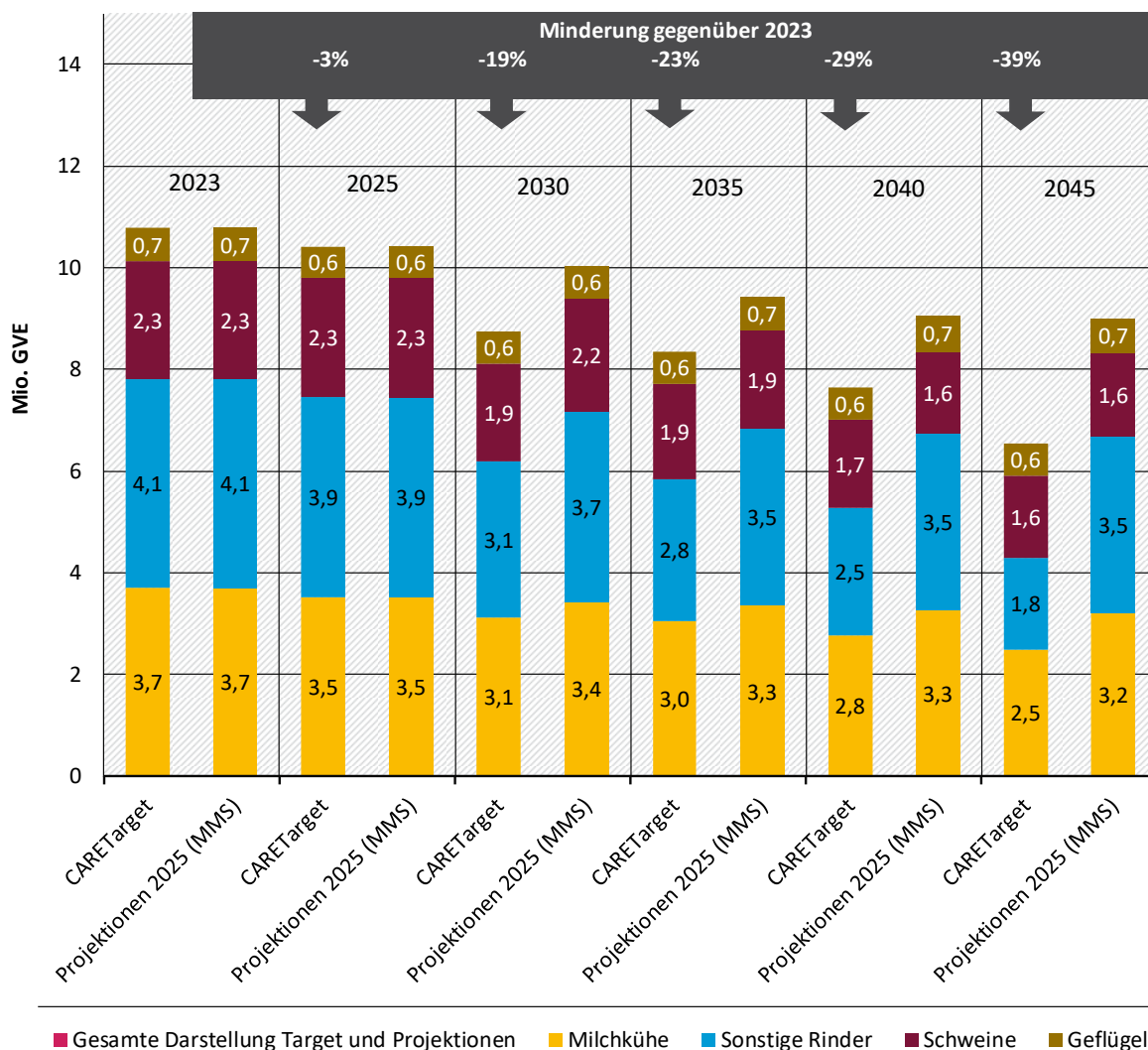
8.3.3 Entwicklung der Nutztierbestände und der Produktion tierischer Produkte

Die Tierbestände sinken in CARETarget auf Grund der sinkenden Nachfrage durch die Einführung von Preisinstrumenten für tierische Lebensmittel: bis zum Jahr 2045 sinken die Nutztierbestände (gemessen in Großvieheinheiten GVE⁴⁸) um 39 % ggü. 2023. In CARETarget sinken vor allem die Bestände der sonstigen Rinder⁴⁹ (-56 %), da angesichts der hohen spezifischen Treibhausgasemissionen pro Kilogramm Rindfleisch die Nachfrage hier am stärksten sinkt. Auch die Milchkuhbestände verringern sich um 33 %, die Schweinebestände sinken um 30 % ggü. 2023. Nur die Geflügelbestände gehen mit 5 % eher moderat zurück. Mit der Einführung des regulären Mehrwertsteuersatzes von 19 % für tierische Produkte steigt deren Preis und die Nachfrage sinkt. Nach 2030 wird zusätzlich zur Mehrwertsteuererhöhung ein Treibhausgaspreis eingeführt, der das Angebot für tierische Produkten schrittweise weiter verteuert und damit die Nachfrage bis 2045 kontinuierlich reduziert. Die Tierbestände sinken entsprechend der Nachfrageentwicklung.

Der Einfluss der Elastizitäten auf die Höhe des Treibhausgaspreises wird im Abschnitt zu den Unsicherheiten der Ergebnisse diskutiert (Abschnitt 8.3.6).

⁴⁸ Nach Angaben des BMLEH wird die Großvieheinheit (GV) als Umrechnungsschlüssel verwendet, um verschiedene Nutztiere auf Basis ihres Lebendgewichtes zu vergleichen. Eine Großvieheinheit entspricht 500 Kilogramm und damit in etwa dem Lebendgewicht eines ausgewachsenen Rindes. Vergleiche <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tierhaltung/viehbestand>.

⁴⁹ Dies sind alle Tiere außer den Milchkühen, also Jungtiere zur Nachzucht, männliche Tiere über zwei Jahren und Mutterkühe.

Abbildung 50: Entwicklung der Tierbestände Landwirtschaft, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Der mit dem Rückgang der Tierbestände verbundene Produktionsrückgang in CARETarget fällt für alle tierischen Produkte stark aus. Die Rindfleischproduktion sinkt bis zum Jahr 2045 um 47 % und damit etwas weniger als die Zahl der Tiere. Der Grund dafür liegt v.a. in der Verbesserung der Nachzucht und der Tiergesundheit, womit weniger Jungtiere auf die gleiche Zahl ausgemästeter bzw. adulter Tiere gehalten werden. Die Milchproduktion sinkt auf Grund der geringen spezifischen Treibhausgasemissionen im Vergleich zu Rindfleisch nur um -31 % ggü. 2023. Auch dieser Wert ist etwas geringer als der Rückgang der Tiere (33 %) und liegt am geringfügigen Zuwachs in der Milchleistung. Die Produktion von Schweine- und Geflügelfleisch verhält sich analog zum Rückgang der Tierbestände (Tabelle 25).

Tabelle 25: Entwicklung der Produktion tierischer Produkte in Deutschland in CARETarget, 2023-2045

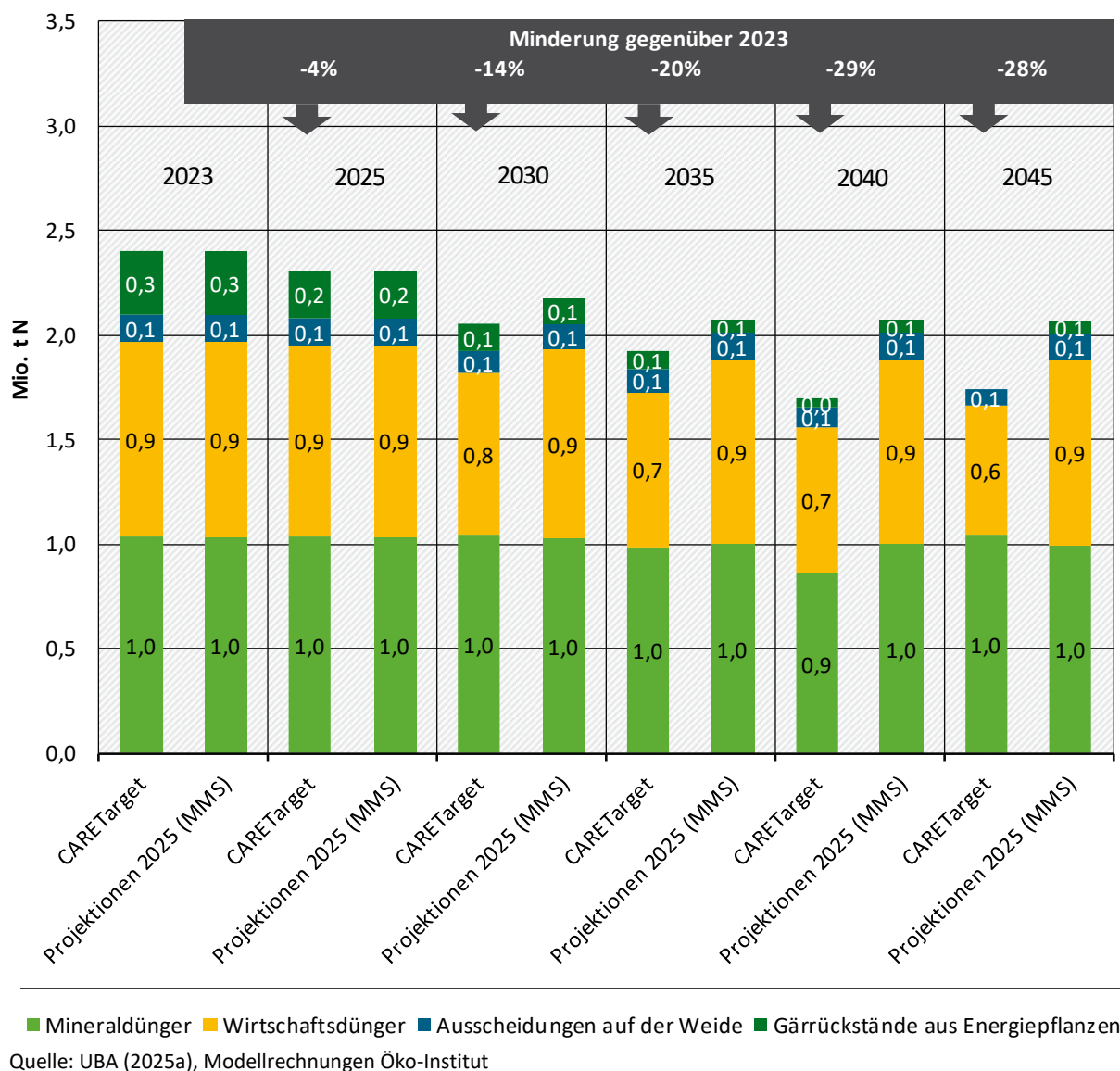
Produkt	Einheit	2023	2030	2045
Milch	Mio. t Milchäquivalent	31,4	27,0	21,5
Rindfleisch	Mio. t Schlachtgewicht	1,0	0,9	0,5

Produkt	Einheit	2023	2030	2045
Schweinefleisch	Mio. t Schlachtgewicht	3,9	3,0	2,7
Geflügel	Mio. t Schlachtgewicht	1,7	1,6	1,6

Quelle: Modellergebnisse Öko-Institut, (BLE 2025)

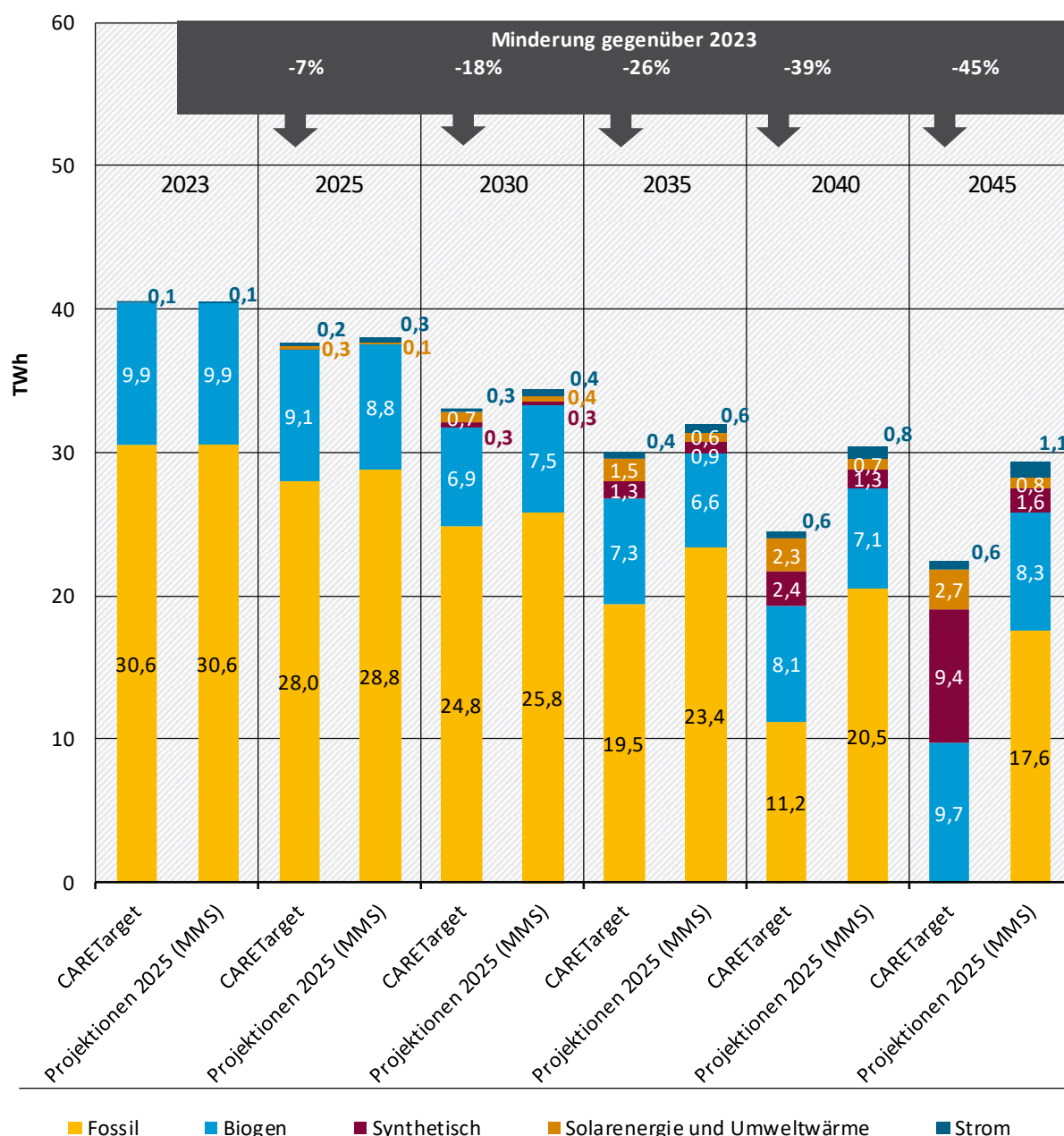
8.3.4 Entwicklung der Stickstoffeinsätze

In CARETarget sinken die Stickstoffeinsätze bis zum Jahr 2045 um 28 % ggü. 2023. Gründe für den Rückgang sind die Verbesserung der Stickstoffeffizienz, die Reduktion der Tierbestände und des Gärresteinsatzes aus Energiepflanzen sowie aufgrund von Extensivierungsmaßnahmen wie der Ausweitung des Ökolandbaus, der Brachflächen, der Gehölzstrukturen und der Wiedervernässung von Moorstandorten. Bis 2030 können die Stickstoffeinsätze um -14 % reduziert werden. Der Einsatz des Mineraldüngers bleibt auf einem relativ konstanten Niveau und gleicht die rückläufigen Entwicklungen beim Wirtschaftsdüngereinsatz und bei den Energiepflanzengärresten aus. Im Jahr 2045 steigt der Mineraldüngereinsatz gegenüber 2040 sogar wieder leicht an, was vor allem auf die erhöhte Nachfrage aus dem Gemüseanbau zurückzuführen ist. Hier verdoppeln sich die Gemüseanbauflächen ggü. heute.

Abbildung 51: Entwicklung der Stickstoffeinsätze, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

8.3.5 Entwicklung des landwirtschaftlichen Energieverbrauchs

In CARETarget sinkt der Energieverbrauch bis zum Jahr 2045 um 45 % ggü. 2023, gleichzeitig findet ein Brennstoffwechsel auf erneuerbare Energien statt, sodass der Energieverbrauch der Landwirtschaft bis zum Jahr 2045 nahezu vollständig dekarbonisiert wird (Abbildung 52). Die Reduktion des Energieverbrauchs erfolgt durch die Ausweitung der Energieeffizienz, aber auch durch eine Verringerung des Bedarfs, z. B. weniger Stallheizungen und Milchkühlung durch Verringerung der Tierbestände und die Ausweitung von extensiven Landnutzungen und Biodiversitätsflächen, was einen geringeren Einsatz von Landmaschinen erfordert.

Abbildung 52: Entwicklung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

8.3.6 Unsicherheiten und Diskussion

In CARETarget werden ca. 3,4 Mio. t CO₂-Äq. bzw. 13 % der Minderungen durch den Einsatz von Zusatzstoffen (z.B. Futterzusatzstoffe, Nitrifikationsinhibitoren) erreicht. Diese hohe Rate ist v.a. auf das Szenarionarrativ zurückzuführen, das einen Fokus auf die zügig umsetzbaren Minderungstechniken legt, wozu insbesondere diese nichtinvestiven Maßnahmen zählen. Allerdings bestehen beim Einsatz von Zusatzstoffen Unsicherheiten, die im Folgenden erläutert werden. Der Beitrag der Zusatzstoffe zur Erreichung von Klimazielen im Landwirtschaftssektor ist daher offen. Sollten die aufgeführten Unsicherheiten auch nach weiteren Forschungen bestehen bleiben, müssen die durch die Zusatzstoffe berechneten Minderungswirkungen anderweitig erreicht werden, um den vorgegebenen Minderungspfad zu erreichen. Angesichts

der begrenzten Verfügbarkeit technischer Optionen im Landwirtschaftssektor käme hier wahrscheinlich nur eine weitere Reduktion der Tierbestände in Frage.

8.3.6.1 Futterzusatzstoffe

Etwa zwei Drittel dieser Emissionsminderung (2,0 Mio. t CO₂-Äq.) entfällt auf Futterzusatzstoffe. Angenommen wird hier ein hoher Durchdringungsgrad mit 78 % aller Milchkühe und 50 % aller Rinder. Angesichts fehlender langfristiger Messdaten über größere Bestände, ist deren Einsatz jedoch mit Unsicherheiten behaftet, insbesondere in Bezug auf die zentrale Größe, nämlich das langfristig anzunehmende Minderungspotenzial. In Fütterungsversuchen wurde eine zeitlich nachlassende Wirkung beobachtet. Das Minderungspotenzial liegt in Deutschland bei ca. 15 %, da es bei tier- und umweltgerechter Fütterung mit einem hohen Grasanteil geringer ist als bei reiner Maissilage (Kuhla 2025). Damit könnte der Einsatz die Verringerung des Faseranteils und die Erhöhung des Kraftfutteranteils in der Fütterung weiterfördern.

