

TEXTE

125/2025

Aktualisierung TREMOD 2024

Endbericht

von:

Michel Allekotte, Kirsten Biemann, Marie Colson, Christoph Heidt, Jan Kräck, Wolfram Knörr
Ifeu Heidelberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 125/2025

Projektnummer 191813
FB001883

Aktualisierung TREMOD 2024

Endbericht

von

Michel Allekotte, Kirsten Biemann, Marie Colson, Christoph
Heidt, Jan Kräck, Wolfram Knörr
Ifeu Heidelberg

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:

Ifeu Institut
Wilckensstraße 3
69121 Heidelberg

Abschlussdatum:

August 2025

Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Erik Hoffmann, Philipp Höltig

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8069>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2025

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

Kurzbeschreibung: Aktualisierung TREMOD 2024

Das Emissionsberechnungsmodell „TREMOD“ (Transport Emission Model) bildet den motorisierten Verkehr in Deutschland hinsichtlich seiner Verkehrs- und Fahrleistungen, Energieverbräuche und den zugehörigen Luftschaadstoffemissionen für den Zeitraum 1960 bis 2050 ab. Es wurde vom ifeu-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelt und wird seit mehreren Jahren kontinuierlich fortgeschrieben.

Das aktuelle Vorhaben diente der Aktualisierung und Ergänzung von TREMOD. Für das Emissionsinventar wurden die Bestands- und Fahr- und Verkehrsleistungsdaten bis zum Jahr 2023 fortgeschrieben. Für das Jahr 2024 werden die „Vorläufigen Emissionsdaten des Vorjahres“ (VEdV 2023) nach KSG ermittelt. Anschließend wird das Trendszenario bis zum Jahr 2050 aktualisiert.

Die aktuelle Fortschreibung der Basisdaten bis zum Jahr 2023 für die Emissionsberichterstattung im Nationalen Inventarbericht 2025 ist in der TREMOD-Version 6.61 vom 30.09.2024 enthalten. Diese Arbeiten werden im vorliegenden Sachstandsbericht beschrieben.

Die „Vorläufigen Emissionsdaten des Vorjahres“ (VEdV 2024) nach KSG ist in der TREMOD-Version 6.62 vom 31. März 2025 enthalten. Die Aktualisierung des Trendszenarios ist in der TREMOD-Version 6.63 vom 15.08.2025 enthalten.

Abstract: Update of the TREMOD 2024

The emission calculation model “TREMOD” (Transport Emission Model) depicts motorized traffic in Germany with regard to its traffic and driving performance, energy consumption and the associated air pollutant emissions for the period 1960 to 2050. It was developed by the ifeu Institute on behalf of the Federal Environment Agency and has been continuously updated for several years.

The current project served to update and supplement TREMOD. For the emissions inventory, the inventory and driving and transport performance data were updated up to 2023. For 2024, the “Preliminary emissions data of the previous year” (VEdV 2024) will be determined in accordance with KSG in March 2025. The trend scenario up to the year 2050 will be updated in May 2025.

The current update of the baseline data up to 2023 for emissions reporting in the National Inventory Report 2025 is contained in TREMOD version 6.61 dated 30 September 2024. The “Preliminary emissions data for the previous year” (VEdV 2024) in accordance with the KSG is contained in TREMOD version 6.62 dated March 2025. The update of the trend scenario is contained in TREMOD version 6.63 dated August 2025.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Zusammenfassung.....	19
Summary	23
1 Grundlagen und Kennzahlen.....	27
1.1 Energetische Kennzahlen und Umrechnungsfaktoren	27
1.2 Treibhausgasemissionen.....	29
1.3 Schwefeldioxid- und Bleiemissionen	30
1.4 Emissionsfaktoren der Vorketten	31
1.4.1 Konventionelle Kraftstoffe.....	31
1.4.2 Strom.....	32
1.4.3 Biokraftstoffe	33
2 Aktualisierung der Zeitreihe 1990-2023.....	34
2.1 Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr.....	34
2.2 Straßenverkehr	35
2.2.1 Fahrzeugbestand.....	35
2.2.2 Fahrleistungen	41
2.2.2.1 Personenverkehr.....	41
2.2.2.2 Güterverkehr	44
2.2.2.3 Zeitreihe der Fahrleistungen 1990-2023	47
2.2.3 Energieverbrauch und Emissionsfaktoren	48
2.2.3.1 Emissionsfaktoren.....	48
2.2.3.2 Anpassung der Effizienzsentwicklung bei Pkw, LNF, SNF und Bus.....	48
2.3 Schienenverkehr	50
2.3.1 Abgrenzung Schienenverkehr	50
2.3.2 Berechnungsmethodik	50
2.3.3 Verkehrs- und Betriebsleistungen	51
2.3.4 Energieverbrauch.....	53
2.3.5 Emissionsfaktoren.....	55
2.4 Binnenschifffahrt.....	56
2.4.1 Abgrenzung und Berechnungsmethodik Binnenschifffahrt	56
2.4.2 Verkehrs- und Fahrleistungen.....	56

2.4.3	Energieverbrauch.....	57
2.4.4	Emissionsfaktoren.....	58
2.5	Flugverkehr	59
2.5.1	Abgrenzung Flugverkehr.....	59
2.5.2	Berechnungsmethodik.....	59
2.5.2.1	Bottom up Berechnung.....	59
2.5.2.2	Top-Down Abgleich für die Emissionsberichterstattung.....	61
2.5.3	Verkehrs- und Betriebsleistungen	62
2.5.4	Energieverbrauch.....	64
2.5.5	Emissionsfaktoren.....	65
2.6	Energiebilanz.....	66
2.6.1	Vergleich Kraftstoffabsatz mit dem Inlandsverbrauch	69
2.7	Ergebnisse	73
2.7.1	Energieverbrauch und Emissionen	73
2.7.1.1	Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs nach Energieträgern.....	74
2.7.1.2	Endenergieverbrauch aller Verkehrsträger	75
2.7.1.3	Direkte Abgasemissionen des Straßenverkehrs	76
2.7.1.4	Gesamte Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Territorialprinzip	78
2.7.1.5	Treibhausgasemissionen des Verkehrs im nationalen Inventarbericht (NIR)	79
2.7.2	Ursachen für Änderungen gegenüber der Version 6.53.....	81
2.7.2.1	Fahrleistungen Straßenverkehr	82
2.7.2.2	Energieverbrauch Straßenverkehr.....	82
2.7.2.3	Stickstoffoxidemissionen	86
2.7.2.4	Abgas-Partikelemissionen.....	89
2.7.3	Vergleich der VEdV mit dem Inventar 2023	92
2.7.3.1	Entwicklung der Absatzzahlen und der Aufteilung in die Quellkategorien für das Jahr 2023.....	92
2.7.3.2	THG-Emissionen des Verkehrs 2023 in den VEdV und im Inventar.....	94
3	Vorläufige Emissionsdaten des Vorjahrs (VEdV 2024)	96
3.1	Mobile Quellen in den Kategorien Haushalte, Bauwirtschaft, Landwirtschaft, GHD und Militär.....	96
3.2	Flugverkehr	97
3.3	Nationaler Schiffsverkehr.....	98
3.4	Schienenverkehr	99
3.5	Straßenverkehr	100

3.5.1	Vorgehen.....	100
3.5.2	Neuzulassungen und Bestand.....	100
3.5.3	Effizienzsentwicklung	101
3.5.4	Fahrleistungen	102
3.6	Ergebnisse der VEdV 2024	107
3.6.1	Energieverbrauch und THG-Emissionen nach Kategorien.....	107
3.6.2	Energieverbrauch und THG-Emissionen im Straßenverkehr	109
3.7	Ursachenanalyse	111
4	Aktualisierung des Trendszenarios bis 2050	114
4.1	Definition des Trendszenarios	114
4.2	Entwicklung der Verkehrsleistungen	115
4.3	Straßenverkehr	117
4.3.1	Annahmen zur Fahrleistungsentwicklung im Straßenverkehr.....	117
4.3.2	Entwicklung der Fahrzeugfleotten.....	118
4.3.2.1	Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge	118
4.3.2.2	Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	121
4.3.2.3	Motorisierte Zweiräder und sonstige Fahrzeugkategorien	124
4.3.3	Entwicklung der Energieeffizienz.....	125
4.3.3.1	Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge	125
4.3.3.2	Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	130
4.3.3.3	Motorisierte Zweiräder und sonstige Fahrzeugkategorien	130
4.3.4	Entwicklung der spezifischen Emissionen.....	130
4.4	Schienenverkehr	131
4.4.1	Betriebsleistung und Auslastung	131
4.4.2	Entwicklung der Energieeffizienz.....	132
4.4.3	Entwicklung der spezifischen Emissionen.....	132
4.5	Binnenschifffahrt.....	133
4.5.1	Auslastung und zurückgelegte Schiffskilometer	133
4.5.2	Entwicklung der Energieeffizienz und Antriebsarten	134
4.5.3	Entwicklung der spezifischen Emissionen.....	134
4.6	Flugverkehr	135
4.6.1	Entwicklungen der Verkehrsleistung und Flugzeugkilometer	135
4.6.2	Entwicklungen der spezifischen Emissionen	137
4.7	Ergebnisse	137

4.7.1	Verkehrs- und Fahrleistungen.....	137
4.7.2	Energieverbrauch und Emissionen	140
4.7.2.1	Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs nach Energieträgern.....	140
4.7.2.2	Endenergieverbrauch aller Verkehrsträger	141
4.7.2.3	Direkte Abgasemissionen des Straßenverkehrs	142
4.7.2.4	Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Territorialprinzip.....	144
4.7.2.5	Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Bundesklimaschutzgesetz (KSG).....	145
5	Quellenverzeichnis	148
A	Zusatzinformationen	154
A.1	Erfüllung der gesetzlichen Biokraftstoffe Vorgaben zur THG-Minderung	154
A.1.1	Gesetzgebung	154
A.1.2	Biomassemix und Emissionsfaktoren	155
A.1.3	Anteile der Biokraftstoffe und synthetischen Kraftstoffe am Endenergieverbrauch....	158
A.1.4	Erfüllung der Vorschriften.....	159
A.2	Heizwerte und Absatzmengen	161