Die Einnahme könnte auch mit Risiken für die Tiergesundheit verbunden sein. Hohe Dosierungen ermöglichen höhere Methanminderungen, für die jedoch auch höhere Buttersäure- und Alkoholkonzentration im Pansen beobachtet wurden. Weitere Risiken betreffen Hautirritationen von Augen und Nase und mögliche Gentoxizität (Kuhla 2025). Inwiefern die hohen Durchdringungsraten realisierbar sind, hängt auch von der Akzeptanz des Einsatzes auf den landwirtschaftlichen Betrieben ab sowie von den Endverbraucherinnen und -verbrauchern. Aspekte zur Tiergesundheit und v.a. aber mögliche Rückstände in der Milch verringern diese bisher. Insbesondere, wenn die Molkereien keine Kennzeichnung der Produkte vornehmen (beispielsweise Beschwerden und Boykottaufrufe von Kund*innen in Großbritannien gegen die Molkerei Arla⁵⁰). Hinzu kommt als weitere Herausforderung die bisher noch ungeklärte Methodik der Nachweisführung im Rahmen von Treibhausgasbilanzen bzw. -inventaren, da die Minderungen zum einen von der Zusammensetzung des Futters abhängen (Gras- oder Ackerfutterbetont) und zum anderen davon, dass der Futterzusatzstoff richtig dosiert verabreicht wird. Eine Kaufquittung als Nachweis erscheint vor diesem Hintergrund als nur wenig zufriedenstellend.

8.3.6.2 Nitrifikationsinhibitoren

Das andere Drittel (1,4 Mio. t CO₂-Äq.) der Minderungen von Zusatzstoffen wird durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren erreicht. Auch hier wird im Rahmen von CARETarget ein großflächiger Einsatz angenommen. Bei Mineraldüngern wird eine vollständige Durchdringung unterstellt, bei Wirtschaftsdüngern eine 50 %-ige. Wie bei den Futterzusatzstoffen gilt auch hier, dass der Einsatz mit großen Unsicherheiten sowohl mit Blick auf die langfristige Wirksamkeit als auch mit Blick auf die Risiken für Umwelt und Gesundheit einhergehen. Einen guten Überblick über die Defizite im Umgang mit diesen Stoffen bietet eine Metastudie von Biewald et al. (2025). Demnach müssen Nitrifikationsinhibitoren persistent sein, um wirksam zu sein. Dadurch können sie in tiefere Bodenschichten sowie in Grund- und Oberflächengewässer gelangen. Angesichts dieser Eigenschaften ist eine sorgfältige Zulassung besonders wichtig. Bisher bleiben die Zulassungsverfahren für diese Stoffe deutlich hinter denen für Pflanzenschutzmittel zurück, obwohl auch diese Stoffe für eine gezielte Ausbringung in die Umwelt hergestellt werden. Die Zulassung erfolgt über das REACH und entspricht damit eigentlich der Zulassung von anderen Gütern, die nicht direkt in die Umwelt eingebracht werden (z.B. Farben, Lacke). Die möglichen Risiken einer großflächigen Ausbringung für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sind daher nicht ausreichend gut untersucht. Beispielsweise sind

⁵⁰ <https://www.topagrar.com/rind/news/shitstorm-gegen-arla-wegen-methan-reduzierter-milchviehfutterung-mit-bovaer-a-20009467.html>

einige der Stoffe als reproduktionstoxisch eingestuft sind, was die Zulassung als Pflanzenschutzmittel ausschließen würde. Auch werden Wirkungen für Boden- und Wasserorganismen nicht ausgeschlossen.

Die Wirksamkeit wird in CARETarget mit einer Verringerung der N₂O-Emissionen um 24 % angenommen, durch die verbesserte Stickstoffeffizienz können außerdem zusätzlich 10 % des Stickstoffs eingespart werden. Jedoch fehlt für die meisten Substanzen ein Beleg für die Dauerhaftigkeit der Wirkung, da bisher nur wenige Studien die Minderungswirkung über mehrere Jahre betrachten. Um auszuschließen, dass eine Anpassung der Bodenorganismen stattfindet, die die Wirksamkeit reduziert. Ebenso fehlen ganzjährige Studien, da Stickstoffumsätze und damit Lachgasemissionen, auch außerhalb der Vegetationszeit auftreten. Auch ist die Abdeckung der Variabilität der Standorte nur unzureichend.

8.3.6.3 Verbraucherreaktion

In CARETarget ist die Verbraucherreaktion ausschließlich auf Basis von Preissteigerungen über eine Veränderung der Mehrwertsteuer und einem Treibhausgaspreis für tierische Produkte auf der Ebene des Konsums erhoben worden. Eine Differenzierung in unterschiedliche Verkaufswege (Lebensmitteleinzelhandel, Außer-Haus-Verzehr) ist dabei nicht vorgenommen worden.

Auch sind die Kosten für technische Maßnahmen darin bisher nicht widerspiegelt. Werden diese anfangs über Förderung eingeführt, ist davon auszugehen, dass die Kosten sich nicht nennenswert in den Produktpreisen widerspiegeln. Im späteren Verlauf können die technischen Maßnahmen auch durch Ordnungsrecht ausgeweitet werden. Sollten die Kosten den Produktionspreis erhöhen, könnte der Treibhausgaspreis entsprechend geringer ausfallen, um die gleiche Emissionsminderung bei den angenommenen Preiselastizitäten zu erreichen.

Allerdings ist die Aussagekraft der Entwicklung von Preiselastizitäten für Lebensmittel angesichts der Studienlage begrenzt. Dies liegt darin begründet, dass sowohl die verwendeten Methoden der Nachfragemodelle als auch die Datensätze (räumlicher und zeitlicher Bezug) selten übereinstimmen und somit der Vergleich zwischen verschiedenen Studien, wie auch die zeitliche Fortschreibung⁵¹ von Elastizitäten erschwert ist.

In der Vergangenheit haben viele Analysen für Deutschland auf die Elastizitäten von Thiele (2008) verwiesen. Allerdings basieren diese auf den Zahlen der EVS 2003. Eine neuere Auswertung stammt von Schaper et al. (2025), die auf der Basis eines Nachfragemodells und den Daten der EVS 2018 entstanden sind und mit Blick auf Datenbasis und Methode an die Werte von Thiele (2008) anschließen. Schaper et al. (2025) weisen gegenüber Thiele (2008) folgende Veränderungen über die Zeit auf, die sich auch schlüssig erklären lassen: Die Preiselastizitäten für Geflügelfleisch und Rindfleisch sind über die Zeit gestiegen, die Produkte werden also eher ausgetauscht. Bei Schweinefleisch ist der Wert gleichgeblieben – trotzdem haben hier große Konsumrückgänge stattgefunden, die sich möglicherweise unabhängig vom Preis erklären lassen (z.B. Tierwohl, Wahrnehmung von Schweinefleisch im Rahmen einer gesunden Ernährung o.ä.). Bei Milch ist der Wert dagegen gesunken, was möglicherweise mit der steigenden Nachfrage nach Käse zusammenhängt und teilweise als Fleischalternative dient.

Die Verbraucherreaktion wird in dieser Analyse als einheitlicher Wert über die gesamte Bevölkerung angewendet, es werden keine Differenzierungen nach Einkommensgruppen vorgenommen und damit auch keine sozialen Effekte beziffert. Eine diesbezüglich differenzierte

⁵¹ Diese können ansteigen, wenn kostengünstige Ersatzprodukte auf dem Markt sind, d.h. dass die Verbraucher*innen mit stärkeren Verbrauchsveränderungen auf Preisveränderungen reagieren. Ein weiterer wichtiger Faktor ist auch der Anteil, den die Ausgaben für ein Produkte bzw. eine Produktgruppe am Haushaltseinkommen hat.

Aussage ist aufgrund mangelnder Datengrundlagen derzeit nicht ohne weiteres möglich (Teufel et al. 2025).

Der Vergleich von Elastizitäten aus verschiedenen Studien zeigt große Unterschiede (siehe Tabelle 26). Vor allem die Elastizitäten aus der Studie der CE Delft (Korteland et al. 2023) liegen wesentlich niedriger als die Elastizitäten der anderen Studien. Bei fast allen Produkten liegen die Elastizitäten nur halb so hoch wie in den anderen Studien. Hier kann z.B. ein unterschiedliches Vorgehen bei der Ermittlung der Elastizitäten ausschlaggebend für die großen Unterschiede zu den anderen Studien sein.

Tabelle 26: Vergleich von unkompenzierten Eigenpreiselastizitäten tierischer Lebensmittel aus unterschiedlichen Studien

	Geflügelfleisch	Schweinefleisch	Rindfleisch	Milch
Thiele 2008	-0,53	-0,83	-0,69	-1,0
CE Delft 2023	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Schaper et al. 2025	-1,07	-0,88	-0,94	-0,88
Springmann et al. 2025	-0,86	-0,66	-0,95	-0,84

Quelle: Thiele (2008), Korteland et al. (2023), Schaper et al. (2025), Springmann et al. (2025)

Die Höhe des Treibhausgaspreises, der für die Erreichung der vorgegebenen Jahresemissionsmengen aufgerufen werden muss, reagiert sehr sensitiv auf die angenommenen Elastizitäten. Die folgende Tabelle vergleicht den in dieser Studie berechneten Treibhausgaspreis mit dem Preis, der sich bei Verwendung niedrigerer Elastizitäten, wie sie beispielsweise von CE Delft angenommen werden, ergeben würde. Neben dem Treibhausgaspreis wirkt in allen Jahren zusätzlich die Anpassung der Mehrwertsteuer auf tierische Produkte. In CARETarget liegen die Jahresemissionsmengen ab 2030 unter dem Emissionspfad des MMS der Treibhausgas-Projektionen 2025. D.h. über technische Minderungen und Preissignale für Verbraucher*innen muss diese Lücke geschlossen werden. Ein Teil wird durch die Umsetzung technischer Maßnahmen oder durch die strukturelle Änderung der Produktion (Vernässung der Moorstandorte, Agroforstsystemen) erreicht (Abbildung 49). Der verbleibende Rest wird schließlich über Preisinstrumente adressiert, die direkt beim Verbrauch ansetzen,

Der Vergleich in Tabelle 27 zeigt, dass durch die unterschiedlichen Elastizitäten der Treibhausgaspreis zwischen 35 €/t CO₂-Äq. und 65 €/t CO₂-Äq. höher liegen müsste, wenn die Verbraucher*innen mit geringeren Änderungen auf Preissignale reagieren würden als in CARETarget angenommen. Damit wird auch die Unsicherheit deutlich, die mit der Festlegung eines Treibhausgaspreises auf tierische Produkte und der Nachfrageänderung einhergeht.

Tabelle 27: Vergleich des Treibhausgaspreises bei unterschiedlichen Elastizitäten, 2040-2045

Elastizitäten	2040	2045
Notwendige Treibhausgasminderung durch Preiseffekte	7,6 Mio. t CO ₂ -Äq.	11,7 Mio. t CO ₂ -Äq.
Treibhausgaspreis bei Scharper et al.	75 €/t CO ₂ -Äq.	145 €/t CO ₂ -Äq.
Treibhausgaspreis bei CE Delft	110 €/t CO ₂ -Äq.	210 €/t CO ₂ -Äq.

Quelle: Eigene Berechnungen, Öko-Institut

Weitere Unsicherheiten betreffen die Reaktionen der nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette. Diese könnten zum Teil auf vegetarische Ersatzprodukte ausweichen und auch ist es möglich, dass der Treibhausgasaufschlag nur teilweise an die Kundschaft weitergereicht wird und zu einem anderen Teil den Kostendruck bei den landwirtschaftlichen Betrieben erhöht. Trotz dieser Unsicherheiten und Risiken erscheint der Ansatz der Preissteuerung geeignet, um bei tierischen Produkten eine Lenkungswirkung zu entfalten. Für die politische Umsetzung müsste bei der Ausgestaltung insbesondere darauf geachtet werden, dass eine Anpassung der Höhe des Treibhausgaspreises unkompliziert möglich ist, z.B. im Rahmen einer ergänzenden Verordnung.

9 Abfallwirtschaft und Sonstiges⁵²

9.1 Narrativ

Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden entsprechend der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars nur die nicht energiebedingten Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft adressiert (CRT-Kategorie 5)⁵³. Dazu zählen die Methanemissionen aus der Ablagerung von Abfällen (insbesondere auf sog. Altdeponien), Methan- und Lachgasemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung, sowie aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Zudem werden Methan- und Lachgasemissionen aus der Abwasserbehandlung berücksichtigt. Emissionen aus der Stromerzeugung durch Müllverbrennung werden der Energiewirtschaft bzw. der Industrie zugerechnet und dort bilanziert, Maßnahmen mit Bezug auf Recycling von nicht-organischen Stoffen werden im Sektor Industrie bilanziert. Daher werden Maßnahmen wie das Verpackungsgesetz oder auch die Gewerbeabfallverordnung nicht im Bereich der Abfallwirtschaft (CRT-Kategorie 5) analysiert, sondern in den Sektoren Energie und Industrie mitbilanziert. Ziel in CARETarget ist es, vornehmlich, entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, die sektorübergreifenden Gesamtminderungen in den Zieljahren zu erreichen. In den Sektoren dienen sektorale Jahresemissionsmengen vom Auftraggeber als Orientierungsrahmen für die Modellierung.

Aufgrund der lang ablaufenden organischen Prozesse im Abfallsektor, ist eine vollständige Dekarbonisierung auch in ambitionierten Szenarien nicht möglich. Im Szenario CARETarget wird daher angestrebt, die Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft und Sonstige auf 3 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045 zu reduzieren. Hierbei werden eine Reihe ambitionierter Maßnahmen und Instrumente untersucht, welche im folgenden Abschnitt 9.2 näher beschrieben werden.

9.2 Maßnahmen und Instrumente

9.2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz ist am 1. Juni 2012 in Kraft getreten. Durch Umsetzung der fünfstufigen Abfallhierarchie der EU-Abfallrahmenrichtlinie wird dem Recycling eine höhere Bedeutung als der energetischen Verwertung beigemessen. Dies führt vornehmlich zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen in anderen Sektoren wie dem Industrie- und im Energiesektor. Für die Verringerung der Emissionen des Abfallsektors sind vor allem die organischen Abfälle relevant. Gemäß der Novelle dieser Richtlinie aus dem Jahr 2018 müssen ab dem Jahr 2025 mindestens 55 % aller Siedlungsabfälle recycelt werden. Seit 1.1.2015 sind zudem nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz überlassungspflichtige Bioabfälle aus privaten Haushaltungen flächendeckend getrennt zu erfassen und zu verwerten. Seitdem haben zahlreiche weitere Landkreise und Kommunen die getrennte Bioabfallerfassung und -verwertung neu eingeführt. Eine vollständige Getrenntfassung ist jedoch noch nicht umgesetzt. Bislang sind ca. 55 % der Einwohner Deutschlands an die getrennte Bioabfallerfassung angeschlossen. Entsprechend der Zielsetzung der Klimaneutralität sollte die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen für die energetische Nutzung gesteigert werden. Heute wird ein Großteil

⁵² Teile dieses Kapitels sind Harthan et al. (2025) entnommen.

⁵³ Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges umfasst im Bundes-Klimaschutzgesetz neben der Quellgruppe CRF 5 auch CRF 6 (Sonstige). Aktuell werden in Deutschland jedoch keine Emissionen in der CRF-Kategorie 6 berichtet.

der Bioabfälle kompostiert. Im Szenario wird daher von einem Anstieg der Vergärung von Bioabfällen ausgegangen.

Parametrisierung

Für die Entwicklung der getrennt erfassten Abfallmengen des Bioabfalls werden die Potenzialschätzungen aus der Studie „BioRest. Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem“ (Fehrenbach et al. 2019) für Biogut und Grüngut aus dem BAU-Szenario für das Jahr 2030 übernommen. Damit wird 2030 für Biogut mit 6,5 Mio. t Frischmasse (FM) (ggü. 4,19 Mio. t FM im Jahr 2015) und für Grüngut mit 5,5 Mio. t FM (ggü. 4,65 Mio. t FM im Jahr 2015) gerechnet. Alle weiteren Mengen werden gegenüber der aktuellen Statistik konstant gehalten. Annahmen zur Reduktion von Lebensmittelabfällen werden in Kapitel 8 getroffen.

Entsprechend der Zielsetzung der Klimaneutralität sollte die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen für die energetische Nutzung gesteigert werden. Heute wird ein Großteil der Bioabfälle kompostiert. Im Szenario CARETarget wird daher von einem Anstieg der Vergärung von Bioabfällen bis zu einem Anteil von 70 % ausgegangen. Derzeit werden 38 % vergoren und 62 % kompostiert.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Durch die verstärkte Getrenntsammlung von organischen Abfällen sinkt ihre Menge in der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Gleichzeitig steigt jedoch entsprechend die Menge an Bioabfällen, die behandelt werden müssen. Hierbei wird in Bezug auf die entstehenden Emissionen zwischen Kompostierung und Vergärung unterschieden: der Emissionsfaktor der Kompostierung ist niedriger als derjenige der Vergärung. Werden Bioabfälle aber vergoren, kann das dabei entstehende Biogas im Anschluss energetisch verwendet werden und somit Emissionen der Energieerzeugung verringern.

9.2.2 Reduktion von Lebensmittelabfällen und -verlusten

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Als sektorübergreifende Maßnahme wird im Klimaschutzprogramm 2030 die Reduktion der Lebensmittelabfälle genannt. Die Bundesregierung hat eine Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung beschlossen, mit dem Ziel, die Lebensmittelabfälle bis 2030 zu halbieren (BMEL 2023). Während der Treibhausgasminderungseffekt dieser Maßnahme in anderen Sektoren schwer zu quantifizieren ist, wirkt diese Maßnahme direkt auf die Emissionen des Abfallsektors. Die Nationale Strategie setzt auf die Einbeziehung aller betroffenen Akteure entlang der Produktions- und Lieferkette und zunächst auf freiwillige Maßnahmen und Vereinbarungen. Je nach dem Erfolg dieser Maßnahmen könnten weitere Instrumente eingeführt werden. In Betracht kommen auch Instrumente, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette wirksam werden, wie z.B. die Abschaffung von gesetzlichen wie außergesetzlichen Handelsnormen (z.B. für Obst und Gemüse) oder ein Wegwerfverbot von unverkauften und weiterhin verzehrbaren Lebensmitteln im Einzelhandel.

Im Juli 2023 wurde von der EU-Kommission in einem Maßnahmenpaket zur nachhaltigeren Nutzung von natürlichen Pflanzen- und Bodenressourcen im Rahmen des Green Deals (EC 2023) beschlossen, dass die Lebensmittelabfälle in der EU bis 2030 in der Verarbeitung um 10 % und im Einzelhandel, Gastronomie und Haushalten um 30 % reduziert werden sollen. Dieses Ziel soll in der Aktualisierung der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98 EG aufgenommen werden. Die Zielsetzung der Kommission ist weniger ambitioniert als es aktuell in der deutschen Strategie

zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung festgelegt ist, es soll jedoch die Möglichkeit einer Untersuchung und ggf. Nachschärfung eingerichtet werden.

Für die Modellierung im Abfallsektor wird angenommen, dass das Ziel der Nationalen Strategie zur Reduktion der Lebensmittelabfälle bis zum Jahr 2030 zu 80 % erreicht werden kann.

Parametrisierung

Nach Zahlen von Eurostat für das Jahr 2022 (Eurostat 2024) wird von durchschnittlichen Lebensmittelabfällen von 75 kg/Einwohner in den Haushalten ausgegangen. Hinzu kommen ca. 33 kg Lebensmittelabfälle pro Person aus dem Einzelhandel und der Restaurant- sowie Außer-Haus-Verpflegung.

Eine Reduktion um 50 % bis zum Jahr 2030 würde insgesamt zu einer Reduktion um 54 kg/Person führen. Die Nationale Strategie setzt auf die Einbeziehung aller betroffenen Akteure entlang der Produktions- und Lieferkette und zunächst auf freiwillige Maßnahmen und Vereinbarungen. Je nach dem Erfolg dieser Maßnahmen könnten weitere Instrumente eingeführt werden. In Betracht kommen auch Instrumente, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette wirksam werden, wie z.B. die Abschaffung von gesetzlichen wie außergesetzlichen Handelsnormen (z.B. für Obst und Gemüse) oder ein Wegwerfverbot von unverkauften und weiterhin verzehrbaren Lebensmitteln im Einzelhandel. Im Szenario CARETarget wird für das Jahr 2030 damit gerechnet, dass das Ziel nur zu 80 % erreicht wird. Dies bedeutet, dass die Lebensmittelabfälle von aktuell jährlich 108 kg/Person nicht um 54 kg/Person reduziert werden, sondern nur um 44 kg/Person. Für die Berechnung werden daher die Lebensmittelabfälle bis zum Jahr 2030 linear pro Einwohner auf 64 kg reduziert. Danach bleiben die Lebensmittelabfälle konstant auf dem Niveau von 2030.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Auch zukünftig werden Teile der Lebensmittelabfälle über den Restmüll entsorgt werden. Für die Quantifizierung wird jedoch angenommen, dass die Reduktion der Lebensmittelabfälle Auswirkungen auf die Höhe des separat gesammelten Bioabfalls hat. Damit sinkt das Bioabfallaufkommen, das in biologischen Abfallbehandlungsanlagen behandelt wird (siehe auch Abschnitt 9.2.1).

Insgesamt kann die Vermeidung von Lebensmittelabfällen auch jenseits der Behandlung von Bioabfällen in anderen Sektoren zu einer Reduktion von Emissionen führen, wenn dadurch weniger Lebensmittel produziert, transportiert und gelagert werden müssen.

9.2.3 Ausweitung und Beschleunigung der Deponiebelüftung

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Seit 2013 wird die direkte Deponiebelüftung zur Reduktion des Methanbildungspotenzials im Rahmen der NKI-Kommunalrichtlinie gefördert. Durch Weiterführung und Intensivierung dieser Maßnahme, wie im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 beschrieben, insbesondere durch intensivere Information und Motivation der betroffenen Akteure sowie Erhöhung der maximalen Zuwendung, wurden bereits eine Reihe von kleinen Projekten gefördert. Im Rahmen der Kommunalrichtlinie wird die Deponiebelüftung seit 2019 auch auf großen Deponien gefördert. Für den Zeitraum bis 2030 soll das Förderprogramm entsprechend finanziell ausgestattet werden, um möglichst viele Deponien schon vor 2030 mit Deponiebelüftungsmaßnahmen zu erfassen. Sollte die finanzielle Förderung im Rahmen der Kommunalrichtlinie nicht im anvisierten Umfang Erfolg haben, kann eine Verpflichtung zur Belüftung geeigneter Deponien in der Deponieverordnung festgeschrieben werden, um die Ziele

zu erreichen. Dies kann durch eine Änderung der Deponieverordnung und der verpflichtenden Einführung der Deponiebelüftung auf geeigneten Deponien erfolgen.

Parametrisierung

Für die Erreichung der Klimaziele ist die Förderung von großen Projekten zur Deponiebelüftung entscheidend. Da Umfang und Größe der Projekte je nach Deponie variiert wird als Zielwert der Anteil des DDOCm (Abbaubarer organischer Kohlenstoff, massebezogen) definiert. Im Rahmen der Modellierung wird angenommen, dass ab dem Jahr 2023 bis zum Jahr 2040 pro Jahr sieben Projekte in diesem Umfang realisiert werden können. Die Berechnung erfolgt auf Basis des Abfallmodells, welches die ermittelten Einsparungen durch die Deponiebelüftung prozentual auf die Gesamtergebnisse umlegt.

In der Modellierung werden die Anzahl der Deponien mit Deponiebelüftung und die Annahmen zur Emissionsreduktion ($7 \cdot 19.600 \text{ t CO}_2\text{-Äq./a}$) anteilig auf die Entwicklung des Anteils des Degradable Organic Carbons (DOCm) im Abfallmodell berechnet. Damit wird auch die Zusammensetzung der Gase (ca. 50 % Methan, 50 % CO_2) berücksichtigt und es erfolgt eine zeitliche Verzögerung durch die kinetische Betrachtung des Abfallmodells.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Berechnung der Deponiebelüftung erfolgt nach einer von IFAS⁵⁴ und RUK⁵⁵ entwickelten Methodik zur Berechnung der aeroben In-Situ-Stabilisierung von Deponien. Die Berechnung basiert auf einer Erweiterung des IPCC Waste Model (IPCC 2019), welches die ermittelten Einsparungen durch die Deponiebelüftung prozentual auf die Gesamtergebnisse umlegt.

Die Belüftung von Deponien erfolgt zeitlich nach der in Abschnitt 9.2.4 beschriebenen optimierten Deponiegaserfassung. Die Konzentration des durch den Abbau organischer Materie entstehenden Methans ist zu Beginn des Prozesses hoch und sinkt über die Zeit ab. Eine Erfassung und energetische Verwertung des Gases sind nur möglich, sofern die Konzentration hinreichend hoch ist. Anschließend können die Treibhausgasemissionen der Deponien durch Deponiebelüftung verringert werden, bei welcher Methan in weniger klimaschädliches CO_2 umgewandelt wird.

9.2.4 Optimierte Gaserfassung

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Im Rahmen der Kommunalrichtlinie wird die optimierte Sammlung der Gase auf Deponien gefördert, wodurch eine Verbesserung der bestehenden Gaserfassung um mindestens 25 % erreicht werden soll, oder mindestens 60 % des anfallenden Gases erfasst werden müssen.

Ab dem 01.03.2026 ist eine optimierte Gaserfassung laut BQS 10 vorgeschrieben (LAGA 2022).

Parametrisierung

Für die Parametrisierung werden die Annahmen aus dem Klimaschutzprogramm 2030 übernommen. Es wird bis zum Jahr 2030 mit einer Förderung der optimierten Gaserfassung in sieben Projekten jährlich gerechnet (Minderungspotenzial pro Jahr ca. $0,025 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq./Projekt}$).

⁵⁴ <https://www.ifas-hamburg.de/>

⁵⁵ <https://www.ruk-online.de/>

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die optimierte Deponiegaserfassung erfolgt zeitlich vor der in Abschnitt 9.2.3 beschriebenen Belüftung von Deponien. Die Konzentration des durch den Abbau organischer Materie entstehenden Methans ist zu Beginn des Prozesses hoch und sinkt über die Zeit ab. Eine Erfassung und energetische Verwertung des Gases sind nur möglich, sofern die Konzentration hinreichend hoch ist. Anschließend können die Treibhausgasemissionen der Deponien durch Deponiebelüftung verringert werden, bei welcher Methan in weniger klimaschädliches CO₂ umgewandelt wird.

Erfasstes Deponiegas kann in der Energiewirtschaft eingesetzt werden und dort die Emissionen der Energieerzeugung verringern.

9.2.5 Optimierte Abwasserbehandlung**Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung**

Die Anschlussraten an die öffentliche Kanalisation sind in Deutschland sehr hoch, so dass nur noch minimale Emissionsminderungen durch den Anschluss verbleibender Klärgruben an die öffentliche Kanalisation zu erwarten sind. Darüber hinaus sind die für die Hebung dieser Minderungspotenziale notwendigen Infrastrukturinvestitionen teilweise prohibitiv hoch, so dass vorerst nicht zu erwarten ist, dass diese angestrebt werden. Nichtsdestotrotz kann angenommen werden, dass durch Bevölkerungsrückgang in ländlichen Gebieten und eine weitere Steigerung der Anschlussraten hier noch Minderungen möglich sind.

Die Größe des Potenzials für die optimierte Klärschlammbehandlung ist unklar. Untersuchungen aus der Schweiz (Cunningham et al. 2015) sowie von der TU Kaiserslautern (Gretzschel et al. 2012) zeigen, dass hier noch eine Möglichkeit der Reduktion von Methanemissionen besteht.

Im Rahmen der Kommunalrichtlinie wird seit dem Jahr 2021 die Umstellung auf Technologien gefördert, welche die Emissionen an Faulgasen (Methan) verringern.

Parametrisierung

Die Parametrisierung erfolgt auf Basis von Programmdaten aus der Kommunalrichtlinie im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative. Diese werden fortgeschrieben unter der Annahme, dass unter der Kommunalrichtlinie im Zeitraum ihrer Gültigkeit in ähnlichem Maße weitere Projekte zur Emissionsminderung in Kläranlagen gefördert und umgesetzt werden.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Sofern der anfallende Klärschlamm anaerob stabilisiert wird, ist es möglich das dabei entstehende Methan zur Energieerzeugung einzusetzen. Dies geschieht häufig in BHKWs direkt vor Ort, so dass Bedarf an von außen bezogener Energie der Kläranlagen verringert werden kann.

9.2.6 Reduktion der Proteingehalte im Abwasser**Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung**

Durch verbraucherseitige Instrumente wie eine Erhöhung der Mehrwertsteuer auf Fleischprodukten oder die Einführung einer Treibhausgasbepreisung im Lebensmittelbereich soll eine Reduktion der Proteinaufnahme durch die Nahrung und darauf aufbauend eine Reduktion der Proteingehalte im Abwasser erreicht werden.

Die Parametrisierung erfolgt in Rückkopplung mit der Modellierung im Landwirtschaftssektor. Im Landwirtschaftssektor wird angenommen, dass der Konsum tierischer Produkte durch die Wirkung eines THG-Preises auf tierische Lebensmittel zurückgeht. Es wird angenommen, dass

die Proteinaufnahme den Empfehlungen der DGE entspricht. Diese Entwicklungen werden hier übernommen.

Parametrisierung

Für die Parametrisierung wird davon ausgegangen, dass es basierend auf den Empfehlungen der DGE bis zum Jahr 2045 zu einer Reduktion der Proteinaufnahme um 20 % kommt. Daraus ergibt sich eine Reduktion der Lachgas-Emissionen in der Abwasserbehandlung um 10 %.

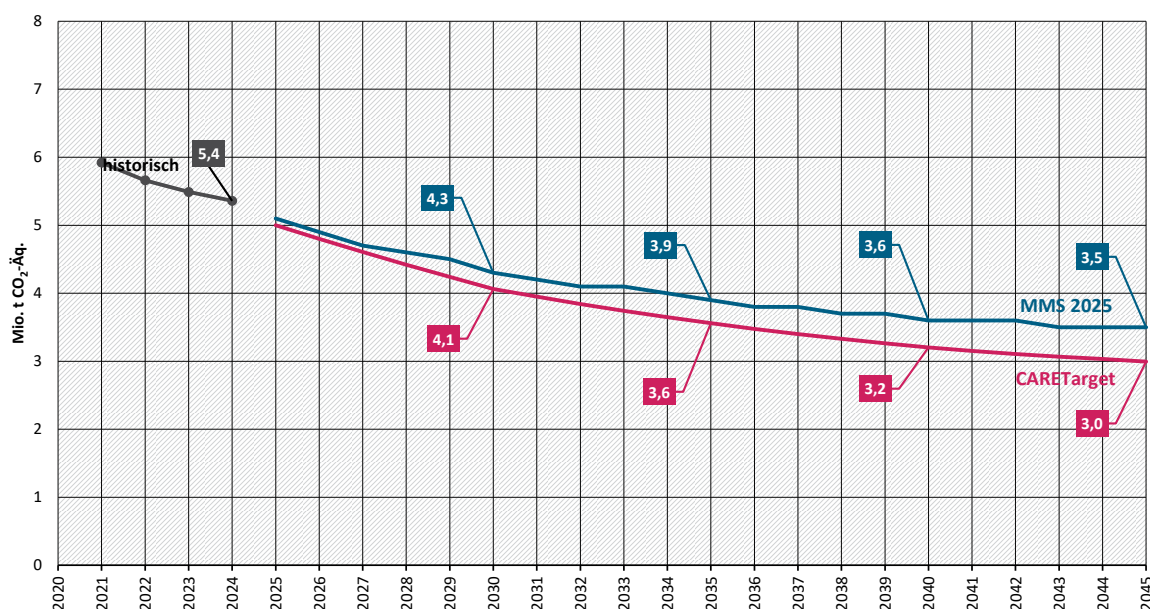
Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Reduktion der Proteine im Abwasser ist eine direkte Folge einer Anpassung der Ernährung, welche ebenfalls Auswirkungen auf die Landwirtschaft und ggf. weitere, auch industrielle, Produktionsprozesse hat.

9.3 Zentrale Ergebnisse

Abbildung 52 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Sektors Abfallwirtschaft bis zum Jahr 2045 für das Szenario CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025. Die Emissionen sinken von ca. 5 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr auf ca. 3 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045. In Bezug auf die Jahresemissionsmengen laut Bundes-Klimaschutzgesetz würde dies einer Übererfüllung des 2030-Ziels von 17 Mio t CO₂-Äq. entsprechen.

Abbildung 53: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges in CARETarget und den Treibhausgas-Projektionen 2025 (2025-2045)



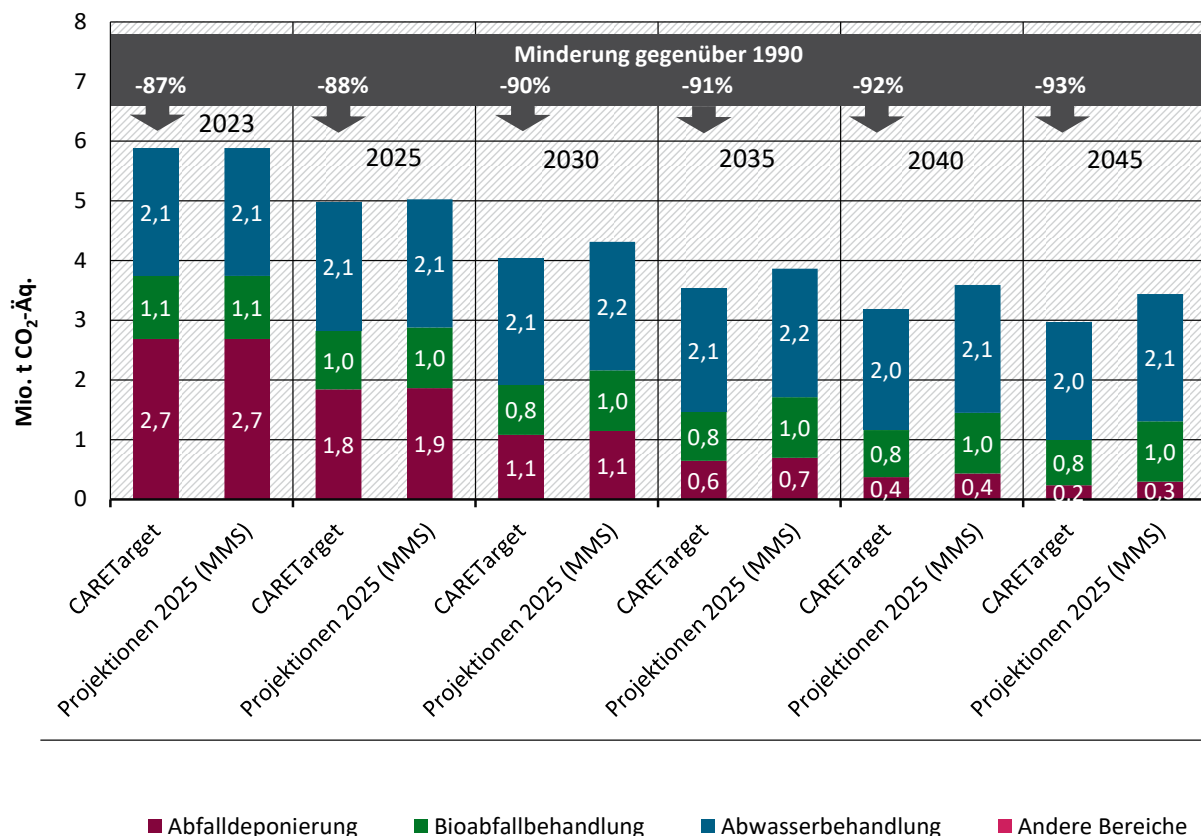
Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Abbildung 54 und Tabelle 28 zeigen die Entwicklung der Emissionen für die einzelnen Teilbereiche des Abfallsektors: Abfalldeponierung, Bioabfallbehandlung, Abwasserbehandlung und Sonstiges⁵⁶. Es werden gut 93 % Minderung im Jahr 2045 gegenüber 1990 erreicht. Die Emissionen im Bereich Abfalldeponierung sinken von 1,8 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2025 auf 0,2 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045, während bei der Bioabfalldeponierung die Emissionen lediglich von 1,0 Mio. t CO₂-Äq. auf 0,8 Mio. t CO₂-Äq. sinken. Dies liegt an den gegenläufigen Effekten aus

⁵⁶ In der Kategorie Sonstiges der Inventarkategorie 5 werden in Deutschland die Emissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) berichtet.

der stärkeren Getrenntsammlung von organischen Abfällen einerseits und der Verringerung der Lebensmittelabfälle andererseits. Im Bereich der Abwasserbehandlung ist der Effekt der Maßnahmen gering, so dass lediglich eine Verringerung um ca. 0,1 Mio. t CO₂-Äq. erreicht wird.

Abbildung 54: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045



Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 28: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges, CARETarget, 2023-2045

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Abfalldeponierung	2,2	1,8	1,1	0,6	0,4	0,2
Bioabfallbehandlung	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
Abwasserbehandlung	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0
Andere Bereiche	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	5,5	5,0	4,1	3,6	3,2	3,0
Minderung gegenüber 1990	-86,8 %	-88,0 %	-90,2 %	-91,4 %	-92,3 %	-92,8 %

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Notiz: Emissionen, die in der Tabelle als 0,0 Mio. t CO₂-Äq. dargestellt sind, existieren, sind aber kleiner als 0,05 Mio. t CO₂-Äq.