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung der Gesamtemissionen bis 2024 und im Trendszenario bis 2050 nach KSG.....	22
Figure 2:	Greenhouse gas emissions from transport in Germany - development of total emissions until 2022 and in the trend scenario until 2050 according to KSG.....	26
Abbildung 3:	Vergleich des in TREMOD ermittelten Kerosinverbrauchs im gewerblichen Flugverkehr auf HVF mit Angaben von Fluggesellschaften für das Jahr 2023.....	61
Abbildung 4:	Kraftstoffverbrauch pro Personenkilometer im nationalen und internationalen Flugverkehr (gewerblicher Verkehr auf HVF).65	
Abbildung 5:	Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland nach Energieträgern - Entwicklung des Endenergieverbrauchs bis 2023	75
Abbildung 6:	Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung des Endenergieverbrauchs bis 2023.....	76
Abbildung 7:	Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen bis 2023.....	77
Abbildung 8:	Abgaspartikelemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen bis 2023.....	78
Abbildung 9:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung der Gesamtemissionen bis 2023	79
Abbildung 10:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung bis 2023 in der Abgrenzung der Emissionsberichterstattung.....	81
Abbildung 11:	Ergebnisse Dekomposition MIV, LNF, SNF 2024/2023.....	112
Abbildung 12:	Verkehrsleistungen des Personenverkehrs in Deutschland nach Verkehrsträgern von 1990 bis 2023 und im Trendszenario bis 2050.....	138
Abbildung 13:	Verkehrsleistungen des Güterverkehrs in Deutschland nach Verkehrsträgern von 1990 bis 2023 und im Trendszenario bis 2050.....	139
Abbildung 14:	Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Deutschland nach Verkehrsarten und Antrieben von 1990 bis 2023 und im Trendszenario bis 2050.....	140
Abbildung 15:	Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland nach Energieträgern - Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario bis 2050.....	141
Abbildung 16:	Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario bis 2050.....	142

Abbildung 17:	Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen im Trendszenario bis 2050.....	143
Abbildung 18:	Abgaspartikelemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen im Trendszenario bis 2050.....	144
Abbildung 19:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung der Gesamtemissionen im Trendszenario bis 2050	145
Abbildung 20:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung im Trendszenario bis 2050 in der Abgrenzung des Bundesklimaschutzgesetzes (KSG)	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Dichte für Kraftstoffe.....	27
Tabelle 2:	Heizwerte für Kraftstoffe (in MJ/kg).....	27
Tabelle 3:	Kennzahlen der Zertifizierungskraftstoffe im HBEFA	29
Tabelle 4:	Direkte CO ₂ -Emissionsfaktoren für Kraftstoffe und Gase	29
Tabelle 5:	Direkte Blei- und SO ₂ -Emissionsfaktoren für Kraftstoffe und Gase im Verkehr	31
Tabelle 6:	THG- Emissionsfaktoren konventioneller Kraftstoffe in g CO _{2e} / MJ (nur Vorkette)	32
Tabelle 7:	Anteil Energieträger im Strommix und CO _{2e} -Emissionsfaktoren inkl. Vorkette im TREMOD-Trendszenario	32
Tabelle 8:	Verkehrsleistungsentwicklung 2010-2023	34
Tabelle 9:	Berücksichtigte Antriebsarten pro Fahrzeugkategorie bis zum Bezugsjahr 2023	35
Tabelle 10:	Entwicklung des Pkw-Bestands nach Antriebsart 2000-2023 ..	36
Tabelle 11:	Entwicklung des LNF-Bestands von 2000-2023 nach Antriebsart	37
Tabelle 12:	Entwicklung des SNF-Bestands nach Antrieben 2000-2023.....	38
Tabelle 13:	Entwicklung des Busbestands von 2000-2023 insgesamt und Anteil der Linienbusse nach Antriebsart	39
Tabelle 14:	Entwicklung des KR-, KKR- und Pedelec-Bestands nach Antrieben 2000-2023.....	40
Tabelle 15:	Jährliche Änderungsrate der DTV von Pkw und KR laut Verkehrsbarometer	42
Tabelle 16:	Fahrleistungen des MIV in TREMOD 2019-2023	43
Tabelle 17:	Busfahrleistung in TREMOD	43
Tabelle 18:	Änderung der Fahrleistung auf Autobahn laut Mautstatistik ..	44
Tabelle 19:	Anteil an der Güterverkehrsfahrleistung je Fahrzeugkategorie ab 2019 laut Verkehrsbarometer	44

Tabelle 20:	Wachstumsrate der Fahrleistung bzw. der DTV auf Autobahnen und Bundesstraßen laut Mautstatistik und Verkehrsbarometer	45
Tabelle 21:	Fahrleistung des Güterverkehrs 2019-2023	46
Tabelle 22:	Fahrleistung in Deutschland nach Fahrzeugkategorien 1990-2023	47
Tabelle 23:	CO ₂ -Emissionen aus der Typzulassung und abgeleitete reale CO ₂ -Emissionen der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland 2011 bis 2023	49
Tabelle 24:	CO ₂ -Emissionen aus der Typzulassung und abgeleitete reale CO ₂ -Emissionen der LNF-Neuzulassungen in Deutschland 2011 bis 2023	49
Tabelle 25:	Verkehrsleistungsentwicklung des Personenverkehrs der Eisenbahnen in Deutschland 1994-2023	51
Tabelle 26:	Verkehrsleistungsentwicklung des Güterverkehrs der Eisenbahnen in Deutschland 1994-2022	52
Tabelle 27:	Berechneter Dieselverbrauch der Eisenbahnen in Deutschland im Vergleich mit der Energiebilanz 1994-2023	54
Tabelle 28:	Kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren des dieselbetriebenen Schienenverkehrs für ausgewählte Jahre	55
Tabelle 29:	Verkehrs- und Fahrleistung der Binnenschifffahrt 1995-2023	56
Tabelle 30:	Verkehrsleistung und Energieverbrauch der Binnenschifffahrt 1995-2023	57
Tabelle 31:	Mittlere kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt (in g/kg) für ausgewählte Jahre	59
Tabelle 32:	Verkehrsleistung des gewerblichen Flugverkehrs auf den HVF 1990-2023 (national + international)	62
Tabelle 33:	Verkehrsleistung des gewerblichen nationalen Flugverkehrs auf den HVF 1990-2023	63
Tabelle 34:	Berechneter Energieverbrauch des Flugverkehrs in Deutschland im Vergleich mit der Energiebilanz 1990-2023	64
Tabelle 35:	Mittlere Emissionsfaktoren des gewerblichen Personenflugverkehrs auf HVF 1990-2023 [g/Pkm]	66
Tabelle 36:	Kraftstoffabsatz in Deutschland Sektoren und Kraftstoffart 1990-2023	67
Tabelle 37:	Vergleich berechneter Verbrauch im Inland und Absatz für Benzin und Diesel im Straßenverkehr 1990-2023	70
Tabelle 38:	Anpassungsfaktoren Kraftstoffabsatz Energiebilanz / Inlandsverbrauch TREMOD 1990-2023	72
Tabelle 39:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – Fahrleistungen	82
Tabelle 40:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – spezifischer Energieverbrauch	82

Tabelle 41:	TREMOD-Version 6.61 – gesamter Energieverbrauch Inland ..	83
Tabelle 42:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.43	
	– Energieverbrauch Inland	84
Tabelle 43:	TREMOD-Version 6.51 – gesamter Energieverbrauch Absatz..	84
Tabelle 44:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53	
	– Energieverbrauch Absatz.....	85
Tabelle 45:	TREMOD-Version 6.61 – NO _x -Emissionsfaktoren.....	86
Tabelle 46:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53	
	– spezifische NO _x -Emissionsfaktoren	87
Tabelle 47:	TREMOD-Version 6.61 – NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs	
	im Inland.....	87
Tabelle 48:	Vergleich der TREMOD-Version 6.51 gegenüber TREMOD 6.43	
	–NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs im Inland.....	89
Tabelle 49:	TREMOD-Version 6.61 – Abgas-Partikel-Emissionsfaktoren	89
Tabelle 50:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53	
	– spezifische Abgas-Partikel-Emissionsfaktoren	90
Tabelle 51:	TREMOD-Version 6.61 –Abgas-Partikel-Emissionen des	
	Straßenverkehrs im Inland	91
Tabelle 52:	Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53	
	–Abgas-Partikel-Emissionen des Straßenverkehrs im Inland ...	92
Tabelle 53:	Dieselkraftstoffabsatz im Jahr 2023 nach Kategorien in den	
	VEdV und im Inventar ohne Bioanteile (physikalische Einheiten)	
	93
Tabelle 54:	Benzinabsatz im Jahr 2023 nach Quellkategorien in den VEdV	
	und im Inventar ohne Bioanteile (physikalische Einheiten).....	93
Tabelle 55:	Absatz Biokraftstoffe im Jahr 2023 nach Quellkategorien (VEdV	
	und Inventar)	94
Tabelle 56:	THG-Emissionen des Verkehrs 2023 in den VEdV und im	
	Inventar	95
Tabelle 57:	Statistische Kenndaten zur Entwicklung der Kategorien Bau-,	
	Land- und Forstwirtschaft	96
Tabelle 58:	Starts, Flugzeug-km und Verkehrsleistung des gewerblichen	
	Flugverkehrs auf den Hauptverkehrsflughäfen 2023 und 2024	
	98
Tabelle 59:	Anzahl der Neuzulassungen im Jahr 2024.....	100
Tabelle 60:	Berechnete Fahrzeugbestände 2024 im Vergleich zu 2023	
	jeweils als Jahresmittelwert nach Antriebsart	101
Tabelle 61:	Entwicklung der mittleren CO ₂ -Emissionen von Neufahrzeugen	
	in g/km für Pkw im WLTP	101
Tabelle 62:	Entwicklung der mittleren CO ₂ -Emissionen von Neufahrzeugen	
	in g/km für LNF im WLTP	102