10 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft⁵⁷

10.1 Narrativ

Der Sektor LULUCF umfasst Kohlenstoffsinken und Treibhausgasemissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderungen sowie aus der Forstwirtschaft einschließlich Holzprodukten. Anders als in anderen Sektoren kann es sowohl zur Freisetzung von Treibhausgasen (Quellen) als auch zur Festlegung von CO₂ (Senken) kommen. In CARETarget werden bestehende Quellen stark verringert und mögliche Senken ausgebaut. Zahlreiche Maßnahmen im LULUCF-Sektor können erst nach einer Planungsphase von ca. 2-5 Jahren in die Anwendung kommen. Es wird angenommen, dass ab dem Jahr 2025 die nötigen Schritte eingeleitet werden, damit die LULUCF-Maßnahmen bis 2045 zu einer Treibhausgassenke von mindestens -40 Mio. t CO₂-Äq. führen. Um Zeitverzögerungen durch Planungsprozesse zu berücksichtigen, wird bis zum Jahr 2030 ein moderater Entwicklungspfad vergleichbar zum MWMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 (Förster et al. 2025a) fortgeschrieben, und das LULUCF-Ziel nach KSG von mindestens -25 Mio. t CO₂-Äq. bis Jahr 2030 wird nicht erreicht. Ab dem Jahr 2030 wird eine deutlich ambitioniertere Umsetzung von Maßnahmen im LULUCF-Sektor angenommen, die stark an CARESupreme (Harthan et al. 2025) angelehnt ist, z.T. aber darüber hinaus geht.⁵⁸ Im LULUCF-Sektor sind als Quellen insbesondere Emissionen aus der trockenen Nutzung von organischen Böden in der Landwirtschaft (drainierte Moorböden) zu nennen. Durch eine ambitionierte Wiedervernässung verringern sich die Treibhausgasemissionen dieser Quelle stark. Parallel werden in bestehenden Feuchtgebieten die Wasserstände angehoben, der Torfabbau in Deutschland eingestellt und Dauergrünland auf mineralischen Böden weiterhin erhalten. Als größte Senke sind die Waldflächen zu nennen. Hier wird durch eine Verringerung des Laubholzeinschlags bzw. durch Nutzungsaufgabe von Laubbaumbeständen der Holzvorrat der Waldflächen erhöht und damit eine Senkenleistung erzeugt. Dies berücksichtigt insbesondere Anforderungen an die Umsetzung der EU-Wiederherstellungs-Verordnung. Wie stark die Senkenleistung der Wälder von der Häufigkeit von Wetterextremen beeinflusst wird, wird anhand von Sensitivitäten analysiert. Parallel zur Extensivierung der Waldbewirtschaftung wird verstärkt Holz in langlebigen Produkten und gleichzeitig weniger Holz energetisch genutzt. Dies betrifft auch Holz aus Rest- und Abfallstoffen. So wird der Holzproduktspeicher kontinuierlich erhöht. Weitere Senken werden durch die Anlage von Gehölzstrukturen als Agroforstelemente auf landwirtschaftlichen Flächen erreicht (kurz: Agroforst)⁵⁹. Die Netto-Flächenneuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur nimmt bis zum Jahr 2030 auf 30 ha pro Tag ab und erreicht im Jahr 2050 null. Dies verringert den generellen Nutzungsdruck auf Flächen.

⁵⁷ Teile dieses Kapitels sind Harthan et al.(2025) entnommen.

⁵⁸ Das Szenario CARESupreme basiert auf Daten der Treibhausgasinventare aus den Jahren 2023 und 2024, das Szenario CARETarget auf den Daten des Treibhausgasinventars aus dem Jahr 2025. Unterschiede zwischen den Datensätzen aufgrund methodischer Verbesserungen (siehe Hennenberg et al. (2025)) sind beim Vergleich der Szenarien CARESupreme und CARETarget zu berücksichtigen.

⁵⁹ Holzige Dauerkulturen als Teil von Agroforst-Systemen sowie als Hecken und Kurzumtriebsplantagen. Der Anteil an Gehölzstrukturen kann zwischen Agroforst-Systemen stark variieren. In der vorliegenden Modellierung wird daher das „Agroforstelement Gehölze“ (kurz: Agroforst) separat modelliert. Angaben zu Fläche und Emissionen für Agroforst beziehen sich auf diese Gehölzstrukturen. Acker- und Grünlandflächen, die Agroforstsystemen zuzuordnen sind, verbleiben in den Flächenkategorien Ackerland und Grünland.

10.2 Maßnahmen und Instrumente⁶⁰

10.2.1 Vernässung landwirtschaftlich genutzter organische Böden (Ackerland, Grünland; Moorbodenschutz)

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Trocken genutztes Acker- und Grünland auf organischen Böden (synonym Moorböden)⁶¹ emittieren große Mengen an Treibhausgasen. Mit der Anhebung der Wasserstände kann die Treibhausgasemission auf diesen Flächen signifikant verringert werden. Dies hängt aber stark von dem Niveau der Wasserstandsanhhebung ab. Je feuchter eine Fläche ist, desto stärker verändern sich auch die landwirtschaftlichen Nutzungsoptionen. Bereits der Wechsel von einer Ackerland- zu einer Grünlandnutzung schützt den Moorboden leicht.

Der Moorbodenschutz ist bereits in Moorschutzprogrammen der Bundesländer, dem Klimaschutzprogramm 2030 (KSP 2030; BReg 2023), der Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz (BMEL 2021), dem Klimaschutz-Sofortprogramm (SP 2021; BReg 2022) sowie der Nationalen Moorschutzstrategie (BMUV 2022) und dem Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (BMUV 2023) verankert und die Umsetzung hat begonnen.

Mit dieser Maßnahme werden mehrere Optionen bzw. Dimensionen des Moorbodenschutzes auf landwirtschaftlichen Flächen auf organischen Böden adressiert:

- ▶ Flächenanteile, die von Ackerland zu Grünland umgenutzt werden,
- ▶ Flächenanteile, die wiedervernässt werden,
- ▶ Niveau der Wasserstandsanhhebung auf vernässten Flächen (Vernässungsintensität).

Einerseits werden für die Umsetzung dieser Maßnahmen zum Moorbodenschutz Fördermittel bereitgestellt (z.B. ELER, EFRE, GAP, Förderprogramme im Rahmen des ANK)⁶². Dies berücksichtigt auch die Förderung von Aktivitäten, um eine Paludikulturnutzung zu ermöglichen, und von technischen Maßnahmen zur Wasserstandsregelung. Andererseits werden Instrumente genutzt, die die Verfügbarkeit der zu vernässenden Flächen erhöhen. Hierzu zählen:

- ▶ Vorkaufsrecht bzw. Erst-Pachtrecht des Landes/Bundes bei Verkauf oder Verpachtung von Flächen auf organischen Böden (z.B. bei Hofaufgabe),
- ▶ Verbot zur Errichtung von neuer Infrastruktur, die einer Vernässung in der Nachbarschaft entgegensteht, im Bau- bzw. Planungsrecht oder im Bodenschutzgesetz,
- ▶ Einstellung der GAP-Förderung (1. Säule) für trocken genutzte organische Böden einstellen ab der nächsten Förderperiode (ab 2028),
- ▶ Besteuerung der Treibhausgasemissionen, die bei einer trockenen Nutzung organischer Böden im Vergleich zu einer vollständigen Vernässung freigesetzt werden (spätestens ab 2030).

⁶⁰ Die Reihenfolge der Maßnahmen orientiert sich an ihrer Wirksamkeit im Jahr 2045.

⁶¹ Organische Böden umfassen Moorböden, Anmoorböden und Moorfolgeböden. Im politischen Raum werden sie meist als Moorböden bezeichnet.

⁶² ELER: Europäischen Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raumes; EFRE: Europäischen Fonds für regionale Entwicklung; GAP: Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union; ANK: Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz.

Die Nutzung der vernässten Flächen z.B. als Paludikultur wird im Sektor Landwirtschaft modelliert.

Parametrisierung

Die Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen erfordert umfangreiche Planungsprozesse mit einem zeitlichen Vorlauf von bis zu 5 Jahren. Im Szenario CARETarget wird angenommen, dass ab 2025 die Planungen beginnen, die nötig sind, um ab 2030 in einem ausreichenden Umfang Wiedervernässungen durchzuführen, um die LULUCF-Ziele im Jahr 2045 zu erreichen. Die folgende Parametrisierung richtet sich bis 2030 an den Annahmen im MWMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 und ab 2030 an den Annahmen des Szenarios CARESupreme aus.

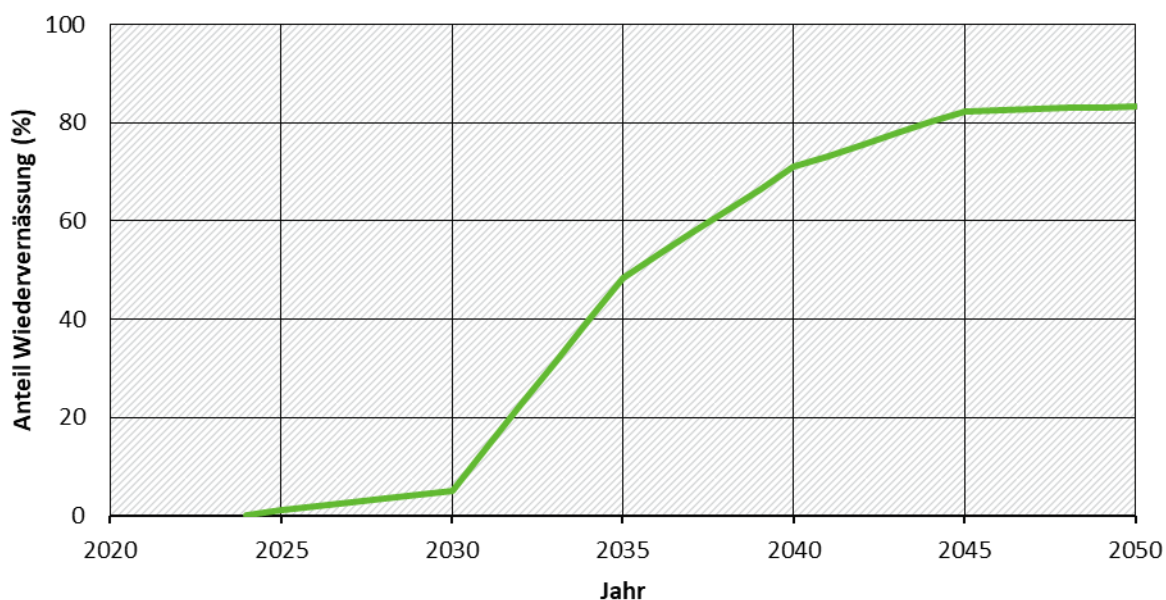
Die Umwandlung von Ackerland zu Grünland auf organischen Böden, die Vernässung und die Intensität der Vernässung werden nach den Zielwerten in Tabelle 29 parametrisiert. Acker- und Grünland auf organischen Böden werden bis 2030 moderat wiedervernässt und der Anteil an wiedervernässter Fläche liegt bei 5 %. Durch ambitionierte Wiedervernässung steigt dieser Wert bis 2045 auf 82 % und bis 2050 auf 83 % an. Die Vernässungsintensität der Flächen wird über die Zeitachse erhöht. Im Jahr 2030 erreichen 40 % der vernässten Flächen eine Vollvernässung (Wasserstand bei -10 bis 0 cm unter Flur). Dieser Anteil steigt bis 2045 auf 80 % an (Tabelle 29). Aufgrund möglicher Wasserknappheit wird angenommen, dass 10 % der Flächen nur einen Wasserstand von -15 cm unter Flur und 10 % von -20 cm unter Flur erreichen.

Tabelle 29: Zielwerte für Bodenvernässung von Ackerland und Grünland, CARETarget, 2030-2050

Optionen	2030	2045	2050
Vernässte Acker- und Grünlandfläche (Anteil zu 2022)	5,1 %	82,4 %	83,3 %
Vernässungsintensität vernässter Flächen	40 % Wasserstand -10 cm bis 0 cm unter Flur	80 % Wasserstand -10 cm bis 0 cm unter Flur	80 % Wasserstand -10 cm bis 0 cm unter Flur

Quelle: Eigene Annahmen und Darstellung

Die zeitliche Entwicklung der wiedervernässten landwirtschaftlichen Fläche auf organischen Böden ist in Abbildung 55 dargestellt. Bis zum Jahr 2030 werden 5,1 % der Flächen vernässt. Im Jahr 2045 wird ein Vernässungsgrad von 82,4 % erreicht, der bis 2050 noch leicht erhöht wird.

Abbildung 55: Anteil der wiedervernässten landwirtschaftlichen Fläche auf organischen Böden im Zeitverlauf, CARETarget, 2020-2050

Quelle: FABio-Land, eigene Darstellung, Öko-Institut.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Förderbedingungen machen es ökonomisch attraktiv von einer heutigen trockenen Bewirtschaftung von organischen Böden auf eine nasse oder sehr feuchte Bewirtschaftung⁶³ zu wechseln oder vernässte Flächen aus der Nutzung zu nehmen. Ordnungsrechtliche Regelungen erleichtern es, zusammenhängende Flächenkulissen für eine Wiedervernässung zu erreichen. Malussysteme wie das Streichen von GAP-Förderungen für trockenen Anbau bis hin zu der Besteuerung der CO₂-Emissionen aus der trockenen Bewirtschaftung der organischen Böden verringern die ökonomische Attraktivität der bisherigen trockenen Nutzung dieser Flächen.

Der Wechsel der Flächennutzung kann sich – je nach den regionalen Gegebenheiten – auf das Angebot an Bioenergiesubstraten auswirken. Dies kann die Menge an angebautem Raps oder Zuckerrüben für Biokraftstoffe oder Biogassubstrate wie Mais oder Klee gras reduzieren.

10.2.2 Zunahme langlebiger Holzprodukte

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Mit der stofflichen Nutzung von Holz wird Kohlenstoff, der aus dem Wald entnommen wurde, weiterhin im sogenannten Holzproduktspeicher gespeichert. Dies ist auch der Fall, wenn holzige Rest- und Abfallstoffe durch Wiederverwendung oder Recycling wieder in Holzprodukten verwendet werden. Je länger die Lebensdauer von Holzprodukten ist, desto länger wirkt der Speichereffekt im Holzproduktspeicher. Wird Holz hingegen zur energetischen Nutzung verbrannt, wird der Kohlenstoff als CO₂ freigesetzt. Um die aus Klimaschutzsicht vorteilhafte stoffliche Nutzung von Holz zu bevorzugen, ist in der Erneuerbare Energien-Richtlinie in Artikel 3 (RED III 2023) das Kaskadenprinzip festgeschrieben. So soll sichergestellt werden, dass holzartige Biomasse entsprechend ihrem höchsten wirtschaftlichen und ökologischen Mehrwert in der folgenden Prioritätenfolge genutzt wird: 1) holzbasierte Produkte, 2) Verlängerung der

⁶³ Nasse Bewirtschaftungsverfahren bei Vollvernässung sind Paludikulturen wie Schilfröhricht, Rohrkolbenröhricht, Großseggenried oder Torfmoos-Anbau; sehr feuchte Bewirtschaftungsverfahren umfassen z.B. Großseggenried, Rohrglanzgraswiese oder Weide mit Wasserbüffeln oder anderen Herbivoren (Luthardt et al. 2025, in Vorbereitung).

Nutzungsdauer, 3) Wiederverwendung, 4) Recycling und 5) Bioenergie vor 6) Deponierung. In CARETarget wird angenommen, dass bis zum Jahr 2030 die Rahmenbedingungen geschaffen werden, dass das Kaskadenprinzip ab dem Jahr 2030 konsequent umgesetzt wird. Dazu werden Förderregelungen für Bioenergie und insbesondere für feste Biobrennstoffe abgeschafft und die Förderung langlebiger Holzprodukte ausgebaut. Auch laufende Aktivitäten wie die Charta für Holz⁶⁴ werden verstärkt auf langlebige Holzprodukte ausgerichtet. In Summe wird erreicht, dass das inländische Holzaufkommen zu deutlich höheren Anteilen stofflich statt energetisch genutzt wird. Mögliche Instrumente, um dies zu erreichen, wären⁶⁵: Anpassung Mehrwertsteuer für Holzprodukte von 19 % auf 7 % für Holzwerkstoffe (Dämmstoffe, Spannplatten, Holzfaserplatten, OSB-Platten, innovative Holzwerkstoffe etc.) und Schnittholz (Dachbalken, Holzständerbau, Verkleidung von Wänden etc.), Förderung neuer Produktionsstätten oder Erweiterung bestehender Produktionsstätten für Holzwerkstoffe und Schnittholz, günstige Kredite für neue Produktionsstätten oder Erweiterung bestehender Produktionsstätten für Holzwerkstoffe und Schnittholz oder Innovationsförderung von Leuchtturmprojekten für z.B. alternative Spannplattennutzung. Dabei muss das Ziel sein, stabile Rahmenbedingungen für einen Markt langlebiger Holzprodukte zu schaffen und die Wirtschaftlichkeit gegenüber der reinen energetischen Nutzung zu wahren.

Parametrisierung

Im LULUCF-Modell FABio-Land ist nach der Methode des IPCC ein HolzproduktspeichermodeLL integriert. So können Veränderungen der Zuflüsse von Holzprodukten in den Holzproduktspeicher und resultierende Veränderungen der Treibhausgasbilanz abgebildet werden. Der Abfluss von Holzprodukten aus dem Holzproduktspeicher ist eine Funktion der Halbwertszeiten für die Holzprodukte⁶⁶. Diese werden bei der Modellierung nicht verändert.

Zuerst wird der Zuflüsse von Holzprodukten in den Holzproduktspeicher als Mittelwert der Jahre 2014 bis 2023 fortgeschrieben. Darauf aufbauend wird der Zufluss in CARETarget bis zum Jahr 2030 um zusätzliche 3,25 Mio. m³ und bis zum Jahr 2045 um zusätzliche 22,65 Mio. m³ erhöht (siehe Details in Tabelle 30). Diese Mengen wurden abgeglichen mit dem zu erwartenden Holzaufkommen aus der Waldbewirtschaftung sowie aus Rest- und Abfallstoffen (Kaskadennutzung), und es wurde ein möglicher Hochlauf der stofflichen Nutzungspfade eingeschätzt. Die Nutzung von Holz als Rohstoff für Papier nimmt ab. Gleichzeitig sinkt die Verfügbarkeit an festen Biomassebrennstoffen. Dies wird im Modellverbund mit der Modellierung in den energieverbrauchenden Sektoren rückgekoppelt, so dass im Jahr 2045 das inländische Holzaufkommen entweder energetisch oder stofflich genutzt wird und kein Energieholz importiert wird.

Tabelle 30: Zusätzlicher Zufluss an Holzprodukten (Mio. m³), CARETarget, 2030-2045

Jahr	2030	2040	2045
Schnittholz (inländischer Konsum)	0,50	3,00	3,00
Schnittholz (Export)	0,25	1,00	1,00
Holzwerkstoffe (inländischer Konsum)	2,00	9,75	11,75
Holzwerkstoffe (Export)	1,00	6,50	8,40

⁶⁴ <https://www.charta-fuer-holz.de>

⁶⁵ Eine konkrete Modellierung dieser Instrumente erfolgte nicht. Sie stellen nur Impulse für die Anreizsystematik dar.

⁶⁶ Halbwertszeiten nach IPCC: Schnittholz = 35 Jahre, Holzwerkstoffe = 25 Jahre, Papier/Pappe = 2 Jahre.