Tabelle 63:	Fahrleistungen auf Autobahnen und Bundesstraßen 2023 und 2024 in der Mautstatistik (ohne Lkw zwischen 3,5t und 7,5t zGG)	103
Tabelle 64:	Wachstumsrate der Fahrleistung bzw. der DTV auf Autobahnen und Bundesstraßen laut Mautstatistik und Verkehrsbarometer 2023-2024.....	104
Tabelle 65:	Jährliche Änderungsrate 2023-2024 im Verkehrsbarometer.	105
Tabelle 66:	Ergebnisse der Fahrleistungen je Fahrzeugkategorie für die Jahre 2023-2024	106
Tabelle 67:	Energieverbrauch 2024 in PJ gemäß AMS und Aufteilung auf einzelne Quellkategorien.....	107
Tabelle 68:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs 2024 in MT CO _{2eq}	109
Tabelle 69:	Endenergieverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträgern	109
Tabelle 70:	Endenergieverbrauch im Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten	110
Tabelle 71:	THG-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten ..	110
Tabelle 72:	Inlandsfahrleistung-basierter Energieverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträgern	111
Tabelle 73:	Inlandsfahrleistungs-basierter Energieverbrauch im Straßenverkehr nach Fahrzeugarten	111
Tabelle 74:	Sozio-ökonomische Randbedingungen für das TREMOD-Trendszenario	115
Tabelle 75:	Verkehrsleistungsentwicklung 2019-2050	116
Tabelle 76:	Entwicklung der Fahrleistungen 2019-2050.....	117
Tabelle 77:	Anteil der Neuzulassungen der Pkw im Trendszenario nach Antriebsart.....	119
Tabelle 78:	Entwicklung der Pkw-Bestände im Trendszenario bis 2050...	120
Tabelle 79:	Anteil der Neuzulassungen der LNF im Trendszenario nach Antriebsart.....	120
Tabelle 80:	Entwicklung der LNF-Bestände im Trendszenario bis 2050 ...	121
Tabelle 81:	Anteil der Neuzulassungen der SNF im Trendszenario nach Antriebsart.....	122
Tabelle 82:	Anteil der Neuzulassungen der Linien- und Reisebusse im Trendszenario nach Antriebsart	124
Tabelle 83:	Anteil der Neuzulassungen motorisierter Zweiräder im Trendszenario nach Antriebsart	125
Tabelle 84:	CO ₂ -Emissionen nach NEFZ/WLTP und Hybridanteile für Otto- und Diesel-Pkw 2005-2035.....	126
Tabelle 85:	CO ₂ -Flottenwerte bzw. -Flottengrenzwert für Pkw nach WLTP 2021-2035.....	127
Tabelle 86:	Reale CO ₂ -Emissionen und Stromverbrauch bei Pkw-Neuzulassungen im Szenario	127

Tabelle 87:	CO ₂ -Emissionen nach NEFZ/WLTP und Hybridanteile für Otto- und Diesel-LNF 2015-2035	128
Tabelle 88:	CO ₂ -Flottengrenzwert für LNF nach WLTP 2021-2035	129
Tabelle 89:	Reale CO ₂ -Emissionen und Stromverbrauch bei LNF-Neuzulassungen im Szenario	129
Tabelle 90:	Entwicklung der Auslastungsgrade im Güter-, Personenfern- und Personennahverkehr	131
Tabelle 91:	Entwicklung des Dieselanteils an den Betriebsleistungen im Güter-, Personenfern- und Personennahverkehr	132
Tabelle 92:	Emissionsgrenzwerte Schienenverkehr (g/kWh)	133
Tabelle 93:	Mittlere Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt (in g/kg Dieselkraftstoff) im Trendszenario	135
Tabelle 94:	Relative Entwicklung der Verkehrsleistung des Flugverkehrs 2019-2040.....	135
Tabelle 95:	Jährliche rel. Entwicklung des Verkehrsaufkommens des Flugverkehrs 2019-2040	135
Tabelle 96:	Jährliche rel. Entwicklung des Flugverkehrs zwischen 2000-2024.....	136
Tabelle 97:	Anzahl Starts.....	136
Tabelle 98:	Geltende Regulatorik des Bundesimmissionsschutzgesetzes und der Bundesimmissionsschutzverordnungen mit Bezug auf die THG-Quote.....	154
Tabelle 99:	Biomassemix (Anteile gerundet) der Biokraftstoffe im Trendszenario	156
Tabelle 100:	THG-Emissionsfaktoren (g CO ₂ eq/MJ) der Biokraftstoffe im Trendszenario für Straßen und Schienenverkehr.....	157
Tabelle 101:	Anteile Biokraftstoffe und PtX im Trendszenario.....	158
Tabelle 102:	Anteil der Biomassenmixkategorien nach THG-Quote im TREMOD-Trendszenario	159
Tabelle 103:	Ergebnisse der THG-Quote im TREMOD-Trendszenario (für Straßen- und Schienenverkehr).....	160
Tabelle 104:	Heizwerte für die Umrechnung der masse-bezogenen Energiemengen der AMS in physikalische Mengen (2024)....	161
Tabelle 105:	Inlandsablieferungen der Kraftstoffe der VEdV 2024	161

Abkürzungsverzeichnis

AO	Außenorts
AMS	Amtliche Mineralölstatistik
BAB	Bundesautobahnen
BADA	Base of Aircraft Data (Datenbasis für Luftfahrzeuge)
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

BAS	Bundesanstalt für Straßenwesen
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt der Schweiz
Bbl	Volumeneinheit verwendet für Erdölprodukte (entspricht 159 Liter)
BC	Black Carbon
BEMU	Battery Electric Multiple Unit: Batterieelektrische Züge
BEV	Battery-electric vehicle
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CBM	Compressed Bio Methane
CCD	Reiseflug oberhalb 3.000 Fuß (Climb Cruise Descent)
CD	Charge Depleting : reiner Elektrobetrieb beim PHEV = Verbrauch von extern geladenen Strom
CH₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas (deutsch: „komprimiertes Erdgas“)
CO	Kohlenmonoxid
CO₂	Kohlendioxid
CS	Charge Sustaining: reiner Verbrennerbetrieb beim PHEV = Verbrauch des mitgeführten chemischen Energieträgers
DB AG	Deutsche Bahn AG
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
DISI	Direct Injection Spark Ignition
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLR	Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EEA	European Environmental Agency (deutsch: „Europäische Umweltagentur“)
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
ETS	EU-Emissionshandel (European Emission Trading System)
FAME	Fatty acid methyl esters (FAME)
FC_MJ	Energieverbrauch in MJ
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FLBus	Fernlinienbus
FLE 2014	Fahrleistungserhebung 2014
FOCA	Federal Office of Civil Aviation (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL)
FzKat	Fahrzeugkategorie

ggü.	gegenüber
GWP	Global Warming Potential (deutsch: Globales Erwärmungspotenzial)
HB	Halterbefragung: Inländerfahrleistung der Fahrleistungserhebung
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs
HC	Kohlenwasserstoffe
HEL	Leichtes Heizöl
HEMU	Hydrogen Electric Multiple Unit: Wasserstoff-Brennstoffzellen-Züge
HES	Schweres Heizöl
HEV	Hybrid Electric Vehicle w/o external charging (deutsch: Hybridfahrzeug ohne externe Lademöglichkeit)
HVF	Hauptverkehrsflughafen
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil
HWB	Hafen- und Werkbahnen: nicht öffentliche Eisenbahnen
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
inkl.	Inklusive
insb.	Insbesondere
IO	Innerorts
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KBA-ViK	Verkehr in Kilometer (KBA)
Kfz	Kraftfahrzeug
KKR	Kleinkrafträder
KR	Krafträder
KSG	Bundesklimaschutzgesetz
Lbus	Linienbus
LNG	Liquefied Natural Gas
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge <=3,5t zGG
LOS	Level of Service, Verkehrszustand
LPG	Liquefied Petroleum Gas
LTO	Landing and Take-off Cycle (Betriebsphase unterhalb 3.000 Fuß)
LVm	Motorisierter Leichtverkehr (Straßenverkehrszählung 2015)
LZ	Lastzug
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MTOW	Maximum Take Off Weight (Höchstabfluggewicht)
MZR	Motorisierte Zweiräder
NE	Nichtbundeseigene Eisenbahnen
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NIR	National Inventory Report
N₂O	Distickstoffoxid

NH₃	Ammoniak
NO_x	Stickstoffoxid
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr
PHEM	Passenger Car and Heavy Duty Emission Model
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PJ	Petajoule
PFV	Personenfernverkehr
Pkm	Personenkilometer
PM	Partikel (PM10)
PN	Partikelanzahl
PNV	Personennahverkehr
PtX	Power to X: Strombasierte Kraftstoffe
Rbus	Reisebus
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge >3,5t zGG
SSU	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen
SRBus	Sonstiger Reisebus
SVZ	Manuelle Straßenverkehrszählung der BASt
SZ	Sattelzug
tkm	Tonnenkilometer
TTW	Tank to Wheel: Energiebedarf oder Emissionen aus dem Fahrzeugbetrieb / der Fahrzeugnutzung
TREMOD	Transport Emission Model
TU Graz	Technische Universität Graz
UBA	Umweltbundesamt
UeKfzl	Übrige Kraftfahrzeuge <=3,5t zGG
UeKfzs	Übrige Kraftfahrzeuge >3,5t zGG
UER	Upstream Emission Reduction
v. H.	Von Hundert
VE-BFS	Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen: Auswertung der automatischen Zählstellen für die BASt
VEdV	Vorläufige Emissionsdaten des Vorjahres nach KSG
VIZ	Verkehr in Zahlen
VZ	Verkehrszählung: Inlandsfahrleistung der Fahrleistungserhebung 2014
WLTP	Worldwide harmonized Light Vehicles Test Procedure
WTT	Well-to-Tank: Energiebedarf oder Emissionen aus der Energiebereitstellung (Vorkette)
ZEV/ZLEV	Zero Emission Vehicle / Zero and Low Emission Vehicles (ZLEV) (siehe EU CO2-Flottenzielwertgesetzgebung für Pkw, LNF und SNF)
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht

Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens wurden die aktuellen Daten zur Berechnung der Emissionen des Verkehrs bis zum Bezugsjahr 2023 in das TREMOD-Modell aufgenommen. Die mit Hilfe dieses Modells berechneten Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen sind u.a. Grundlage der deutschen Emissionsberichterstattung für den Sektor „Verkehr“ und mobile Maschinen und Geräte, welche unter anderem dem Sektor „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ zugeordnet sind. Die Datenbasis wurde aufgrund neuer Verkehrsdaten, neuer Emissionsfaktoren und aktueller Statistiken zum Kraftstoffabsatz fortgeschrieben. Dazu wurden alle emissionsrelevanten Daten aufbereitet und in die Modelle TREMOD und TREMOD-MM eingearbeitet. Anschließend wurden die Verbrauchs- und Emissionszeitreihen bis 2023 neu berechnet.

Für das Jahr 2024 wurden anschließend die „Vorläufigen Emissionsdaten des Vorjahres“ (VEDV 2023) nach KSG ermittelt. Am 14. März 2025 mussten dafür vom Umweltbundesamt die Treibhausgasemissionen des Jahres 2023 für alle Sektoren berichtet werden. Die Treibhausgasemissionen des Verkehrs basieren im Wesentlichen auf der vorläufigen Amtlichen Mineralölstatistik (AMS). Sie werden mit TREMOD mit Hilfe der vorliegenden Bestands- und Aktivitätsdaten des Vorjahres weiter differenziert, so dass belastbare Aussagen zu den Ursachen der Entwicklung der THG-Emissionen gegenüber dem Vorjahr möglich sind.

Danach wurde das Trendszenario bis 2050 an die aktuellen Entwicklungen angepasst. Das beinhaltet Änderungen in den gesetzlichen und fiskalischen Vorgaben, die Berücksichtigung aktueller Trends bei der Flottenentwicklung, insbesondere die Anteile der Antriebsarten, der Effizienzentwicklung und der Entwicklung der Verkehrsaktivitäten (Fahr- und Verkehrsleistungen).

In diesem Bericht werden die Arbeiten für TREMOD beschrieben. Der Bereich „Mobile Maschinen“ und die Aktualisierung von TREMOD-MM werden in einem separaten Bericht beschrieben.

Aktualisierung Straßenverkehr

Aktualisierung der Kfz-Bestandsdaten auf Basis der Daten des KBA

Die Bestands- und Neuzulassungsdaten für TREMOD werden jährlich vom KBA als Sonderauswertung bezogen. Die Daten für das Jahr 2023 (Bestand zum 1.1.2024 und Neuzulassungen im Jahr 2023) wurden für TREMOD aufbereitet.

Bei den meisten Fahrzeugkategorien stieg der Bestand weiter an. Gleichzeitig nahm der Anteil der Elektrofahrzeuge zu. So ist bei den Pkw der Bestand an batterieelektrischen und Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen gegenüber 2022 um 37 % angestiegen und damit langsamer als im Vorjahr.

Aktualisierung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen neu zugelassener Pkw und leichter Nutzfahrzeuge auf Basis der Daten des KBA

Die spezifischen Kraftstoffverbräuche für Pkw und LNF wurden auf Basis des CO₂-Monitorings des KBA bis 2023 fortgeschrieben. Gegenüber 2022 hat sich der Flottenwert der neuen Benzin- und Diesel-Pkw leicht verbessert. Die Verringerung der mittleren CO₂-Emissionen der Neuzulassungen insgesamt resultiert zusätzlich aus dem zunehmenden Anteil an elektrischen Antrieben.

Aktualisierung der Fahrleistungen

Die Fahrleistungen wurden vor allem auf Basis des Verkehrsbarometers der BASt und der Mautstatistik bis 2023 aktualisiert. Gegenüber 2022 sind Fahrleistungen der Pkw und Busse angestiegen, bei den Lkw zurückgegangen.

Aktualisierung der Berechnungsmodule zum Stromverbrauch im Straßenverkehr sowie AdBlue-Verbrauch

Der Stromverbrauch des Straßenverkehrs sowie der Verbrauch und die damit bedingten CO₂-Emissionen durch AdBlue werden in TREMOD als separate Ergebnisabfragen dargestellt. Die hierfür nötigen Eingangsdaten (Bestand, Fahrleistung und spezifischer Verbrauch von elektrischen Fahrzeugen, Anteil von Fahrzeugen mit SCR-Systemen) wurden aktualisiert und die Ergebnisse bis 2023 fortgeschrieben.

Gegenüber 2022 hat sich der Stromverbrauch des Straßenverkehrs aufgrund der zunehmenden Fahrzeuge mit Elektroantrieb um 56 % erhöht. Der AdBlue-Verbrauch ist aufgrund des Fahrleistungsrückgangs im Straßengüterverkehr um gut 2 % zurückgegangen.

Aktualisierung Schienenverkehr

Aktualisierung der baureihenspezifischen Emissionsfaktoren im Modul „Schienenverkehr“ gemäß Datenlieferung der DB AG

Die baureihenspezifischen Emissionsfaktoren der Dieseltraktion werden von der DB AG zur Verfügung gestellt. Diese wurden aufbereitet und in die entsprechenden TREMOD-Tabellen eingespielt. Bei allen in TREMOD bilanzierten Emissionskomponenten gab es 2023 einen Rückgang der mittleren Emissionsfaktoren des Personennah- und Fernverkehrs, des Güterverkehrs und der Rangierleistungen gegenüber 2022.

Aktualisierung der Verkehrs- und Betriebsleistungen der Bahnen

Die Verkehrsdaten wurden bis zum Jahr 2023 aktualisiert. Hierzu wurden verschiedene Statistiken (DESTATIS, Verkehr in Zahlen, DB AG u.a.) verwendet. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Parameter: Verkehrsleistungen, Betriebsleistungen und Auslastungsgrade. Für die DB AG werden diese Daten von der DB zur Verfügung gestellt.

Zur Aktualisierung der Verkehrsdaten der übrigen Bahnen bis 2023 wurde im Wesentlichen auf die VDV-Statistik, die Bahnstatistik des statistischen Bundesamtes und Fahrplandaten zurückgegriffen. Die spezifischen Energie- und Emissionsfaktoren wurden mit den entsprechenden Kennzahlen der DG AG abgeglichen und im Rahmen der Gesamtbetrachtung des Eisenbahnverkehrs plausibilisiert.

Die Verkehrsleistung im Personenverkehr stieg im Jahr 2023 gegenüber 2022 wieder deutlich an (+10 %). Beim Güterverkehr gab es einen deutlichen Rückgang der Verkehrsleistung (-6,5 %).

Aktualisierung Binnenschifffahrt

Die Verkehrsleistungsdaten der Binnenschifffahrt für TREMOD werden aus der Güterstatistik der Binnenschifffahrt des statistischen Bundesamtes in Form einer jährlichen Sonderabfrage bezogen. Für die Fortschreibung bis zum Jahr 2023 wurden die Daten aus der Sonderauswertung für TREMOD aufbereitet. Bei der Binnenschifffahrt kam es 2023 zu einem Rückgang der Verkehrsleistung gegenüber 2022 (-5,9 %).

Aktualisierung Flugverkehr

In der diesjährigen Aktualisierung wurden die Aktivitätsdaten des Jahres 2023 integriert. Außerdem wurden einige neue Flugzeugtypen ergänzt. Die Verkehrsleistungen stiegen 2023 wieder deutlich an (+25 %).

Vorläufige Emissionsdaten des Vorjahres (VEdV 2024)

Die Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrs wird geprägt von der Zunahme der Verkehrsleistungen im Personenverkehr und einem Rückgang der Verkehrsleistungen im Güterverkehr. Diese Entwicklungen gleichen sich nahezu aus. Durch die zunehmende Elektrifizierung im Straßenverkehr, Effizienzverbesserungen und die Zunahme des Anteils der Biokraftstoffe wurde dennoch 2024 eine Minderung der THG-Emissionen um fast 2 Mio. t CO₂_{eq} gegenüber 2023 im Verkehr erreicht.

Aktualisierung Trendszenario

Das Szenario baut, auf den Ergebnissen der „Verkehrsprognose 2040“ des BMDV auf. Dies betrifft vor allem die Entwicklung der sozio-ökonomischen Rahmenbedingung sowie die Entwicklung der Verkehrs- und Betriebsleistungen.

Das Szenario berücksichtigt bis 2030 alle Maßnahmen des „Klimaschutzprogramm 2030“. Außerdem sind aktuelle Grenzwertverordnungen der EU berücksichtigt, z. B.:

- ▶ CO₂-Grenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis 2030 (EU 2019a) bzw. die Änderungsverordnung für die CO₂-Grenzwerte bis 2035 und danach (EU 2023) sowie die Aufweichung im Zeitraum 2025-2027 (Europäische Kommission 2025)
- ▶ CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge bis 2030 (EU 2019b) bzw. bis 2040 aufgrund Änderungsverordnung (EU) 2024/1610
- ▶ Die revidierte Eurovignetten-Richtlinie zur Ausgestaltung der Lkw-Maut (EU 2022)
- ▶ Erneuerbare-Energien-Richtlinie bis 2030 (EU 2018) und das Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungs-Quote (Bundesanzeiger 2021)

Dementsprechend wurden die Annahmen zur Entwicklung der Fahrzeugfotten (v.a. Elektrifizierung), Entwicklung der Fahrzeugeffizienz überarbeitet.