Jahr	2030	2040	2045
Papier and Pappe (inländischer Konsum)	-0,25	-0,75	-0,75
Papier and Pappe (Export)	-0,25	-0,75	-0,75
Summe	3,25	18,75	22,65

Quelle: Eigene Annahmen und Darstellung

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Umsetzung des Kaskadenprinzips nach RED III und die veränderte Förderkulisse zugunsten von langlebigen Holzprodukten bewirken, dass es in der Holzwirtschaft attraktiver wird, Holz als Rohstoff für langlebige Holzprodukte zu nutzen, anstatt für Energieholzprodukte. Durch die Abschaffung der Förderung von Holzenergie und die erhöhte Konkurrenz mit der stofflichen Holznutzung wird es ökonomisch unattraktiver, Holzenergie zu nutzen.

Die Reduktion der Mengen an festen Biomassebrennstoffen führt dazu, dass andere Energieträger, insbesondere Lösungen mit Wärmepumpen und/oder auch Solarenergie, als Alternative zum Einsatz kommen.

10.2.3 Kohlenstoffzunahme auf landwirtschaftlichen Flächen

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Die Entwicklung des Kohlenstoffgehalts auf landwirtschaftlichen Flächen hängt stark von den kultivierten Feldfrüchten bzw. dem Anbausystem ab. Eine dauerhafte Zunahme in den Kohlenstoffpools „Bodenkohlenstoff“ und „Kohlenstoff der lebenden Biomasse“ auf Agrarflächen ist vor allem bei der Anlage von Dauerkulturen anstelle von einjährigen Kulturen (z.B. Agroforstsysteme, Hecken, Kurzumtriebsplantagen, Dauergrünland) zu erwarten.

Bei der Umstellung der Ackernutzung von konventionellem Landbau auf ökologischen Landbau sind positive Effekte auf die Kohlenstoffpools möglich, aufgrund hoher Unsicherheiten werden sie aber in der Modellierung nicht berücksichtigt.

Die Flächenentwicklung von holzigen Dauerkulturen (Agroforstsysteme, Hecken, Kurzumtriebsplantagen) wird im Landwirtschaftssektor modelliert. Dort fließen Annahmen zur Förderung der Umnutzung bzw. Umstellung und die Förderung von Absatzwegen der Produkte ein (Abschnitt 8.2).

Parametrisierung

Über eine Schnittstelle wird in FABio-Land diese Flächenkulisse zum Anbau übernommen. Für neue angelegte holzige Dauerkulturen (als Teile von Agroforstsystemen, Hecken, Kurzumtriebsplantagen) wird die Wirkung auf die Kohlenstofffestlegung bilanziert.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Anlage und Bewirtschaftung von holzigen Dauerkulturen steigert das inländische Holzaufkommen. Dies steht in Wechselwirkung zur energetischen und stofflichen Holznutzung. Die Wirkung der Instrumente wird in Abschnitt 3.4 betrachtet.

10.2.4 Waldbewirtschaftung

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Auf der Waldfläche in Deutschland haben sich in den letzten Jahrzehnten die Kohlenstoffpools kontinuierlich erhöht. Vor allem der Kohlenstoffpool „lebende Biomasse“ reagiert aber sehr stark auf:

- ▶ Intensität der Waldbewirtschaftung (Holzentnahme, Durchforstung): zentrale Maßnahmen sind Waldumbau und Verringerung der Holzentnahme.
- ▶ Natürliche Störungen (Windwurf, Trockenheit, Käferkalamitäten): Natürliche Störungen überprägen die Wirkung der Waldbewirtschaftung auf die Waldentwicklung. Vor allem kann sich durch natürliche Störungen die Mortalität der Bäume erhöhen und die Zuwachsleistung abnehmen. In Summe führt beides zu einer Abnahme der Senkenleistung von Waldbeständen.

Die Form und Intensität der Waldbewirtschaftung hängt stark von der Bestandssituation ab. In ökologisch instabilen, fehlbestockten Beständen (z.B. Fichtenbeständen in tieferen Lagen) bestehen deutliche Risiken, dass bei starken natürlichen Störungen Bestände absterben. Dies war eindrücklich in den trockenen Jahren mit hohen Käferschäden von 2018 bis 2022, aber auch bei Windwurfereignissen z.B. im Jahr 2007 (Kyrill) zu beobachten. Auf derartigen Waldflächen ist es notwendig, den Wald umzubauen hin zu ökologisch stabilen, klimaresilienten Beständen. Beim Waldumbau werden gezielt standortangepasste Baumarten in der Verjüngung gefördert bzw. eingebracht und der Altbestand bei Bedarf frühzeitig eingeschlagen. Der Waldumbau führt in den ersten Jahren zu einer kontrollierten Abnahme der Vorräte auf der Waldfläche. Erst danach wird der Vorrat in ökologisch stabilen, klimaresilienten Beständen wieder aufgebaut. Maßnahmen zum Waldumbau werden bereits in der GAK gefördert. Auch das ANK sowie die Förderprogramme „Klimaangepasstes Waldmanagement“⁶⁷ und „Klimaangepasstes Waldmanagement PLUS“⁶⁸ (Antragstellung voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte 2025 möglich) setzt einen Fokus auf Waldumbau.

In ökologisch stabilen, klimaresilienten Waldbeständen wie standortsangepasste Laubmischwälder oder Fichtenbeständen in Höhenlagen ist es hingegen auch jetzt mit vertretbaren Risiken möglich, den Vorrat weiter aufzubauen. Dies wird durch eine Verringerung der Holzentnahme erreicht. Dabei können Einzelmaßnahmen wie mehr Totholz auf der Waldfläche belassen, Wälder zum Vorratsaufbau extensiver bewirtschaften, Wälder ganz aus der Nutzung nehmen oder Ausweisen von Habitatbäumen die Senkenleistung der Waldfläche erhöhen. Diese Maßnahmen können wiederum über die Förderprogramme „Klimaangepasstes Waldmanagement“⁶⁷ und „Klimaangepasstes Waldmanagement PLUS“⁶⁸ angereizt werden. Bei Bedarf können die Maßnahmen auf Ebene des Ordnungsrechts auch in die Waldgesetze auf Bundes- oder Landesebene aufgenommen und in nachgeschalteten Durchführungsverordnungen umgesetzt werden.

Parallel zur Verringerung der Holzentnahme muss die Nachfrage nach entsprechenden Holzsortimenten sinken. Dies ist nötig, da ansonsten verstärkt Importe und damit negative Effekte auf die Senkenleistung der Waldfläche in den Herkunftsländern auftreten würden. Dies betrifft vor allem das Sortiment Waldenergieholz von Scheitholz über Hackschnitzel bis hin zu Holzpellets und Holzbriketts.

⁶⁷ <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/klimaangepasstes-waldmanagement.html>

⁶⁸ <https://www.klimaanpassung-wald.de/>

Parametrisierung

Mit dem ANK und den Förderprogrammen „Klimaangepasstes Waldmanagement“⁶⁷ und „Klimaangepasstes Waldmanagement PLUS“⁶⁸ liegt bereits eine Förderkulisse vor, mit der ab dem Jahr 2025 eine veränderte Waldbewirtschaftung erreicht werden kann.⁶⁹

Die Modellierung der Holzentnahme im Waldmodell FABio-Forest 2.0 erfolgt wie im Szenario CARESupreme (CS). Als Startpunkt wird die mittlere Holzentnahme der Jahre 2013 bis 2017 (H1317) fortgeschrieben. Die Datengrundlage ist dazu die Einschlagrückrechnung des Thünen-Instituts.⁷⁰

- ▶ Ausgehend von dieser Fortschreibung wird die Holzentnahme für Laubholz bis zum Jahr 2030 um 2 Mio. m³ und bis zum Jahr 2050 um weitere 3 Mio. m³ reduziert. Die Nadelholzentnahme wird nicht verändert.
- ▶ Mortalitätsholz wird zu hohen Anteilen entnommen und so werden lebende Bestände weniger stark eingeschlagen. Stammholzanteil am Mortalitätsholz werden zu 90 % und Industrieholzanteil zu 60 % entnommen und auf die Holznachfrage angerechnet.⁷¹

In FABio-Forest 2.0 können unterschiedlich Annahme zur zukünftigen Ausprägung von klimatischen Parametern eingestellt und so die Waldentwicklung klimasensitiv modelliert werden. In CARETarget werden als Sensitivitäten zwei Klimaregime modelliert, die unterschiedliche Fortschreibungen der historischen Wetterbedingungen darstellen⁷²:

- ▶ CS0322: Die Wetterbedingungen der Jahre 2003 bis 2022 (K0322) werden als zyklische Wiederholung fortgeschrieben. Dies bedeutet, dass etwa 25 % der Jahre durch extreme Wetterereignisse geprägt sind.
- ▶ CS1322: Die Wetterbedingungen der Jahre 2013 bis 2022 (KS1322) werden als zyklische Wiederholung fortgeschrieben. Dies bedeutet, dass etwa 50 % der Jahre durch extreme Wetterereignisse geprägt sind.

Die klimasensitive Modellierung⁷³ wirkt auf die Zuwächse der Baumarten sowie auf die Höhe der Mortalitätsrate (siehe Details in Pfeiffer et al. (2025b) und Pfeiffer et al. (2025a)).

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die genannte Förderkulisse macht es für Waldbesitzende attraktiv, in Laubwaldbeständen die Waldbewirtschaftung zu extensivieren und Vorräte weiter aufzubauen. Gleichzeitig wird der kontrollierte Waldumbau in weniger stabilen Waldbeständen durch Förderung unterstützt. Beides führt zu einer kurzfristigen bis mittelfristigen Stabilisierung der Senkenleistung der lebenden Biomasse im Wald.

⁶⁹ Siehe auch Vorschläge des BMUKN zur Weiterentwicklung des ANK (BMUKN 2025).

⁷⁰ Daten zur Einschlagsrückrechnung (EER) des Thünen-Instituts:
<https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/holzeinschlag-und-rohholzverwendung>

⁷¹ Eine Analyse der Ergebnisse der 4. Bundeswaldinventur zeigt, dass die Mortalitätsholzentnahme historisch niedriger ausfiel und mit 60 % vom Stammholz und 30 % vom Industrieholz abgeschätzt werden kann.

⁷² Als Benennung der Waldszenarien wird „CS“ für CARESupreme gewählt, da die Annahmen zur Holzentnahme denen in CARESupreme entsprechen. Die Annahmen zu natürlichen Störungen in CARESupreme wurden aber durch Annahmen zur Klimaentwicklung ersetzt (siehe laufende Arbeiten im UBA-Projekt „Szenarienbasierte Analyse der THG-Reduktions- und Senkenpotenziale für den Natürlichen Klimaschutz im Sektor LULUCF und Identifizierung der Synergien mit Biodiversitäts- und anderen Umweltzielen“ (NatKat; FKZ.: 3723 NK 901 0).

⁷³ Bei der Fortschreibung der historischen Wetterbedingungen wird das räumliche Muster zufällig verändert, um zu verhindern, dass sehr extreme Ereignisse nicht stets an der gleichen Stelle auftreten. Die Mortalitätsrate der Bäume wird über Informationen aus der Waldzustandserhebung an Wetterbedingungen angebunden.

Die Extensivierung in Laubwäldern geht einher mit einer Reduzierung der Laubholzentnahme. Da Laubholz zu hohen Anteilen direkt energetisch genutzt wird, stellt dies eine Reduzierung der Energieholzmengen dar (siehe Abschnitt 3.4).

10.2.5 Waldmehrung

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Mit der Neuanlage von Wald auf zuvor nicht bewaldete Flächen, insbesondere Ackerland, wird der Kohlenstoffpool auf den Flächen dauerhaft erhöht. Es wird angenommen, dass – ausgehend vom Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) – ein Förderprogramm zur biodiversitätsfördernden Mehrung der Waldfläche entwickelt wird, das die Anlagekosten sowie den Wertverlust von Flächen durch die Nutzungsänderung von z.B. Ackerland zu Wald ausgleicht. Das Programm fokussiert bewusst auf Regionen mit niedrigen Landpreisen, um die Kosten je geförderte Fläche niedrig zu halten.

Parametrisierung

Bis zum Jahr 2030 erfolgt eine Waldmehrung auf insgesamt 10.000 ha. Nach 2030 wird angenommen, dass jedes Jahr 10.000 ha an neuer Waldfläche angelegt werden bzw. durch natürliche Sukzession entstehen. Bis zum Jahr 2045 beträgt die Waldmehrungsfläche 160.000 ha.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

Die Förderung ist so ausgestaltet, dass es für eine kleine Gruppe an Landwirten in Regionen mit niedrigen Landpreisen attraktiv ist, Ackerland in Wald umzunutzen.

Die Waldmehrung erfolgt vor allem auf wenig ertragreichem Ackerland auf mineralischen Böden. Über eine Rückkopplung der veränderten Flächenkulisse werden in der Landwirtschaft z.B. weniger Bioenergiesubstrate angebaut. Der Effekt ist aber aufgrund der geringen Menge an Waldmehrungsflächen kleiner als bei der Wiedervernässung oder der Anlage von Agroforst.

10.2.6 Optimierung des Wassermanagements bestehender Feuchtgebiete

Instrumenten- bzw. Maßnahmenbeschreibung

Im LULUCF-Sektor werden Feuchtgebiete in Gewässern und terrestrische Feuchtgebiete unterteilt. Letztere sind feuchte Flächen, aber keine offenen Wasserflächen. Bestehende terrestrische Feuchtgebietsflächen auf organischen Böden sind z.T. entwässert bzw. der Wasserstand sinkt im Jahresverlauf periodisch auf niedrige Werte, so dass es zu einer Oxidation von organischer Substanz und entsprechender CO₂-Freisetzung kommt.

Mit dieser Maßnahme wird das Wassermanagement bestehender Feuchtgebiete optimiert, d.h. möglichst ganzjährig flurnah, so dass die Treibhausgasemissionen minimiert werden.

Es wird eine Verpflichtung zur Optimierung des Wassermanagements in Feuchtgebieten auf organischen Böden im Wasserhaushaltsgesetz als Erweiterung der allgemeinen Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung (§ 6) aufgenommen. Für die Umsetzung wird in Moorschutzprogramme der Länder die Optimierung des Wassermanagements bestehender Feuchtgebiete aufgenommen und es werden Fördermittel bereitgestellt. Zudem können bei Bedarf z.B. EU-Fördermittel (ELER, EFRE)⁶² genutzt werden.

Parametrisierung

Diese Maßnahme adressiert verbliebene terrestrische Feuchtgebiete auf organischen Böden. Durch die Optimierung des Wassermanagements dieser Flächen werden die

Treibhausgasemissionen je Flächeneinheit reduziert. Ausgehend von den Emissionsfaktoren im Startjahr werden bei Annahme einer Optimierung im Modell die Emissionsfaktoren hin zu einem optimierten Wassermanagement derart fortgeschrieben, dass im Jahr 2030 auf 80 % und ab dem Jahr 2045 auf 100 % der terrestrischen Feuchtgebiete eine Optimierung des Wassermanagements erreicht wird. Für den Zustand eines optimierten Wassermanagements werden die Emissionsfaktoren wie für vollständig wiedervernässte organische Böden angenommen.

Wirkungsweise sowie Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und Instrumenten

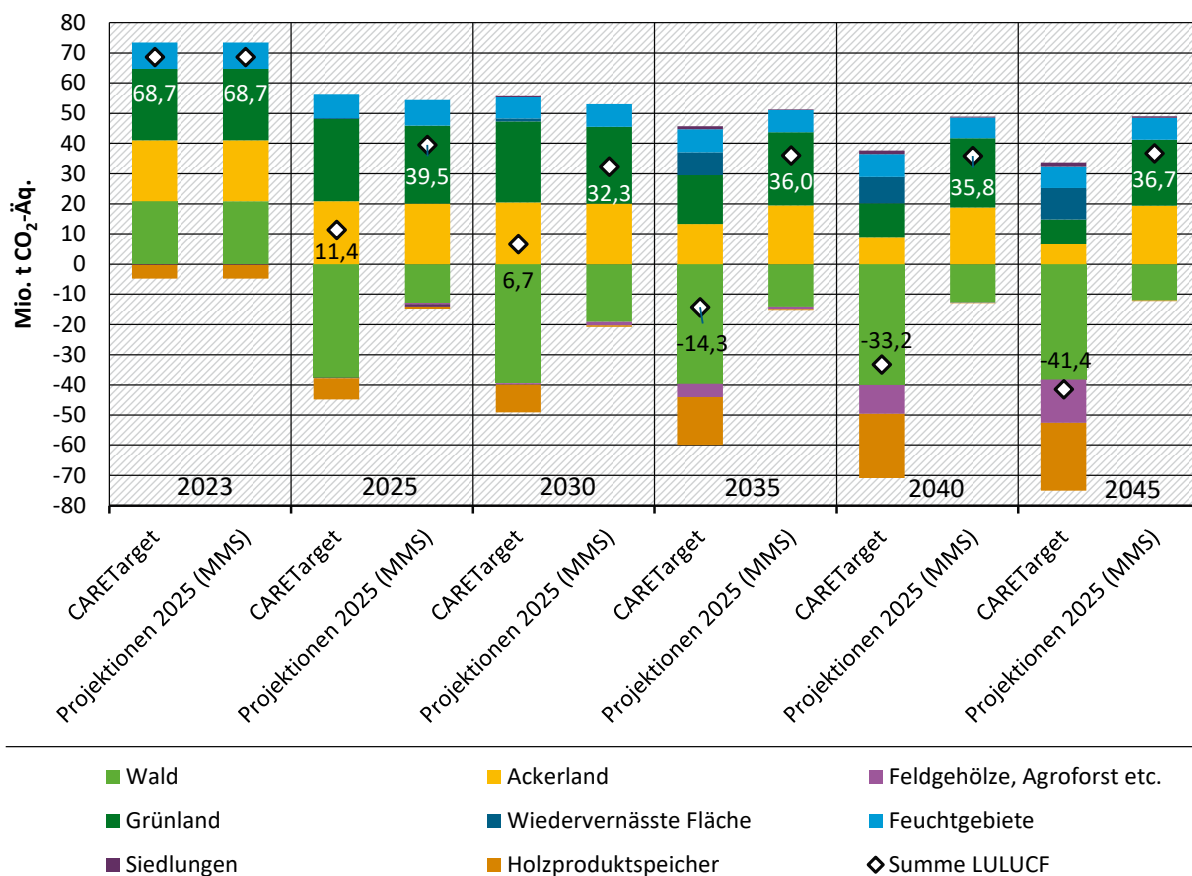
Die Maßnahme wird über ordnungsrechtliche Regelungen umgesetzt. Sie steht in keiner Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen und hat keine Auswirkung auf das zukünftige Energiesystem.

10.2.7 Weitere Maßnahmen

Maßnahmen zur Einstellung des Torfabbaus, zur Reduktion der Torfnutzung und zur Flächenneuinanspruchnahme durch Siedlungen werden wie im MWMS der Treibhausgas-Projektionen 2025 angenommen und parametrisiert (Förster et al. 2025a). Der Erhalt von Dauergrünland wird auf Basis der historischen Entwicklung fortgeschrieben und nicht als Maßnahme modelliert.