Überarbeitung Datenbank TREMOD

Die aktualisierten Daten wurden schließlich so aufbereitet, dass sie an die entsprechenden TREMOD-Tabellen angefügt werden können. Die Aufbereitung erfolgt in mehreren Excel-Files für die einzelnen Sektoren und Datenarten (Verkehrsdaten, Energie- und Emissionskennzahlen), die wiederum jeweils Daten für verschiedene TREMOD-Tabellen enthalten. Die Tabellen wurden in TREMOD importiert und anschließend auf Konsistenz und Vollständigkeit überprüft. Zur Aktualisierung waren insbesondere die folgenden Schritte notwendig:

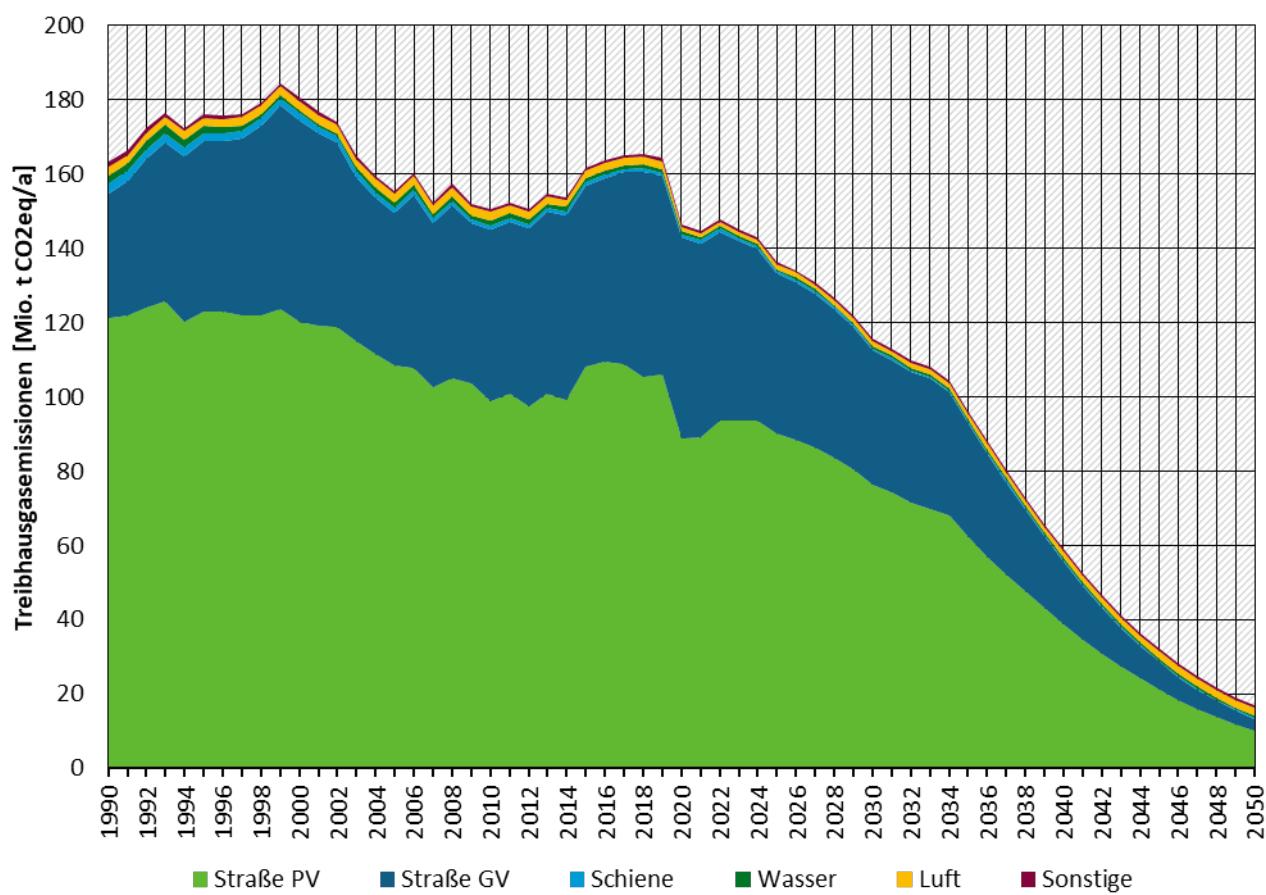
- ▶ Aktualisierung der Kraftstoffverbrauchsdaten für alle Verkehrsträger anhand der Energiebilanzen und der Statistiken des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)
- ▶ Aktualisierung der Biokraftstoffmengen und Anteile je Verkehrsmittel (auch im Szenario)
- ▶ Überführung sämtlicher aktualisierter Daten in die Datenbanken TREMOD
- ▶ Neuberechnung der Verbrauchs- und Emissionszeitreihen 1990-2050
- ▶ Zuordnung von auf Kraftstoffabsätze (laut Energiebilanz) bezogenen Emissionen zu den ermittelten inlandsbezogenen Emissionen
- ▶ Übergabe der Daten für die Emissionsberichterstattung an das UBA mittels ZSE-Schnittstelle.

Ergebnisse

Mit den aktualisierten Daten und Annahmen im Trendszenario erfolgt beim Straßengüterverkehr eine schnellere Durchdringung der Fahrzeugflotten mit Elektrofahrzeugen als bisher. Die Annahmen führen insgesamt zu einer stärkeren Absenkung aller Emissionen als in der vorigen Version. Allerdings zeigt sich, dass insbesondere die Klimaschutzziele gemäß KSG nicht erreicht werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in der Abgrenzung des KSG. Nach den Ergebnissen des Trendszenarios ist bis 2024 mit einem weiteren Anstieg der THG-Emissionen zu rechnen. Nach den bereits festgestellten Überschreitungen der Sektorziele nach KSG im Jahr 2021, 2022 und 2023 bedeutet dies, dass die Ziele ab 2024 voraussichtlich noch deutlicher überschritten werden. Im Trendszenario wird etwa für das Jahr 2030 eine Überschreitung von 36 % berechnet. Ebensowenig werden die für das Jahr 2045 angestrebten Nullemissionen erreicht.

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung der Gesamtemissionen bis 2024 und im Trendszenario bis 2050 nach KSG



Anmerkungen: Direkte Emissionen für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen in der Abgrenzung der Energiebilanz), Schiene (Eisenbahn in der Abgrenzung der Energiebilanz), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen in der Abgrenzung der Energiebilanz), Luft (Inlandsverkehr) und Sonstige (Inländische Seeschifffahrt, Festbrennstoffe im Schienenverkehr, Schmier- und Motoröl im Straßenverkehr).

Quellen: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990 - 2024; Stand: 14.03.2025; ab 2025 Trendszenario

Summary

Within the framework of the current project, the current data for the calculation of transport emissions up to the reference year 2023 were included in the TREMOD model. The emissions of greenhouse gases and air pollutants calculated with the support of this model are, among other things, the basis for German emissions reporting for the "Transport" sector and mobile machinery and equipment, which are allocated to the "Trade, commerce, services" sector.

The database was updated on the basis of new traffic data, new emission factors and current statistics on fuel sales. For this purpose, all emission-relevant data were prepared and integrated into TREMOD and TREMOD-MM. The consumption and emission time series up to 2023 were then recalculated. Furthermore, the trend scenario was updated.

The "Preliminary emissions data for the previous year" (VEdV 2024) were then determined for 2024 in accordance with the KSG. On 14 March 2025, the Federal Environment Agency had to report the greenhouse gas emissions for 2024 for all sectors. The greenhouse gas emissions from transport are essentially based on the provisional official mineral oil statistics (AMS). They are further differentiated with TREMOD using the available inventory and activity data from the previous year, so that reliable statements can be made on the causes of the development of GHG emissions compared to the previous year.

The trend scenario was then adapted to current developments up to 2050. This includes changes in the legal and fiscal requirements, the consideration of current trends in fleet development, in particular the shares of drive types, the development of efficiency and the development of transport activities (driving and transport performance).

This report describes the work on TREMOD. The area "Mobile Machines" and the update of TREMOD-MM are described in a separate report.

Update road transport

Updating vehicle inventory data on the basis of KBA data

The inventory and new registration data for TREMOD is obtained annually by the Federal Transport Authority (KBA) as a special evaluation. The data for the year 2023 (stock on 1.1.2024 and new registrations in 2023) have been prepared for TREMOD.

For most vehicle categories, the stock continued to increase. At the same time, the share of electric vehicles increased. In passenger cars, for example, the number of battery-electric and plug-in hybrid cars has risen by 37 % compared to 2022.

Update of average CO₂ emissions of newly registered passenger cars and light commercial vehicles based on KBA data

The specific fuel consumption of road vehicles for TREMOD was updated to 2023 on the basis of the KBA's CO₂ monitoring. Compared to 2022, the fleet value of new petrol and diesel passenger cars has improved slightly. The reduction in the average CO₂ emissions of new registrations overall is also influenced by the increasing share of electric drives.

Updating of the mileage data

The mileage was updated primarily on the basis of the BASt mileage data on national mileage (traffic barometer) and the toll statistics up to 2023. Compared to 2022, the mileage of passenger cars and buses has risen, while HGV mileage has fallen.

Updating of the calculation modules for electricity consumption in road traffic and AdBlue consumption

The electricity consumption of road traffic as well as the consumption and the resulting CO₂ emissions by AdBlue are presented in TREMOD as separate result queries. The necessary input data (vehicle stock, mileage and specific consumption of electric vehicles, for AdBlue the proportion of vehicles with SCR systems) were updated and the results updated until 2023.

Compared to 2023, the electricity consumption of road transport has increased by 56 % due to the increasing number of vehicles with electric drives. AdBlue consumption has increased again slightly.

Rail transport update

Updating of the specific emission factors in the "Rail Traffic" module in accordance with data supplied by DB AG

The specific emission factors are provided by German Railways (DB AG). These have been prepared and imported into the corresponding TREMOD tables. For all emission components balanced in TREMOD, there was a decrease in the average emission factors of local and long-distance passenger transport, freight transport and shunting services in 2023 compared to 2022.

Updating the transport and operating services of Railways

Traffic data have been updated up to 2023. Various statistics (DESTATIS, Verkehr in Zahlen, DB AG, etc.) were used for this purpose. The following parameters are considered: Transport performance, operating performance and utilisation rates. For DB AG, they are derived from evaluations carried out by DB AG.

In order to update the traffic data of the other railways until 2023, the main sources used were the VDV statistics, the rail statistics of the Federal Statistical Office and time table data. The specific energy and emission factors were compared with the corresponding key figures of DB AG and checked for plausibility as part of the overall analysis of rail traffic.

Passenger transport performance rose in 2023 compared to 2022 (+10%). Freight transport saw a decrease in transport performance (-6,5 %).

Updating inland navigation

The transport performance data of inland navigation for TREMOD are obtained from the freight statistics of inland navigation of the Federal Statistical Office in the form of an annual special query. For the update up to 2023, a data request was submitted to the Federal Statistical Office and the data from the special evaluation was processed for TREMOD. For inland navigation, there was a decrease in transport performance in 2023 compared to 2022 (-5,9 %).

Updating air traffic

In this year's update, the activity data of the year 2023. In addition, some new aircraft types were added. The decline in air traffic was particularly high due to the pandemic: traffic performance increased significantly again in 2023 (+25 %).

Preliminary emissions data from the previous year (VEdV 2024)

The development of GHG emissions from transport is characterised by an increase in passenger transport services and a decrease in freight transport services. These developments almost balance each other out. Thanks to the increasing electrification of road transport, efficiency improvements and the increase in the share of biofuels, a reduction in GHG emissions of 2 million tonnes of CO₂eq was achieved in transport 2024 compared to 2023.

Updating trend scenario

As in the previous year, the scenario is based on the results of the BMDV's "Traffic Forecast 2040", as more up-to-date forecasts were not yet available. This mainly concerns the development of the socio-economic framework conditions and the development of transport and operational services.

Accordingly, the scenario takes into account all measures of the "Climate Protection Programme 2030" until 2030. In addition, current EU limit value regulations are taken into account, e.g.:

- ▶ CO₂ limits for passenger cars and light commercial vehicles until 2030
- ▶ CO₂ limits for heavy-duty vehicles until 2030 bzw. Änderungsverordnung (EU) 2024/1610
- ▶ Renewable Energies Directive until 2030
- ▶ Law on the further development of the greenhouse gas reduction quota

Accordingly, the assumptions on the development of vehicle fleets (especially electrification), development of vehicle efficiency were revised.

Revision of TREMOD database

The updated data was finally prepared in such a way that it can be appended to the corresponding TREMOD tables. The preparation is carried out in several Excel files for the individual sectors and data types (traffic data, energy and emission indicators), which in turn contain data for different TREMOD tables. The tables were imported into TREMOD and then checked for consistency and completeness. In particular, the following steps were necessary to update the tables:

- ▶ Updating the fuel consumption data for all modes of transport using the energy balances and the statistics of the Federal Office of Economics and Export Control
- ▶ Update of biofuel quantities and proportions per mode of transport (also in the scenario)
- ▶ Transfer of all updated data to the TREMOD databases
- ▶ Recalculation of consumption and emission time series 1990-2050
- ▶ Allocation of emissions related to fuel sales (according to energy balance) to determined domestic emissions
- ▶ Adaptation of the TREMOD-ZSE interface (Central Emissions System of the UBA)
- ▶ Transfer of data for emissions reporting to UBA via ZSE interface.

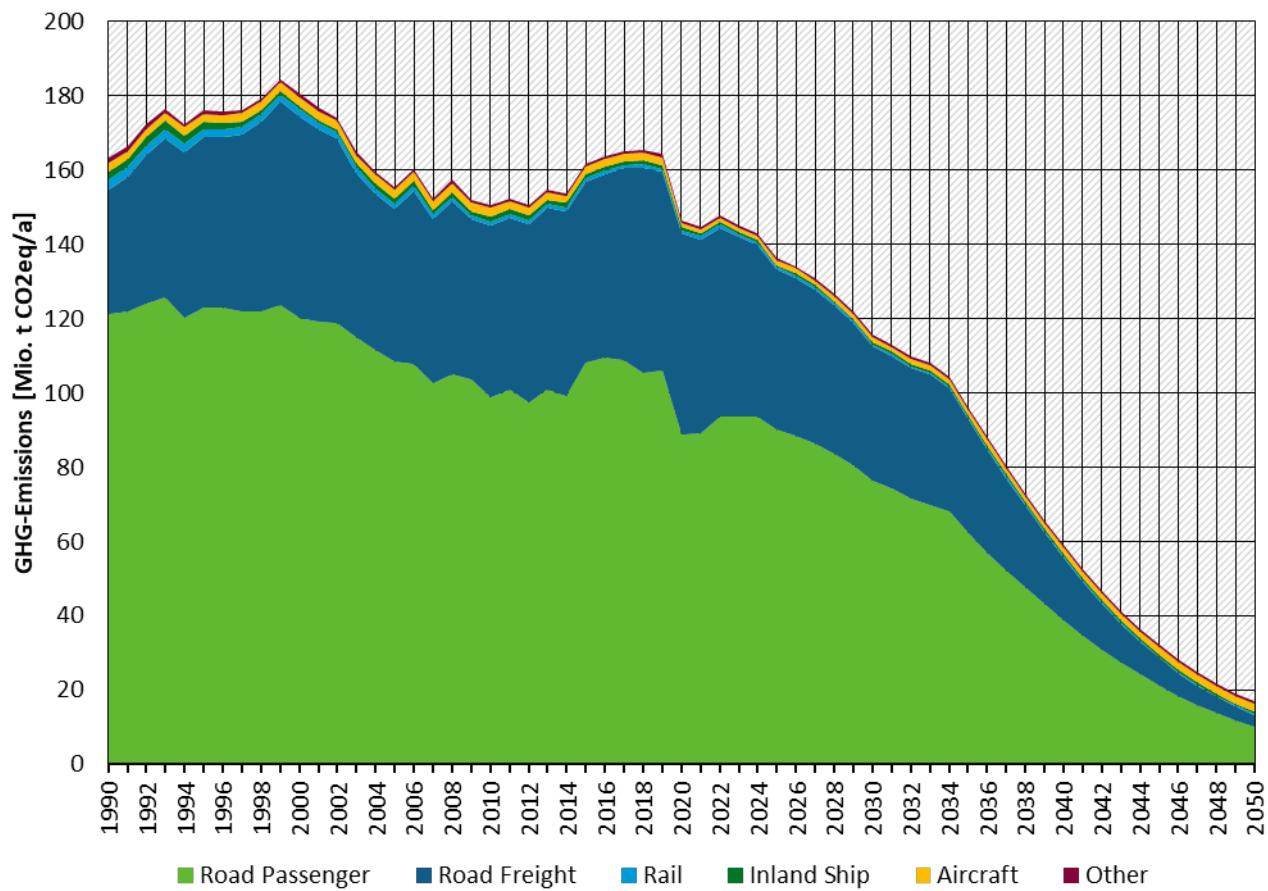
Results

With the updated data and assumptions in the trend scenario, there is a faster penetration of heavy duty vehicle fleets with electric vehicles than before. Overall, the assumptions lead to a stronger reduction of all emissions than in the previous version. However, it becomes apparent that the climate protection targets according to the KSG in particular will not be achieved.

The following figure shows the development of greenhouse gas emissions from transport as defined by the KSG. According to the results of the trend scenario, a decrease in GHG emissions is to be expected. After the already established exceedances of the sector targets according to KSG in 2021-2024, this means that the targets are expected to be exceeded even more significantly

from 2025 onwards. In the trend scenario, an exceedance of 36 % is calculated for the year 2030. The zero emissions targeted for 2045 will also not be achieved.

Figure 2: Greenhouse gas emissions from transport in Germany - development of total emissions until 2022 and in the trend scenario until 2050 according to KSG



Notes: Direct emissions for road (road transport with motorised two-wheelers, passenger cars, light and heavy commercial vehicles and buses as defined in the energy balance), rail (railways as defined in the energy balance), water (freight transport with inland vessels as defined in the energy balance), air (domestic transport) and other (domestic maritime shipping, solid fuels in rail transport, lubricants and motor oil in road transport).

Sources: TREMOD 6.63 of 15.08.2025; emission overviews by sector of the Federal Climate Protection Act 1990 - 2024; as of 14.03.2025; from 2024 trend scenario.

1 Grundlagen und Kennzahlen

1.1 Energetische Kennzahlen und Umrechnungsfaktoren

Der Energieverbrauch wird in sehr unterschiedlichen Einheiten angegeben. Für flüssige und gasförmige Kraftstoffe sind volumenbezogene (Liter oder m³) oder massenbezogene (Gramm, Kilogramm oder Tonne) Einheiten üblich, bei elektrischem Strom sind es kWh. Die übliche Einheit, die den Energieinhalt der Energieträger berücksichtigt ist Joule, (kJ, MJ...). Alle massen- oder volumenbezogenen Einheiten lassen sich über ihre spezifische Dichte und den Heizwert in Joule umrechnen.

In TREMOD erfolgt die Bilanzierung des Energieverbrauchs auf Basis des Energieinhaltes in Joule (meist MJ). Die Umrechnung in kg oder Liter bei Kraftstoffen oder in kWh bei Strom wird mitgeführt, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Quellen zu gewährleisten. Wesentliche Quelle für die Kennzahlen sind Standardwerte aus dem HBEFA. Für Biodiesel und Bioethanol werden Kennzahlen verwendet, die in der Mineralölstatistik (BAFA)¹, verwendet wurden. Da keine „amtlichen“ Informationen über die Entwicklung der Dichte von Energieträgern vorliegen, werden die in der Vergangenheit festgelegten Kennzahlen bei allen Kraftstoffen für alle Jahre gleich angesetzt². Die verwendeten Werte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Dichte für Kraftstoffe

Jahr	Benzin (kg/l)	Diesel (kg/l)	LPG (kg/l)	Bioethanol (kg/l)	Biodiesel (kg/l)	Erdgas/ Biogas (kg/ m ³)	Flugbenzin (kg/l)	Kerosin (kg/l)
Alle Jahre	0,742	0,832	0,600	0,79	0,879	0,716	0,742	0,8

Quellen: HBEFA 4.2 (Benzin, Diesel, LPG, Flugbenzin, Kerosin, Erdgas/Biogas), BAFA (Biodiesel und Bioethanol)

Die Heizwerte werden von der AG Energiebilanzen für die meisten Kraftstoffe je Bezugsjahr angegeben. Die Werte für Benzin, Diesel und Kerosin wurden direkt in TREMOD übernommen. Für LPG, Flugbenzin, Bioethanol und Biodiesel wurden die Kennzahlen aus älteren Veröffentlichungen der AG Energiebilanzen übernommen und bisher nicht angepasst, um die Konsistenz mit den kraftstoffabhängigen Emissionsfaktoren zu gewährleisten. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Heizwerte für Kraftstoffe (in MJ/kg)