10.3 Zentrale Ergebnisse

Für das Jahr 2023 wird eine Netto-Bilanz im LULUCF-Sektor von 68,7 Mio. t CO₂-Äq. basierend auf der Submission 2025 berichtet. Mit den in CARETarget getroffenen Annahmen zu den Rahmenbedingungen für den Wald (siehe Details unten) und den umgesetzten Maßnahmen wird eine Treibhausgasminderung bis zum Jahr 2030 von -6,7 Mio. t CO₂-Äq. und bis zum Jahr 2045 von -41,4 Mio. t CO₂-Äq. erreicht (Abbildung 57, Abbildung 55). Damit wird das KSG-Ziel von -25 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2030 deutlich verfehlt, da aufgrund der kurzen Zeitspanne bis zum Jahr 2030 – angelehnt an das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario in den Treibhausgas-Projektionen der Bundesregierung 2025 – nur eine geringe Wirkung von Maßnahmen angenommen wird. Im Jahr 2045 wird aber mit den LULUCF-Maßnahmen in CARETarget das KSG-Ziel von -40 Mio. t CO₂-Äq. leicht übererfüllt.

Abbildung 56: Entwicklung der Treibhausgasemissionen und der Aufnahme durch Senken im Sektor LULUCF, CARETarget und Treibhausgas-Projektionen 2025 (MMS), 2023-2045

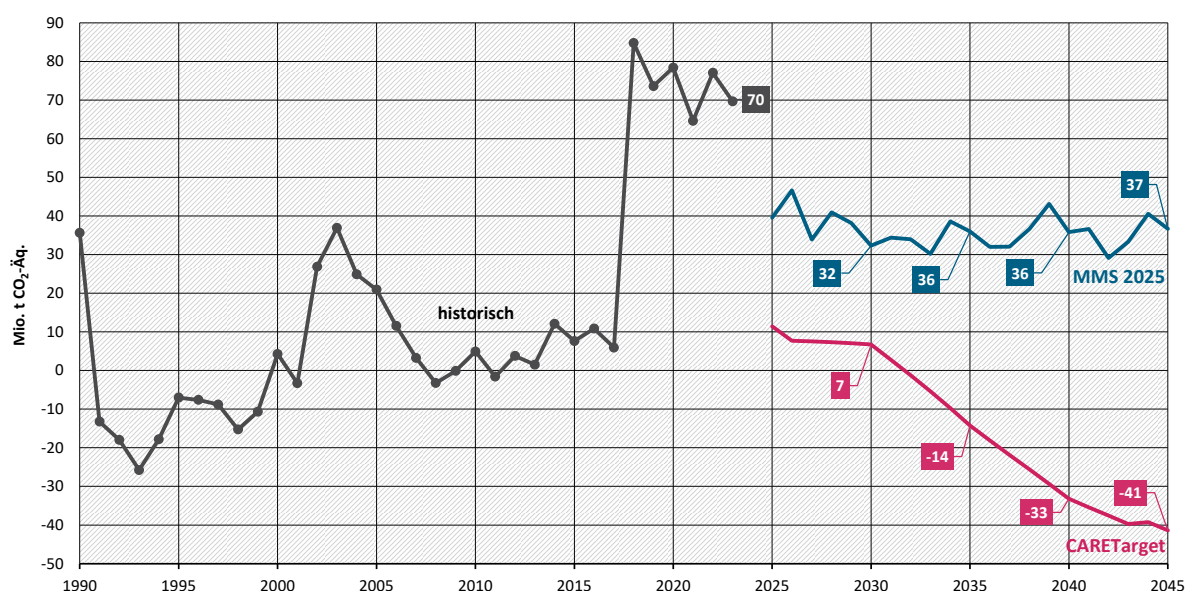
Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 31: Entwicklung der Treibhausgasemissionen und der Aufnahme durch Senken im Sektor LULUCF, CARETarget, 2023-2045

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Wald (K0322)	20,9	-37,6	-39,4	-39,7	-40,0	-38,3
Ackerland ohne Agroforst	20,1	20,9	20,5	13,3	8,9	6,6
Agroforst auf Acker- und Grünland	0,0	0,0	-0,5	-4,3	-9,6	-14,4
Grünland ohne Agroforst	23,7	27,2	26,8	16,3	11,3	8,1
Feuchtgebiete mit Wiedervernässung	0,0	0,2	1,1	7,4	8,8	10,5
Feuchtgebiete ohne Wiedervernässung	8,8	7,9	7,1	7,7	7,5	7,0
Siedlungen	-0,2	-0,2	0,4	1,0	1,2	1,3
Holzproduktspeicher	-4,6	-7,1	-9,2	-16,0	-21,2	-22,4
Sonstiges	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	68,7	11,4	6,7	-14,3	-33,2	-41,4

Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Abbildung 57: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Sektor LULUCF in CARETarget im Vergleich zu den Treibhausgas-Projektionen 2025, 2025-2045



Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Zu diesem Ergebnis tragen vor allem Maßnahmen zum Moorbodenschutz, Entwicklung des Holzproduktspeichers, zur Anlage von Agroforst und zur Waldbewirtschaftung sowie die Annahmen zu den Rahmenbedingungen für die Waldmodellierung bei (siehe Abbildung 58 und Tabelle 32).

- ▶ Als Rahmenbedingungen für die Waldmodellierung wird im Szenario CARETarget das Klima vergleichbar zu den Jahren 2003 bis 2022 und die Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 fortgeschrieben. Ohne weitere CARETarget-Maßnahmen zu berücksichtigen, lägen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2045 bei 33,2 Mio. t CO₂-Äq. Würde eine höhere Holzentnahme wie im Mittel der Jahre 2013-2022 angenommen, ergäben sich für das Jahr 2045 Treibhausgasemissionen in Höhe von 44,4 Mio. t CO₂-Äq. Bei zusätzlicher Fortschreibung des Klimas vergleichbar zu den Jahren 2013 bis 2022 statt 2003 bis 2022 wären Treibhausgasemissionen von 55,8 Mio. t CO₂-Äq. zu erwarten.
- ▶ Die Treibhausgasbilanz der Waldfläche verbessert sich durch eine hohe Entnahmerate an Mortalitätsholz und eine Reduktion der Laubholzentnahme. Im Jahr 2045 werden mit diesen Maßnahmen zusätzliche CO₂-Festlegungen von -13,6 Mio. t CO₂-Äq. erreicht.
- ▶ Ackerland und Grünland auf organischen Böden werden bis zum Jahr 2045 zu 82 %⁷⁴ vernässt und gehen in die Quellgruppe Feuchtgebiete⁷⁵ über. Dies ist der vorrangige Grund für die starke Abnahme der Treibhausgasemissionen beim Acker- und Grünland (siehe Flächenentwicklung in Abbildung 59). Die maximale Reduktion der Treibhausgasemissionen besteht bei einem Wasserstand von -5 cm unter Flur.⁷⁶ Um mögliche Wasserknappheit zu

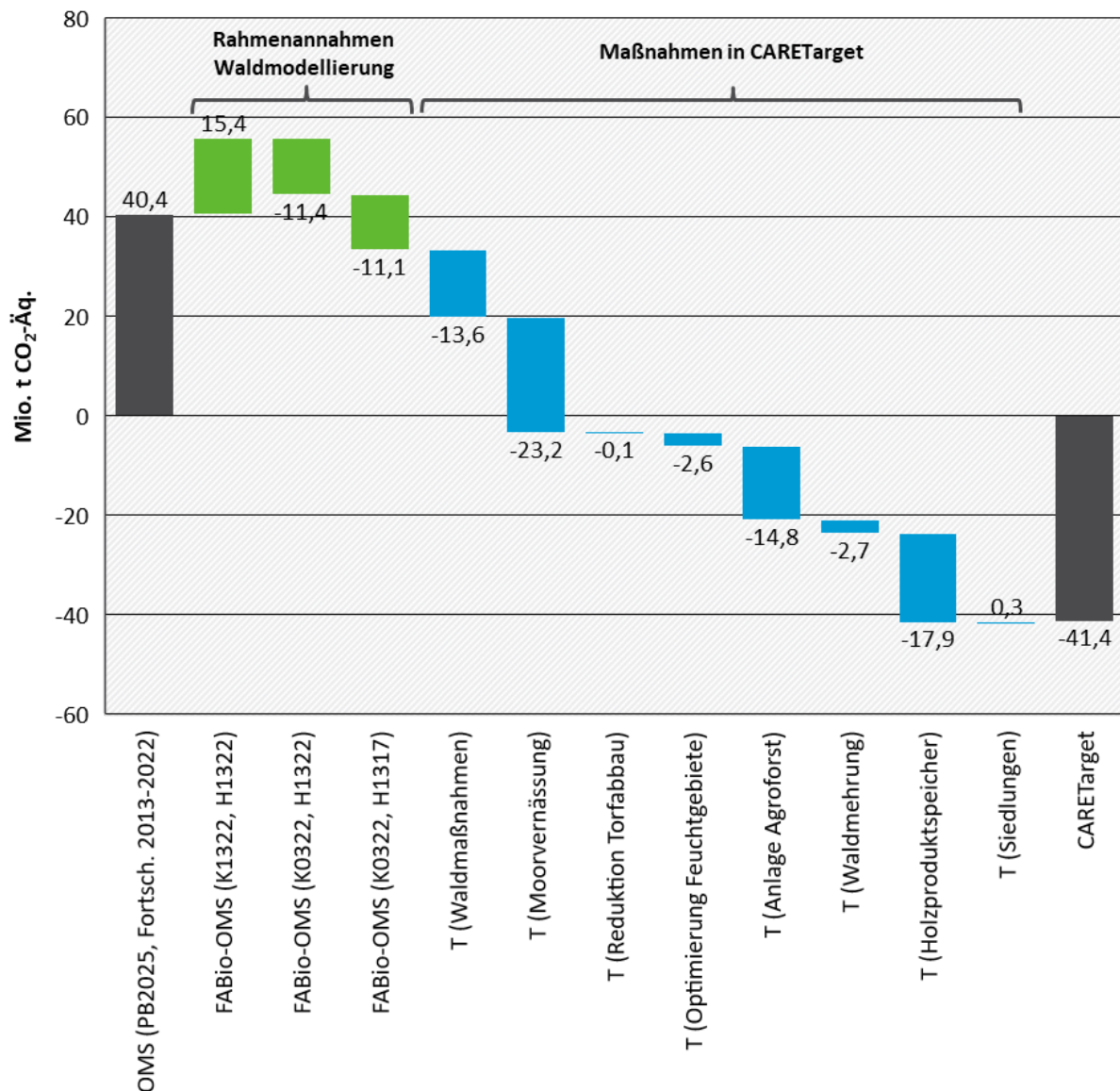
⁷⁴ Vergleichswert aus dem Jahr 2021 beträgt 1,353 Mio. ha (0,339 Mio. ha Acker-, 1,014 Mio. ha Grünland)

⁷⁵ Ab einem Wassertand von -20 cm unter Flur werden ehemalige Acker- und Grünlandflächen als Feuchtgebiete mit Wiedervernässung (siehe Abbildung 59) gewertet.

⁷⁶ Mit der optimalen Wiedervernässung können die Treibhausgasemissionen einer trockenen Bewirtschaftung von ca. 40 t CO₂-Äq. pro ha auf ca. 5 t CO₂-Äq. pro ha verringert werden (vgl. Zusammenstellung in Hennenberg und Böttcher (2023) nach Tiemeyer et al. (2020)). Diese Treibhausgasminderung wird sowohl für ungenutzte und als Paludikultur genutzte wiedervernässte Flächen angenommen. Neue Ergebnisse, dass mit dem Paludikulturanbau eine Treibhausgasbilanz von bis zu -10 t CO₂-Äq. pro ha erreicht werden kann (Prof. Dr. Matthias Dröser, mündliche Mitteilung), ist bei der Modellierung noch nicht berücksichtigt.

berücksichtigen, wird im Jahr 2045 für 40 % der wiedervernässten Flächen ein Wasserstand zwischen -10 bis -20 cm angenommen.

- ▶ In bestehenden Feuchtgebieten ohne Wiedervernässung wird durch die Optimierung der Wasserstände eine weitere Treibhausgasminderung von -2,6 Mio. t CO₂-Äq. bis zum Jahr 2045 erreicht.
- ▶ Der Torfabbau wird bis zum Jahr 2040 komplett eingestellt und die ehemaligen Abbauflächen werden wiedervernässt. Die Treibhausgasminderung beträgt etwa -2 Mio.t CO₂-Äq. Torfersatzstoffe stammen z.T. auch aus dem Torfmoosanbau auf vernässten Flächen (Paludikultur). In der historischen Entwicklung der letzten Jahre ist bereits ein deutlicher Rückgang des Torfabbaus zu verzeichnen, und die Einstellung des Torfabbaus wird durch Fortschreibung dieser Entwicklung bereits weitestgehend erreicht. Dies ist der Grund, weshalb in der Maßnahmenbewertung in Abbildung 58 und Tabelle 32 nur geringe Treibhausgasminderungen für die Reduktion des Torfabbaus ausgewiesen werden.
- ▶ Die Anlage von Feldgehölzen und Agroforstflächen auf landwirtschaftlichen Flächen führt im Jahr 2045 zu einer Senkenleistung von -14,8 Mio. t CO₂-Äq. Die Waldmehrung, mit der ebenfalls verstärkt Gehölze aufwachsen, erreicht im Jahr 2045 eine zusätzliche Senkenleistung von -2,7 Mio. t CO₂-Äq.
- ▶ In CARETarget wird entsprechend der Umsetzung des Kaskadenprinzip nach RED III verstärkt Holz als langlebige Produkte genutzt. Der damit verbundene zusätzliche Zufluss an Holzprodukten in den Holzproduktspeichert (siehe Abbildung 61) verbessert im Jahr 2045 die Treibhausgasbilanz im LULUCF-Sektor um -17,9 Mio. t CO₂-Äq.

Abbildung 58: Analyse Treibhausgasminderungen durch CARETarget-Maßnahmen und Auswirkungen der Rahmenbedingungen für die Waldmodellierung im Jahr 2045

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut, Förster et al. (2025a), OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario, K0322 bzw. K1322 = Klimafortschreibung auf Basis der Jahre 2003-2022 bzw. 2013-2022, H1317 bzw. H1322 = Fortschreibung der Holzentnahme auf Basis der Jahre 2013-2017 bzw. 2013-2022. T = Maßnahme im Szenario CARETarget.

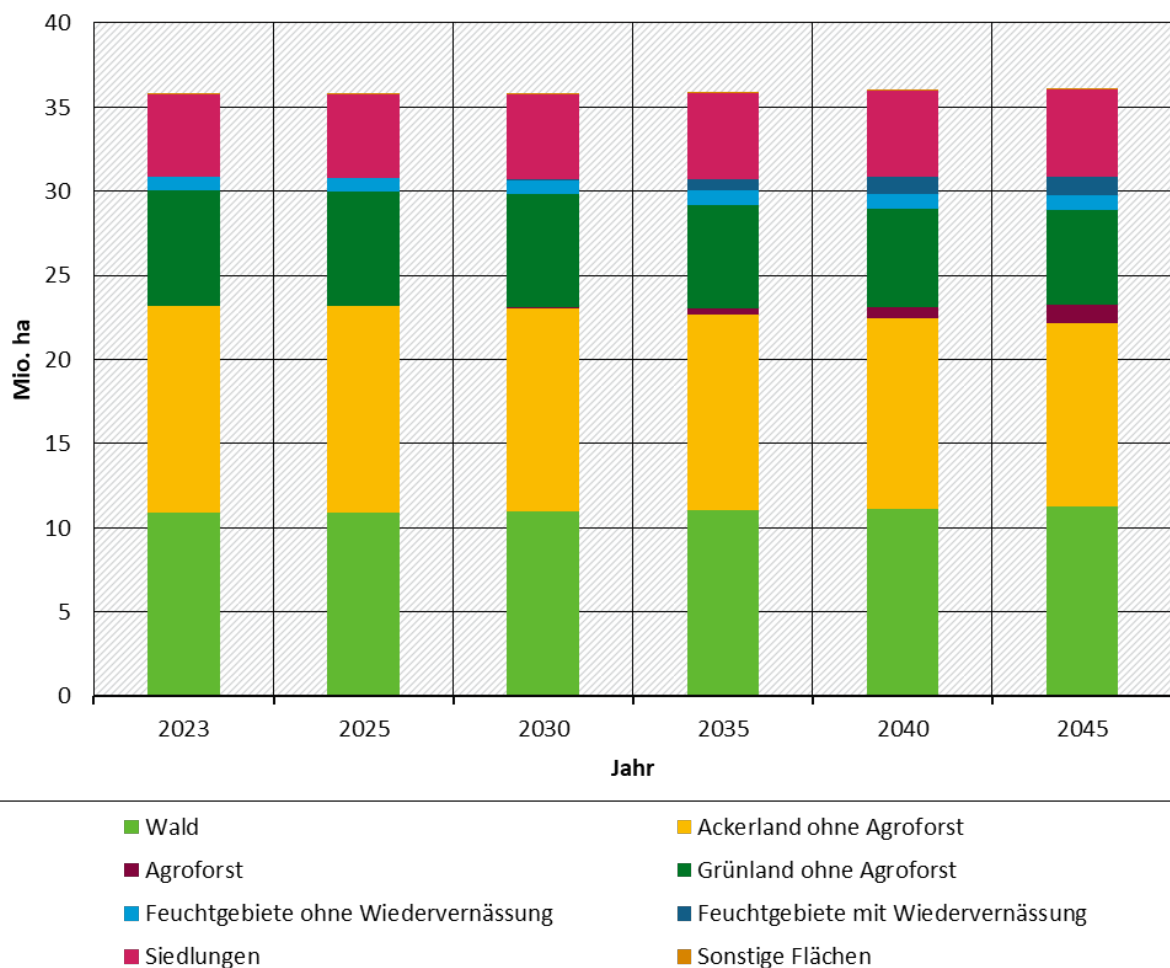
Tabelle 32: Analyse Treibhausgasminderungen durch CARETarget-Maßnahmen und Auswirkungen der Rahmenbedingungen für die Waldmodellierung, 2023-2045

Kategorie	2025	2030	2035	2040	2045
Mio. t CO ₂ -Äq.					
OMS (PB 2025, Fortschreibung 2013-2022)	41,1	36,0	40,4	39,9	40,4
FABio-OMS (K1322, H1322)	3,4	9,2	7,1	9,2	15,4
FABio-OMS (K0322, H1322)	-12,4	-12,4	-12,5	-12,5	-11,4
FABio-OMS (K0322, H1317)	-9,0	-9,0	-9,1	-9,1	-11,1

Kategorie	2025	2030	2035	2040	2045
T (Waldmaßnahmen)	-10,7	-10,8	-10,8	-10,8	-13,6
T (Moorvernässung)	-0,1	-0,9	-11,8	-20,0	-23,2
T (Reduktion Torfabbau)	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1
T (Optimierung Feuchtgebiete)	-0,8	-1,5	-1,7	-2,0	-2,6
T (Anlage Agroforst)	0,0	-0,5	-4,4	-9,8	-14,8
T (Waldmehrung)	0,0	-0,2	-1,0	-1,9	-2,7
T (Holzproduktspeicher)	0,0	-3,0	-10,5	-16,3	-17,9
T (Siedlungen)	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3
CARETarget	11,4	6,7	-14,3	-33,2	-41,4

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut, Förster et al. (2025a), OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario, K0322 bzw. K1322= Klimafortschreibung auf Basis der Jahre 2003-2022 bzw. 2013-2022, H1317 bzw. H1322 = Fortschreibung der Holzentnahme auf Basis der Jahre 2013-2017 bzw. 2013-2022. T = Maßnahme im Szenario CARETarget.