Jahr	Benzin	Diesel	Erdgas	LPG	Bioethanol	Biodiesel	Flugbenzin	Kerosin
1990	43,543	42,705	46,500	45,887	26,917	37,242	43,543	42,705
1991	43,543	42,705	46,500	45,887	26,917	37,242	43,543	42,705
1992	43,543	42,705	46,500	45,887	26,917	37,242	43,543	42,705
1993	43,543	42,960	46,500	45,987	26,917	37,242	43,543	43,000
1994	43,543	42,960	46,500	46,041	26,917	37,242	43,543	43,000

¹ BAFA, Amtliche Mineralöldaten, Dez 2007 und Dez 2008 Tabelle 9 (Biodiesel)

² Die Kennzahlen sind in internen Excel-Dateien von ifeu und INFRAS dokumentiert

Jahr	Benzin	Diesel	Erdgas	LPG	Bioethanol	Biodiesel	Flugbenzin	Kerosin
1995	43,543	42,960	46,500	46,028	26,917	37,242	43,543	43,000
1996	43,543	42,960	46,500	46,598	26,917	37,242	43,543	43,000
1997	43,543	42,960	46,500	46,598	26,917	37,242	43,543	43,000
1998	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	43,000
1999	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	43,000
2000	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	43,000
2001	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	43,000
2002	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	43,000
2003	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	43,000
2004	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2005	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2006	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2007	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2008	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2009	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2010	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2011	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2012	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2013	43,543	42,960	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2014	43,543	42,649	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2015	43,543	42,694	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2016	43,543	42,648	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2017	43,543	42,648	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2018	43,543	42,648	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2019	43,543	42,648	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2020	43,543	42,648	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2021	43,543	42,648	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2022	43,543	42,722	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800
2023	43,543	42,774	46,500	46,598	26,658	37,242	43,543	42,800

Quellen: AG Energiebilanzen (Benzin, Diesel, Kerosin, LPG, Biodiesel und Bioethanol); Erdgas: HBEFA 3.3

Mit dieser Festlegung sind Änderungen des Heizwerts in der Energiestatistik im Zeitverlauf zu beachten. Denn die vom Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) gelieferten und in TREMOD implementierten Verbrauchswerte in MJ beziehen sich auf den Zertifizierungskraftstoff, der bei

den Emissionsmessungen verwendet wird. Dieser hat ggf. andere Kraftstoffeigenschaften als in den nationalen Energiebilanzen und in der Emissionsberichterstattung verwendet wird. Die folgende Tabelle enthält die Kennzahlen für den Zertifizierungskraftstoff.

Tabelle 3: Kennzahlen der Zertifizierungskraftstoffe im HBEFA

Kraftstoff	Dichte (kg/l)	Heizwert (MJ/kg)	CO ₂ -Faktor (kg/kg)	CO ₂ -Faktor (kg/TJ)
Benzin (E5)	0,746	42,335	3,104	73.325
Diesel (B7)	0,836	42,685	3,133	73.399

Quelle: HBEFA 4.1

Im HBEFA und in TREMOD werden somit für die Berechnung des massen- oder volumenbezogenen Verbrauchs, aber auch zur Berechnung der CO₂- und SO₂-Emissionen (siehe nachfolgende Kapitel), die Verbrauchswerte in MJ auf Basis des Zertifizierungskraftstoffs mit den länderspezifischen Kennzahlen (Heizwert, Dichte, aber auch CO₂ und SO₂) verknüpft.

1.2 Treibhausgasemissionen

In TREMOD werden die CO₂-Emissionen sowie die Treibhausgasemissionen als CO₂-Äquivalente in der Gewichtung nach IPCC 2007 (CO₂=1, CH₄=25, N₂O=298) und IPCC AR5 (CO₂=1, CH₄=28, N₂O=265) angegeben. Für die Berichterstattung des UBA wird seit der Submission 2023 die GWPs gemäß AR5 des IPCC für die gesamte Zeitreihe verwendet.

Für die Berechnung der direkten CO₂-Emissionen werden kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes, bezogen auf den Energieinhalt der Kraftstoffe, verwendet. Die direkten CO₂-Emissionsfaktoren für die Kraftstoffe und Gase wurden im Jahr 2024 vom Umweltbundesamt aktualisiert und gehen aus Tabelle 4 hervor.

Zusätzlich werden direkte Emissionen als „CO₂-fossil“ ausgewiesen. Hier sind bei den Emissionsfaktoren für Bioethanol und Biodiesel nur die fossilen Anteile berücksichtigt, wie sie auch in der Berichterstattung (NIR und VEdV) angesetzt werden. Dies sind 6,666% der direkten CO₂-Emissionen bei Bioethanol und 5,5 % bei Biodiesel. Für Biomethan werden derzeit noch keine fossilen CO₂-Anteile angesetzt, d. h. CO₂-fossil ist Null. Alle anderen Emissionsfaktoren von CO₂-fossil entsprechen den Werten in Tabelle 4.

Tabelle 4: Direkte CO₂-Emissionsfaktoren für Kraftstoffe und Gase

In kg/TJ

	Benzin	Diesel	Bioethanol	Biodiesel	Flüssig-gas	Erdgas	Kerosin	Flug-benzin
1990	73.069	74.027			65.559		73.256	71.199
1991	73.061	74.027			65.557		73.256	71.199
1992	73.057	74.027			65.543		73.256	71.199
1993	73.056	74.027			65.368		73.256	71.199
1994	73.069	74.027			65.326		73.256	71.199
1995	73.075	74.027		70.800	65.334		73.256	71.199
1996	73.076	74.027		70.800	65.212		73.256	71.199

	Benzin	Diesel	Bioethanol	Biodiesel	Flüssig-gas	Erdgas	Kerosin	Flug-benzin
1997	73.073	74.027		70.800	65.205		73.256	71.199
1998	73.079	74.027		70.800	65.230		73.256	71.199
1999	73.086	74.027		70.800	64.041		73.256	71.199
2000	73.094	74.027		70.800	64.404	55.847	73.256	71.199
2001	73.095	74.027		70.800	64.505	55.883	73.256	71.199
2002	73.095	74.027		70.800	64.376	55.892	73.256	71.199
2003	73.021	74.027		70.800	64.955	55.867	73.256	71.199
2004	72.950	74.027	71.607	70.800	65.262	55.858	73.256	71.199
2005	72.875	74.027	71.607	70.800	65.295	55.885	73.256	71.199
2006	72.877	74.027	71.607	70.800	65.361	55.869	73.256	71.199
2007	72.872	74.027	71.607	70.800	66.608	55.853	73.256	71.199
2008	72.824	74.027	71.607	70.800	65.225	55.868	73.256	71.199
2009	72.813	74.027	71.607	70.800	65.254	55.932	73.256	71.199
2010	72.810	74.027	71.607	70.800	65.330	55.928	73.256	71.199
2011	72.758	74.027	71.607	70.800	65.395	55.934	73.256	71.199
2012	72.822	74.027	71.607	70.800	65.399	55.917	73.256	71.199
2013	72.826	74.027	71.607	70.800	65.413	55.944	73.256	71.199
2014	72.827	74.027	71.607	70.800	65.461	55.936	73.256	71.199
2015	72.832	74.027	71.607	70.800	66.346	55.889	73.256	71.199
2016	72.827	74.027	71.607	70.800	66.334	55.840	73.256	71.199
2017	72.830	74.027	71.607	70.800	66.334	55.827	73.256	71.199
2018	72.828	74.027	71.607	70.800	66.334	55.718	73.256	71.199
2019	72.830	74.027	71.607	70.800	66.334	55.749	73.256	71.199
2020	72.779	74.027	71.607	70.800	66.334	55.826	73.256	71.199
2021	72.778	74.027	71.607	70.800	66.334	55.786	73.256	71.199
2022	72.787	74.027	71.607	70.800	66.334	56.221	73.256	71.199
2023	72.787	74.027	71.607	70.800	66.334	56.325	73.256	71.199

Anmerkungen: Erdgas: CNG, LNG und Biomethan

Quelle: Umweltbundesamt 2024

1.3 Schwefeldioxid- und Blei-emissionen

Die direkten Emissionen von Schwefeldioxid und Blei werden verursacht durch die in den Kraftstoffen enthaltenen Schwefel- und Bleiateile. Aufgrund der Gesetzgebung gibt es seit 1997 nur noch bleifreies Benzin und der Schwefelgehalt wurde stufenweise reduziert, so dass ab 2003 nur

noch schwefelarme Kraftstoffe im Straßen- und Schienenverkehr zugelassen sind. Bei der Schiffahrt gelten andere gesetzliche Bestimmungen. Erst ab 2011 waren bei der Binnenschifffahrt schwefelarme Kraftstoffe vorgeschrieben.

Tabelle 5: Direkte Blei- und SO₂-Emissionsfaktoren für Kraftstoffe und Gase im Verkehr

In kg/TJ

Jahr	Benzin Blei	Benzin SO ₂	Diesel Straße und Bahn SO ₂	Diesel Binnenschifffahrt SO ₂
1990	0,966	10,214	79,616	86,364
1991	0,680	10,214	60,883	60,883
1992	0,475	10,214	60,883	60,883
1993	0,370	10,214	60,521	60,521
1994	0,245	10,214	60,521	60,521
1995	0,179	8,357	60,521	60,521
1996	0,097	8,357	27,933	60,521
1997	0,001	8,357	18,622	60,521
1998	0	7,660	16,760	60,521
1999	0	6,964	15,363	60,521
2000	0	3,250	13,966	60,521
2001	0	2,553	11,639	60,521
2002	0	1,161	1,862	60,521
2003-2010	0	0,371	0,372	60,521
Ab 2011	0	0,371	0,372	0,372

Anmerkungen: Für Bioethanol und Biodiesel werden die SO₂-Faktoren von Benzin und Diesel verwendet; SO₂-Faktor LPG:

0,412 kg/TJ; SO₂-Faktor CNG: 0,150 kg/TJ; SO₂-Faktor Kerosin: 19,6 kg/TJ, alle für die gesamte Zeitreihe gültig

Quellen: Umweltbundesamt, eigene Annahmen

1.4 Emissionsfaktoren der Vorketten

1.4.1 Konventionelle Kraftstoffe

In den letzten Jahren gab es einige, relevante Änderungen bei den Treibhausgasemissionen der erdölbasierten Energieträger. Aufgrund von Erkenntnissen zu den bisher deutlich unterschätzten Methanemissionen aus der Erdöl- und Erdgasförderungen musste eine Neubewertung vorgenommen werden.