Die Maßnahmen in CARETarget führen zu einer Veränderung der Flächenkulisse in Deutschland (Abbildung 59, Tabelle 33, Abbildung 59). Bis zum Jahr 2045 steigt die Flächenkulisse der Feuchtgebiete von 0,8 Mio. ha auf 2,0 Mio. ha an. Parallel nimmt die Acker- und Grünlandfläche ab. Dies liegt vor allem an der Wiedervernässung von gut 1 Mio. ha Acker- und Grünland. Zudem ist der deutliche Anstieg der Agroforstflächen auf ehemaligen Acker- und Grünlandflächen von gut 1 Mio. ha bis zum Jahr 2045 zu sehen. Diese Flächen, auf denen Gehölze kultiviert werden, werden weiterhin der landwirtschaftlichen Fläche zugerechnet.

Abbildung 59: Entwicklung der Flächenkulisse im LULUCF-Sektor, CARETarget, 2023-2045**Tabelle 33: Entwicklung der Flächenkulisse im LULUCF-Sektor, CARETarget, 2023-2045**

Kategorie	2023	2025	2030	2035	2040	2045
	Mio. ha					
Wald	10,88	10,90	10,95	11,05	11,14	11,24
Ackerland ohne Agroforst	12,31	12,26	12,08	11,56	11,04	10,61
Agroforst auf Ackerland	0,00	0,00	0,03	0,23	0,53	0,81
Grünland ohne Agroforst	6,84	6,81	6,72	6,19	5,87	5,65
Agroforst auf Grünland	0,00	0,00	>0,01	0,09	0,17	0,25
Feuchtgebiete ohne Wiedervernässung	0,82	0,82	0,84	0,86	0,88	0,89
Feuchtgebiete mit Wiedervernässung	0,00	0,01	0,07	0,66	0,96	1,12
Siedlungen	4,91	4,95	5,06	5,12	5,16	5,18
Sonstige Flächen	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Gesamt	35,79	35,79	35,79	35,79	35,79	35,79

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut.

Im Szenario CARETarget wurde die Waldentwicklung mit dem Waldmodell FABio-Forest 2.0⁷⁷ abgebildet. In dieser Modellversion wird der Zuwachs klimasensitiv modelliert. Ausgehend von den Detaildaten der dritten Bundeswaldinventur (BWI-3) wurden die Ergebnisse der BWI-4 reproduziert, und zwar anhand historischer Eingangsparameter zur Holzentnahme, zur Witterung und zur Mortalitätsrate der Bäume (Pfeiffer et al. (2025b) und Pfeiffer et al. (2025a)). Da die Detaildaten zu den Erhebungspunkten der BWI-4 erst zu Anfang Juli 2025 vorlagen, erfolgte eine Fortschreibung auf Basis der Bestandsstrukturen an den Erhebungspunkten, die für das Jahr 2022 in FABio-Forest modelliert wurden. Das Jahr 2023 wurde auf Basis vorhandener Daten für die drei genannten Eingangsparameter modelliert.

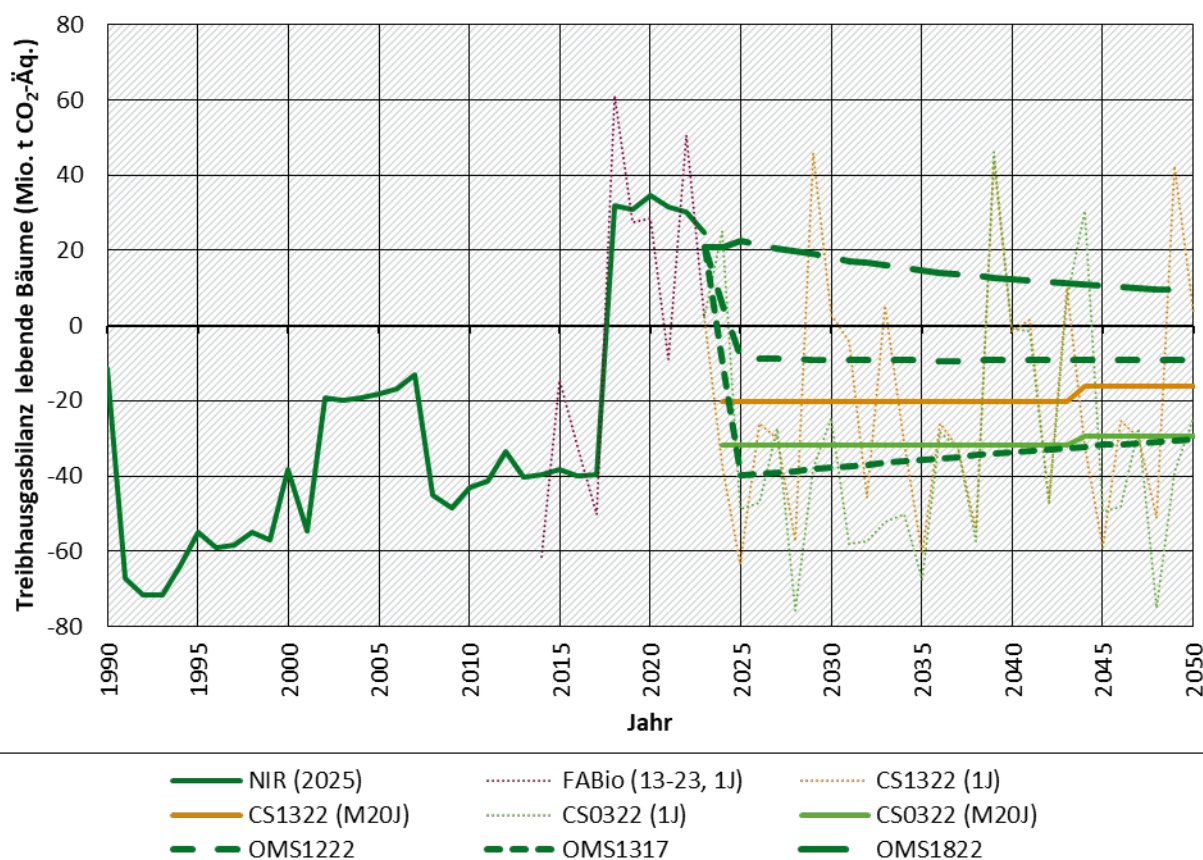
Ab dem Jahr 2024 erfolgte eine Fortschreibung der Waldentwicklung für zwei Klimaszenarien (siehe Parametrisierung in Abschnitt 10.2.4):

- ▶ CS0322: Etwa 25 % der Jahre sind durch extreme Wetterereignisse geprägt sind
- ▶ CS1322: Etwa 50 % der Jahre sind durch extreme Wetterereignisse geprägt sind.

Die Ergebnisse dieser beiden Szenarien zur Waldentwicklung sind als Sensitivitätsanalyse in Abbildung 60 dargestellt. Die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den fortgeschriebenen Jahren führt zu deutlichen Schwankungen in der jahresscharfen Treibhausgasbilanz der Waldfläche. Die Jahreswerte werden als Mittelwert für Bi-Dekaden dargestellt, da sich z.B. im Szenario CS0322 innerhalb dieser Zeitspanne Witterung der Jahre 2003 bis 2022 wiederholt, und nicht vorhergesagt werden kann, in welchem Jahr ein Wetterextrem auftritt. In der Bi-Dekade 2024-2043 erreicht im Szenario CS0322 die Waldfläche eine mittlere Senkenleistung von -31,9 Mio. t CO₂-Äq. Die ungünstigeren Klimaannahmen im Szenario CS1322 führen gegenüber dem Szenario CS0322 in dieser Bi-Dekade zu einer Verringerung der Senkenleistung um ca. 11,5 Mio. t CO₂-Äq. In der Bi-Dekade ab 2044 geht die Senkenleistung der Waldfläche etwas zurück und die Verringerung der Senkenleistung durch die ungünstigeren Klimaannahmen im Szenario CS1322 beläuft sich auf 13,2 Mio. t CO₂-Äq.

⁷⁷ FABio = Forestry and Agricultural Biomass Model. FABio-Forest ist ein distanzunabhängiges Einzelbaummodell, das auf Basis der Bundeswaldinventuren BWI-2 und BWI-3 die Entwicklung des Waldes simuliert (siehe Details in Böttcher et al. (2018), Pfeiffer et al. (2023) und Pfeiffer et al. (2025a)).

Abbildung 60: Sensitivitätsanalyse zur Treibhausgasbilanz der lebenden Bäume für zwei Klimaszenarien und deren Einordnung, CARETarget, 1990-2045



Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut. Der dargestellte Kohlenstoffpool der Waldfläche beschränkt sich auf die lebenden Bäume, die in FABio-Forest modelliert werden. Hinzu kommen die Kohlenstoffpools Boden, Totholz und Streu, modelliert in FABio-Land. 1J bzw. M20J = jahresscharfe Ergebnisse der Modellierung in FABio-Forest bzw. deren Darstellung als Mittelwert für Bi-Dekaden. FABio (13-23) = Reproduktion der Ergebnisse der Jahre 2013 bis 2022 aus der Kohlenstoffinventur aus dem Jahr 2017 (CI-2017) und der vierten Bundeswaldinventur (BWI-4)⁷⁸ sowie Abschätzung der Treibhausgasbilanz im Jahr 2023 anhand verfügbarer Treiber-Daten. CS0322 bzw. CS1322 = CARESupreme-Szenarien unter Fortschreibung der Witterungsbedingungen der Jahre 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (Harthan et al. 2025). OMS1222, OMS1317 bzw. OMS1822 = Waldmodellierung mit dem Matrixmodell des Thünen-Instituts (Rock et al. 2025) unter Fortschreibung der Bedingungen im Wald der Jahre 2012 bis 2022, 2013 bis 2017 bzw. 2018 bis 2022. NIR = National Inventory Report (UBA 2025b)

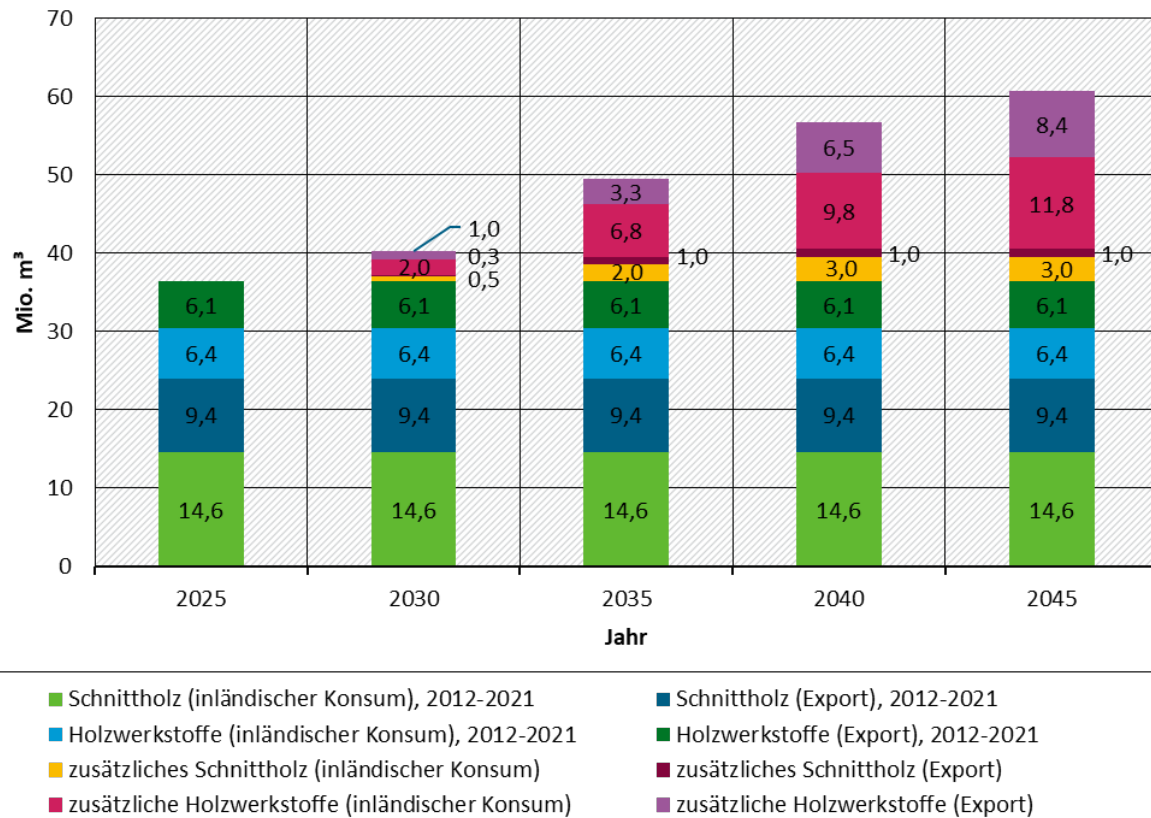
Mit der Steigerung der stofflichen Holznutzung erreicht der Holzproduktspeicher im Jahr 2045 einer netto-CO₂-Festlegung von -22,4 Mio. t CO₂/Jahr. Gegenüber dem Ausgangswert im Jahr 2023 entspricht dies mehr als einer Vervielfachung der CO₂-Festlegung (Abbildung 56). Die Höhe des Holzproduktspeichers ergibt sich aus „Abflüssen“ an Holzprodukten, die aus der Nutzung gehen, und „Zuflüssen“ an Holzprodukten, die neu genutzt werden. Abflüsse an Holzprodukten erfolgt anhand von Halbwertszeiten. In CARETarget wird – ausgehend von dem mittleren Zufluss an langlebigen Holzprodukten⁷⁹ der Jahre 2014-2023 – bis zum Jahr 2030 der Zufluss um 3,25 Mio. m³/Jahr und bis zum Jahr 2045 um 22,65 Mio. m³/Jahr erhöht (Abbildung 61). Der angenommene zusätzliche Zufluss an langlebigen Holzprodukten im Jahr 2045 zusammen mit der verringerten Holzernte (s.o.) entspricht etwa 50 % der heutigen

⁷⁸ <https://bwi.info/>

⁷⁹ Unter langlebigen Holzprodukten werden Schnittholz mit einer Halbwertszeit von 35 Jahren und Holzwerkstoffe mit einer Halbwertszeit von 25 Jahren verstanden.

Energieholznutzung aus dem Wald und aus Rest- und Abfallstoffen. Diese Veränderung der Holznutzung ist mit den Narrativen und Modellannahmen in den anderen Sektoren abgestimmt. In den energieverbrauchenden Sektoren steht entsprechend weniger Energieholz zur Verfügung. Langlebige Holzprodukte werden vor allem vermehrt im Gebäudesektor eingesetzt oder ins Ausland exportiert.

Abbildung 61: Zusätzlicher Zufluss und mittlerer Zufluss der Jahre 2014-2023 an langlebigen Holzprodukten in den Holzproduktspeicher, CARETarget, 2025-2045



Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut.

Quellenverzeichnis

AGEB - AG Energiebilanzen e.V. (2024a): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Jahre 2008-2020. Stand 2008 für die Jahre 1990-2002, Stand 2012 für die Jahre 2003-2010, Stand 2013 für das Jahr 2011, Stand 2014 für das Jahr 2012, Stand 2015 für das Jahr 2013, Stand 2016 für das Jahr 2014, Stand 2017 für das Jahr 2015, Stand 2018 für das Jahr 2016, Stand 2019 für das Jahr 2017, Stand 2021 für die Jahre 2018 und 2019, Stand 2022 für das Jahr 2020, Stand 2023 für das Jahr 2021, Stand 2024 für das Jahr 2022, AG Energiebilanzen e.V. Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 04.04.2025.

AGEB - AG Energiebilanzen e.V. (2024b): Satellitenbilanz Erneuerbare Energien, Jahre 2000-2020. Stand 2008 für die Jahre 2000-2002, Stand 2010 für die Jahre 2003-2008, Stand 2012 für die Jahre 2009-2010, Stand 2013 für das Jahr 2011, Stand 2014 für das Jahr 2012, Stand 2015 für das Jahr 2013, Stand 2016 für das Jahr 2014, Stand 2017 für das Jahr 2015, Stand 2018 für das Jahr 2016, Stand 2019 für das Jahre 2017, Stand 2020 für das Jahr 2018, Stand 2021 für das Jahr 2019, Stand 2022 für das Jahr 2020, Stand 2023 für das Jahr 2021, Stand 2024 für das Jahr 2022, AG Energiebilanzen e.V. Online verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 04.04.2025.

Bei der Wieden, M. (2025): Für einen planvollen und solidarischen Gas-Ausstieg, Für einen planvollen und solidarischen Gas-Ausstieg Wie kann ein Anspar-Fonds dazu beitragen, hohe Netzentgelte für Gasnetze mit immer weniger Kund*innen abzufedern? IEWT. Wien, 2025. Online verfügbar unter https://iewt2025.eeg.tuwien.ac.at/download/contribution/presentation/101/101_presentation_20250226_152706.pdf.

Bei der Wieden, M.; Braungardt, S.; Hörner, M.; Bischof, J. (2023): Minimum Energy Performance Standards for Non-Residential Buildings, EU requirements and national implementation. Öko-Institut und Institut Wohnen und Umwelt (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/publikation/minimum-energy-performance-standards-for-non-residential-buildings/>, zuletzt geprüft am 13.05.2024.

Bei der Wieden, M.; Braungardt, S.; Hünecke, K.; Stein, V. (2025a): Modellierung der Wirkung von Energiepreisveränderungen im Gebäudesektor, Wie wirken gering- und nicht-investive Maßnahmen? (Climate Change, 15/2025). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau.

Bei der Wieden, M.; Hopf, S.; Bürger, V. (2025b): Ein Weiße-Zertifikate-System als soziale und marktbasierte Lösung für den Koalitionsvertrag von CDU/CSU und SPD. Blog-Beitrag Öko-Institut (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/blog/ein-weisse-zertifikate-system-als-soziale-und-marktbasierte-loesung-fuer-den-koalitionsvertrag-von-cdu-csu-und-spd/>.

Biewald, A.; Pacholski, A.; Dippon-Deißler, U.; Klitzke, S.; Noll, L. (2025): Urease- und Nitrifikationsinhibitoren für Klima- und Umweltschutz: Chance oder Risiko? Unter Mitarbeit von Amelung, G.; Kaßner, F.; Schliebner, I. und Stock, F. (Texte, 76/2025). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/urease-nitrifikationsinhibitoren-fuer-klima>, zuletzt geprüft am 19.09.2025.

BLE (2025): Versorgung mit Fleisch in Deutschland im Kalenderjahr 2010-2024. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.). Online verfügbar unter https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/fleisch_node.html#doc622926bodyText1, zuletzt geprüft am 23.07.2025.

BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2023): Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/lebensmittelverschwendung/strategie-lebensmittelverschwendung.html>, zuletzt geprüft am 17.06.2025.

BMEL (Hg.) (2024): Gutes Essen für Deutschland, Ernährungsstrategie der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/ernaehrungsstrategie-kabinett.pdf?__blob=publicationFile&v=7, zuletzt geprüft am 27.12.2023.

BMEL, B. e. a. (2021): Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Klimaschutz/moorbodenschutz-blzv.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 18.01.2024.

BMUKN (2025): Weiterentwicklung des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (Stand: 26.09.2025), Vorschlag des BMUKN. Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hg.). Online verfügbar unter https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/natuerlicher_klimaschutz/250926_weiterentwicklung_ank.pdf.

BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Nationale Moorschutzstrategie. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_moorschutzstrategie_bf.pdf, zuletzt geprüft am 07.03.2024.

BMUV (2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Kabinettsbeschluss vom 29. März 2023. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ank_publikation_bf.pdf, zuletzt geprüft am 20.11.2024.

Böttcher, H.; Hennenberg, K.; Winger, C. (2018): FABio-Waldmodell, Modellbeschreibung Version 0.54 Stand Nov. 2017. Öko-Institut (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/FABio-Wald-Modellbeschreibung.pdf>.

Braungardt, S.; Kenkmann, T.; Schumacher, K.; Bei der Wieden, M.; Cludius, J.; Claas-Reuther, J. (2024): Sozialgerechte Förderung für energetische Sanierungen im Mietwohnbereich. Deutscher Mieterbund; Averdung Ingenieure & Berater. Öko-Institut (Hg.). Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/publikation/sozialgerechte-foerderung-fuer-energetische-sanierungen-im-mietwohnbereich/>, zuletzt geprüft am 02.05.2025.

BReg (2022): Klimaschutzbericht 2022 (Drucksache, 20/3790). Deutscher Bundestag (Hg.). Online verfügbar unter <https://dserver.bundestag.de/btd/20/037/2003790.pdf>.

BReg (2023): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 01.12.2023.

Bürger, V.; Wiegmann, K. (2007): Energieeinsparquote und Weiße Zertifikate - Potenziale und Grenzen einer Quotenregelung als marktorientiertes und budgetunabhängiges Lenkungsinstrument zur verstärkten Durchdringung von nachfrageseitigen Energieeinsparmaßnahmen. Öko-Institut (Hg.). Freiburg/Darmstadt. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/312/DP-2007-002.pdf>, zuletzt geprüft am 03.09.2025.

Cischinsky, H.; Diefenbach, N. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt (Hg.). Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2024.

Cunningham, M.; Fink, A.; Baier, U. (2015): Methanemissionen auf Kläranlagen. In: *Aqua & Gas* (3), S. 60–62. Online verfügbar unter

https://www.researchgate.net/publication/274677491_Methanemissionen_auf_Klaranlagen, zuletzt geprüft am 03.09.2025.

destatis (2025): Landwirtschaftliche Betriebe, Landwirtschaftlich genutzte Fläche: Deutschland, Jahre, Bodennutzungsarten., Code 41271-0002.

EC - European Commission (2022): Impact Assessment Report Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014, Commission Staff Working Document. SWD(2022) 96 final. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/s/z7a4>, zuletzt geprüft am 14.05.2025.

EC - European Commission (2023): Food waste reduction targets, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2008/98/EC on waste. European Commission (Hg.). Online verfügbar unter https://food.ec.europa.eu/safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/food-waste-reduction-targets_en, zuletzt geprüft am 13.09.2023.

ENTSO-G; ENTSO-E (Hg.) (2022): TYNDP 2022 Scenario Report, Version April 2022. Brussels. Online verfügbar unter https://2022.entsos-tyndp-scenarios.eu/wp-content/uploads/2022/04/TYNDP2022_Joint_Scenario_Full-Report-April-2022.pdf, zuletzt geprüft am 03.09.2025.

Eurostat (2024): Food waste and food waste prevention by NACE Rev. 2 activity - tonnes of fresh mass, env_wasfw. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasfw__custom_13543585/default/table, zuletzt geprüft am 30.10.2024.

Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Wern, B.; Pertagnol, J.; Baur, F.; Hünecke, K.; Dehoust, G.; Bulach, W.; Wiegmann, K. (2019): BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor), Abschlussbericht (Texte). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bioreest-verfuegbarkeit-nutzungsoptionen-biogener>, zuletzt geprüft am 01.12.2025.

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 (Texte, 161/2023). Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung; Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik der RWTH Aachen University. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau.

FNB Gas - Die Fernleitungsnetzbetreiber (2023): Netzentwicklungsplan Gas 2022–2032, Entwurf. Online verfügbar unter https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2023/03/2023_03_31_FNB_GAS_2022_P4_NEP_Entwurf_DE.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2023.

Förster, H.; Repenning, J.; Borkowski, K.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Haller, M.; Hennberger, K.; Jörß, W.; Kasten, P.; Koch, M.; Ludig, S.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; ... Vos, C. (2025a): Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projektionsbericht 2025). In: Treibhausgas-Projektionen für Deutschland. Online verfügbar unter DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7906>, zuletzt geprüft am 17.12.2025.

Förster, H.; Repenning, J.; Borkowski, K.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Haller, M.; Hermann, H.; Jörß, W.; Kasten, P.; Koch, M.; Ludig, S.; Moosmann, L.; Scheffler, M.; Bei der Wieden, M.; Wiegmann, K.; ... Vos, V. (2025b): Zentrale sektorbezogene Annahmen für die Treibhausgas-Projektionen 2025. Umweltbundesamt (Hg.). DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7812>

Förster, H.; Repenning, J.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Görz, W. K.; Harthan, R. O.; Hermann, H.; Jörß, W.; Kasten, P.; Ludig, S.; Matthes, F. C.; Mendelevitch, R.; Scheffler, M.; Bei der Wieden, M.; Wiegmann, K.; Blömer, R.;

Brugger, H.; Eckstein, J.; Fleiter, T.; ... Walther, C. (2024): Instrumente für die Treibhausgas-Projektionen 2025. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7632>.

Fraunhofer ISI (Hg.) (2024): Direkte Elektrifizierung von industrieller Prozesswärme, Eine Bewertung von Technologien, Potenzialen und Zukunftsaussichten für die EU. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Industrie. Online verfügbar unter https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projects/2023/2023-20_IND_Electrification_Industrial_Heat/A-IN_340_Electrification_Industrial_Heat_DE_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2025.

GEG-E (2023): Deutscher Bundestag. Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung (Drucksache 20/6875), GEG-E. Online verfügbar unter <https://dserver.bundestag.de/btd/20/068/2006875.pdf>.

Gretzschel, O.; Schmitt, T. G.; Hansen, J.; Siekmann, K.; Jakob, J. (2012): Schlammfäulung statt aerober Stabilisierung - Trend der Zukunft? In: Korrespondenz Abwasser Abfall 59 (12), S. 1144–1152. Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10993/7867>, zuletzt geprüft am 03.09.2025.

Gschrey, B.; Behringer, D.; Kleinschmidt, J.; Jörß, W.; Liste, V.; Ludig, S.; Wissner, N.; Birchby, D.; Dubey, J.; Hekman, J. (2022): Support contract for an Evaluation and Impact Assessment for amending Regulation (EU) No 517/2014 on fluorinated greenhouse gases, Impact assessment final report. Öko-Recherche; Öko-Institut; Ricardo. European Commission Directorate-General for Climate Action (Hg.). Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/publication-detail/-/publication/8791ce8d-bad6-11ec-b6f4-01aa75ed71a1>, zuletzt geprüft 17.12.2025.

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.; ... Vos, C. (2024): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7510>.

Harthan, R. O.; Repenning, J.; Bei der Wieden, M.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Cook, V.; Emele, L.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Kasten, P.; Ludig, S.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Pfeiffer, M.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Wiegmann, K.; Bussmann, S.; Fleiter, T.; ... Yu, S. (2025): Ambitionierte Pfade für Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARESupreme und CARETech, Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE). Umweltbundesamt (Hg.). DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7983>.

Hennenberg, K.; Böttcher, H. (2023): Biomasse und Klimaschutz, Im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Analysen zu aktuellen klimapolitischen Fragen im Bereich der Energieeffizienz insbesondere in den Sektoren Industrie, GHD und Gebäude“ (67KE0064). Öko-Institut (Hg.). Berlin, Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Biomasse-und-Klimaschutz_BMWK.pdf, zuletzt geprüft am 24.11.2023.

Hennenberg, K.; Pfeiffer, M.; Böttcher, H.; Reise, J. (2025): Analysen zur THG-Bilanz im LULUCF-Sektor und Ergebnisse klimasensitiver Szenarien im Waldmodell FABio-Forest (Foliensatz). Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Anaylse_LULUCF_Waldmodellierung.pdf.

Hörner, M. (2022): Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude ENOB:dataNWG, Teilbericht Strukturdaten: Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung von Gebäudehülle und haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude. Unter Mitarbeit von Cischinsky, H. und Diefenbach, N. Institut Wohnen und Umwelt (Hg.). Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2022_IWU_Hoerner_ENOBdataNWG-Teilbericht_Strukturdaten-Nichtwohngebaeude.Modernisierung-Huelle-tAnl-Solar.pdf, zuletzt geprüft am 22.08.2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2019): 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 - Waste. IPCC. Calvo Buendia, E.; Tanabe, K.; Kranjc, A.; Baasansuren, J.; Fukuda, M.; Ngarize S. et al. (Hg.). Switzerland. Online verfügbar unter <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>, zuletzt geprüft am 17.06.2025.

Kemmler, A.; Kreidelmeyer, S.; Limbers, J.; Lübbers, S.; Muralter, F. (2025): Rahmendaten für die Treibhausgas-Projektionen 2025. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7765>.

Klinski, S.; Keimeyer, F.; Hermann, H.; Braungardt, S.; Zerkawy, F.; Meemken, S.; Collmer, F. (2025): Strompreisentlastungen bei Nutzung für Wärmepumpen, Rechtliche Spielräume und Wirtschaftlichkeitsanalysen. Teilbericht. In: Climate change (16/2025). DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7589>.

Korteland, M.; Bruyn, S. de; Koning, J. d.; van de Pol, Jan, Sinke, Pelle (2023): Milch, Eier und Fleisch auf eigene Rechnung: Schätzungen externer Kosten und mögliche politische Maßnahmen, um diese zu internalisieren (Deutschland), CE Delft. Online verfügbar unter https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/230523_Fleischabgabe_CE_Delft_220109_Milch_Eier_und_Fleisch_auf_eigene_Rechnu_def.pdf.

Kreipl, E.; Hesse, T.; Bei der Wieden, M. (2024): Steigende Netzentgelte für Erdgas: Wie kann ein planvoller Gasausstieg gelingen? Öko-Institut (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/blog/steigende-netzentgelte-fuer-erdgas-wie-kann-ein-planvoller-gasausstieg-gelingen/>.

Kuhla, B. (2025): Wirksamkeit und Kontrolle der Methanminderung nach Fütterung von 3-Nitrooxypropanol an Milchkühe, Vortrag im Rahmen der Webinar-Serie: Agrarforschung zum Klimawandel. Online verfügbar unter <https://www.dafa.de/wp-content/uploads/DAFA-Webinar-THG-Bilanzierung-20250515-Kuhla.pdf>.

LAGA - Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (Hg.) (2022): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 10-1 „Deponiegas“. LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“. Online verfügbar unter https://www.laga-online.de/documents/bqs-10-1-deponiegas-2021-11-10-veroeffentlichte-endfassung-2022-03-01a_1657526591.pdf, zuletzt geprüft am 06.11.2024.

Luthardt, V.; Birr, F.; Wenzl, F.; Hennenberg, K.; Reise, J.; Winger, C. (2025, in Vorbereitung): Entwicklung und Begleitung der Erprobung naturschutzfachlicher Mindeststandards für den Erhalt und die Förderung der Biodiversität bei künftigen Paludikulturen auf landwirtschaftlichen Flächen (BfN-Skript). Bundesamt für Naturschutz (Hg.).

Pérez Domínguez, I.; Fellmann, T.; Witzke, P.; Weiss, F.; Hristov, J.; Himics, M.; Barreiro-Hurlé, J.; Gómez-Barbero, M.; Leip, A. (2020): Economic assessment of GHG mitigation policy options for EU agriculture, A closer look at mitigation options and regional mitigation costs - EcAMPA 3 (JRC Technical Report). Joint Research Centre (Hg.). Luxembourg. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cce2a349-8052-11ea-b94a-01aa75ed71a1/language-en>, zuletzt geprüft am 14.06.2024.

Petschow, U.; Zimmermann, T.; Distelkamp, M.; Lutz, C. (2008): Wirkungen fiskalischer Steuerungsinstrumente auf Siedlungsstrukturen und Personenverkehr vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hg.). Online verfügbar unter https://www.ioew.de/publikation/wirkungen_fiskalischer_steuerungsinstrumente_auf_siedlungsstrukturen_und_personenverkehr_vor_dem_hi, zuletzt geprüft am 05.09.2020.

Pfeiffer, M.; Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Reise, J.; Mantau, U. (2023): Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK, Öko-Institut Working Paper 4/2023. Öko-Institut (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-BioSINK.pdf>, zuletzt geprüft am 24.11.2023.

Pfeiffer, M.; Hennenberg, K.; Reise, J.; Benndorf, A.; Böttcher, H.; Nieberg, M. (2025a): Szenarien der Waldentwicklung unter veränderten Klimabedingungen, Sachbericht zum Teilvorhaben 1 und Teilvorhaben 4

im Verbundvorhaben DIFENS. Öko-Institut (Hg.). Berlin, Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/DIFENS_Sachbericht_Waldmodellierung.pdf, zuletzt geprüft am 25.09.2025.

Pfeiffer, M.; Nieberg, M.; Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Reise, J.; Benndorf, A. (2025b): Szenarien der Waldentwicklung unter veränderten Klimabedingungen mit dem Modell FABio-Forest., Broschüre erstellt im Rahmen des Projekts DIFENS. Öko-Institut (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/DIFENS-Waldmodellierung.pdf>, zuletzt geprüft am 22.07.2025.

Prognos (2025): Rahmendaten für die Treibhausgas-Projektionen 2025 - Datentabelle. Unter Mitarbeit von Öko-Institut e. V. Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter https://datacube.uba.de/vis?lc=de&df%5Bds%5D=dc-release&df%5Bid%5D=DF_CROSS_PROJECTION_REPORT_BASIC&df%5Bag%5D=UBA&df%5Bvs%5D=1.0&av=true&dq=...&pd=2025%2C&to%5BTIME_PERIOD%5D=false&pg=0, zuletzt geprüft am 13.11.2026.

Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P.; Adlunger, K.; Balzer, F.; Berger, J.; Bernicke, M.; Bertram, A.; Biewald, A.; Dettling, F.; Drosihn, d.; Fee, E.; Futterlieb, M.; Gromke, U.; Günther, D.; Hain, B.; Herbener, R.; Hofmeier, K.; ... Werlein, M. (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität, RESCUE-Studie (Climate Change). Umweltbundesamt (Hg.). DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-2677>

RED III (2023): European Parliament; Council of the European Union. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652, RED III. In: Official Journal of the European Union (O.J.). Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413, zuletzt geprüft am 28.10.2024.

Repenning, J.; Harthan, R. O.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Göckeler, K.; Görz, W. K.; Hacker, F.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Kasten, P.; Kreye, K.; Ludig, S.; Matthes, F. C.; Moosmann, L.; Nissen, C.; ... Steinbach, J. (2023): Klimaschutzinstrumente-Szenario 2030 (KIS-2030) zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030, Teilbericht (Climate Change, 30/2023). Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-2617>.

Rock, J.; Adam, S.; Bender, S.; Dunger, K.; Rüter, S.; Stümer, W. (2025): Effects of the 2018 - 2020 disturbances on the projected carbon balance of German forests and LULUCF climate protection targets. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen Institut. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn069665.pdf.

Schaper, J.; Franks, M.; Koch, N.; Plinke, C.; Sureth, M. (2025): On the emission and distributional effects of a CO₂eq-tax on agricultural goods—The case of Germany. In: Food Policy 130, S. 102794. DOI: 10.1016/j.foodpol.2024.102794.

Schlomann, B.; Rohde, C.; Bentele, S. (2021): Mögliche Ausgestaltung eines Energieeinsparverpflichtungssystems für Deutschland, Abschlussbericht (Climate Change). Umweltbundesamt (Hg.). DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-2666>.

Schmaus, M.; Bawidamann, J.; Friedrich, M.; Haberl, M.; Trenkwalder, L.; Fellendorf, M.; Uhlig, J.; Lohse, R.; Pestel, E. (2023): Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung (Texte). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-6499>.

Sozialklimarat (2025): Update der Persona-Analyse: Deutsche Haushalte und ihre Anpassungsfähigkeit in der Klimatransformation. Online verfügbar unter <https://www.sozial-klimarat.de/post/update-der-persona-analyse-deutsche-haushalte-und-ihre-anpassungsf%C3%A4higkeit-in-der-klimatransformati>.

Springmann, M.; Dinivitzer, E.; Freund, F.; Jensen, J. D.; Bouyssou, C. G. (2025): A reform of value-added taxes on foods can have health, environmental and economic benefits in Europe. In: *Nat Food* 6 (2), S. 161–169. DOI: 10.1038/s43016-024-01097-5.

Teufel, J.; Antony, F.; Albus, L.; Förster, H.; Gsell, M.; Hermann, A.; Hünecke, K.; Nungesser, L.; Schön-Blume, N.; Schumacher, K.; Kaufmann, S.; Bogler, S.; Stokar, T.; Loumeau, N.; Oberpriller, Q.; Seo, H. (2025): Internalisierung der externen Umweltkosten von Lebensmitteln, Abschlussbericht (Texte, 121/2025). Öko-Institut, INFRAS, Umweltbundesamt. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7862>.

Thiele, S. (2008): Elastizitäten der Nachfrage privater Haushalte nach Nahrungsmitteln – Schätzung eines AIDS auf Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2003. In: *Agrarwirtschaft* 57 (5), S. 258–268. Online verfügbar unter http://www.gjae-online.de/news/pdfstamps/freeoutputs/GJAE-470_2008.pdf.

Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E. A.; Augustin, J.; Bechtold, M.; Beetz, S.; Beyer, C.; Ebli, M.; Eickenscheidt, T.; Fiedler, S.; Förster, Christoph, Gensior, Andreas; Giebels, M.; Glatzel, S.; Heinichen, J.; Hoffmann, M.; Höper, H.; Jurasinski, G.; Laggner, A.; Leiber-Sauheitl, K.; ... Drösler, M. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. In: *Ecological Indicators* 109. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>.

UBA - Umweltbundesamt (2023): Datenauspielung aus der UBA-Datenbank "Zentrales System Emissionen" (ZSE). E-Mail mit Öko-Institut, 06.10.2023.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2013): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 (Hintergrund). Dessau-Roßlau. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-3469>

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2022): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2020 (Climate Change). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-2962>

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2024): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand: Februar 2024. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren>, zuletzt geprüft am 15.08.2024.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2025a): Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/datentabelle_zu_den_treibhausgas-emissionen_2024.xlsx, zuletzt geprüft am 31.03.2025.

UBA (2025b): Submission under the United Nations Framework Convention 2025, National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2023. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NID_Germany_2025.pdf?download, zuletzt geprüft am 16.05.2025.

Wehnemann, K.; Koßmann, M.; Purr, K.; Pagel, M.; Steinbrenner, J.; Voß-Stemping, J. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 – Ergebnisse kompakt. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7821>.