Bereits mit der TREMOD Version 6.53 wurden daher für Benzin, Diesel und Erdgas neue Emissionsfaktoren ab 2021 angesetzt. Mit der aktuellen Version 6.61 werden nun auch LPG sowie Kerosin basierend auf denselben Daten wie die anderen Kraftstoffe angepasst. In den Emissionsfaktoren sind nun die erhöhten Methanemissionen bei allen fossilen Kraftstoffen enthalten, so dass die Treibhausgasemissionen aus der Vorkette der konventionellen Kraftstoffe, wie in Tabelle 6 gezeigt, gegenüber den Vorjahren (weiter) ansteigen.

Tabelle 6: THG- Emissionsfaktoren konventioneller Kraftstoffe in g CO_{2e}/ MJ (nur Vorkette)

	Bis 2018	2019/ 2020	Ab 2021
Benzin	14,0	20,6	23,2
Diesel	15,6	20,3	23,4
CNG	13,6	19,1	20,3
LNG	21,5	23,3	25,0
LPG	14,0	14,0	23,5
Kerosin	15,7	15,7	20,8

Quelle: LBST (bis 2018, sowie LPG/ Kerosin bis 2020), UAAK (Benzin, Diesel, Erdgas 2019/2020), eigene Berechnungen (ifeu) ab 2021

Anmerkung: Aktuell wird in TREMOD nicht unterschieden zwischen CNG und LNG, daher werden die LNG-Vorketten nicht verwendet.

Die aktuellen Emissionsfaktoren sind repräsentativ für Deutschland im Jahr 2021. Eine aktualisierte Zeitreihe für vergangene und zukünftige Jahre, die auf der gleichen Datengrundlage und Methodik beruht, liegt nicht vor. Wie in der TREMOD-Version 6.53 werden die neuen Emissionskennzahlen für LPG und Kerosin ab dem Bezugsjahr 2021 eingesetzt und danach für alle zukünftigen Jahre beibehalten.

1.4.2 Strom

In TREMOD werden die Emissionsfaktoren für die Strombereitstellung des Umweltbundesamtes verwendet (Icha und Lauf 2024)³. Die aktuellen Werte bis 2023 werden übernommen, wobei die Werte für 2022 und 2023 noch als vorläufig bzw. geschätzt markiert sind.

Für die Ableitung zukünftiger Strommixe werden die Entwicklungen zur Stromerzeugung in Deutschland aus dem MMS-Szenario im Projektionsbericht 2025 (Wehnemann et al. 2025) zugrunde gelegt. Die Emissionsfaktoren wurden aus brennstoffspezifischen Kennzahlen abgeleitet, die die gesamte Erzeugungskette beinhalten und kompatibel mit den UBA-Basiswerten bis 2023 sind. Da die verwendeten Tabellen aus dem Projektionsbericht die Annahmen zum Energieträgermix nur aggregiert enthalten, mussten Annahmen für die Anteile der sonstigen Energieträger sowie die Aufteilung der erneuerbaren Energie auf Wind, Wasser und Solar getroffen werden.

Tabelle 7: Anteil Energieträger im Strommix und CO_{2e}-Emissionsfaktoren inkl. Vorkette im TREMOD-Trendszenario

	2023	2025	2030	2035	2040	2050
Wasser	4%	4%	3%	2%	2%	2%
Wind	28%	39%	51%	57%	61%	63%
Solar	12%	17%	22%	25%	26%	27%
Kohle	25%	14%	2%	0%	0%	0%

³ Die Veröffentlichung enthält die THG-Emissionsfaktoren in Tabelle 1 und Tabelle 2; die ausführliche Tabelle mit allen Komponenten wird dem ifeu für TREMOD zur Verfügung gestellt

	2023	2025	2030	2035	2040	2050
Erdgas	15%	15%	14%	11%	8%	7%
Kernenergie	1,4%					
Sonstige (inkl. Biomasse)	14%	11%	8%	5%	2%	1%
CO _{2e} Emissionsfaktor (g/kWh)	445	324	169	123	100	90

Quelle: 2023: UBA (Icha und Lauf 2024); ab 2025 Prognosbericht 2025 (Wehnemann et al. 2025) und eigene Berechnungen

Aufgrund fehlender Daten wurde vereinfacht die relative Entwicklung der THG-Emissionen ab 2024 für alle anderen Emissionskomponenten übernommen.

1.4.3 Biokraftstoffe

Die Berechnung der Emissionen der Biokraftstoffe (v.a. Biodiesel, Bioethanol, Biomethan) basiert auf der aktuellen Zusammensetzung der Kraftstoffherkunft (feedstocks) bis 2023 nach Angaben der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 2024).

Die Einhaltung der Mindestkriterien, die durch das Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungs-Quote (Bundesanzeiger 2021) vorgegeben sind, werden im Abschnitt A.1.4 erläutert.

2 Aktualisierung der Zeitreihe 1990-2023

2.1 Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr

Für die Aktualisierung der Verkehrsmengen bis 2023 lagen mit Stand 05. September 2024 folgende Daten vor, die für die Aktualisierung der Fahr- und Verkehrsleistungen bis 2023 verwendet wurden:

- ▶ Verkehr in Zahlen 2024/2025:
Verkehrsleistungen Straßengüterverkehr, Binnenschifffahrt, Eisenbahnverkehr, Öffentlicher Straßenpersonenverkehr (vorab von DLR zur Verfügung gestellt)
- ▶ DB AG: Kennzahlen zum Eisenbahnverkehr der DB 2023: Verkehrsleistungen, Betriebsleistungen und Auslastung nach Traktionsarten der DB AG
- ▶ Sonderabfrage Destatis zur Binnenschifffahrt 2023
- ▶ Sonderabfrage Destatis zum Flugverkehr 2023

Dabei wurden einzelne Werte z.T. rückwirkend korrigiert, so dass im Detail Unterschiede zu TREMOD 6.53 auftreten. Dies betrifft vor allem den motorisierten Individualverkehr (MIV) ab 2021, die Busse und den Güterverkehr der Eisenbahnen (siehe Details in den Kapiteln zu den einzelnen Verkehrsträgern). Verschiedene Werte für 2023 wurden vorab mit DLR und Intraplan abgestimmt, um die Abweichungen zwischen TREMOD und den zeitgleich erstellten Datensätzen für „Verkehr in Zahlen“ gering zu halten. Beim MIV sind die Berechnungsansätze von ifeu, DLR und Intraplan ab 2020 unterschiedlich. Details hierzu finden sich im Kapitel 2.2.2).

Tabelle 8 fasst die Verkehrsleistungsentwicklung von 2010-2023 für den Straßen-, Schienen-, Binnenschiffs- und Flugverkehr in Mrd. Personenkilometern (Pkm) sowie Mrd. Tonnenkilometern (tkm) zusammen (Stand September 2024).

Tabelle 8: Verkehrsleistungsentwicklung 2010-2023

In Mrd. Pkm (Personenverkehr) bzw. Mrd. tkm (Güterverkehr)

	2010	2019	2020	2021	2022	2023	2010-2019	2019-2023	2022-2023
Personenverkehr davon:	1.083,8	1.129,5	892,7	902,7	972,4	1.002,2	4,2%	-11,3%	3,1%
Straße	983,7	1.011,5	822,5	834,0	863,6	882,3	2,8%	-12,8%	2,2%
MIV	893,8	917,4	782,2	791,6	799,9	811,3	2,6%	-11,6%	1,4%
Bus	89,9	94,1	40,3	42,3	63,7	71,0	4,7%	-24,5%	11,4%
Fernlinienbus	0,0	4,1	1,3	0,6	1,6	2,4		-43,2%	50,0%
Nahlinienbus	38,9	38,3	29,3	30,1	36,1	36,1	-1,6%	-5,7%	0,0%
Sonst. Busse*	50,9	51,6	9,7	11,5	26,0	32,6	1,4%	-37,0%	25,0%
Schiene	100,2	118,0	70,2	68,8	108,8	119,9	18%	1,7%	10,2%
PNV DB	41,4	41,6	23,9	21,4	34,8	37,5	0,6%	-10,0%	7,9%
PNV NE	6,6	14,5	11,5	11,5	18,1	21,6	120%	49,1%	19,5%

	2010	2019	2020	2021	2022	2023	2010-2019	2019-2023	2022-2023
PFV	36,0	43,9	23,5	24,7	41,5	45,2	22%	2,9%	9,0%
SSU-Bahnen	16,2	18,0	11,4	11,2	14,5	15,7	11,1%	-12,7%	7,8%
Güterverkehr davon:	610,7	687,8	661,7	694,9	691,5	657,2	13%	-4,4%	-5,0%
Straße	440,6	498,6	487,4	505,7	503,1	480,7	13%	-3,6%	-4,4%
Schiene	107,9	138,2	128,0	141,0	144,3	135,0	28%	-2,3%	-6,5%
Schiene DB	80,4	60,7	56,2	60,3	59,6	51,9	-24%	-14,5%	-12,9%
Schiene NE	27,5	77,5	71,8	80,7	84,7	83,1	182%	7,2%	-1,9%
Binnenschiff	62,3	50,9	46,3	48,2	44,1	41,5	-18%	-18,5%	-5,9%
Flugverkehr									
Personenverkehr davon:	194,3	262,7	67,0	79,3	177,1	221,1	35%	-15,8%	24,9%
National	10,8	10,6	3,1	2,3	4,3	5,2	-1,8%	-50,7%	20,8%
International abgehend	183,5	252,1	63,9	76,9	172,8	215,9	37%	-14,4%	25,0%
Güterverkehr davon:	10,8	12,2	11,1	13,4	13,2	12,5	13%	2,0%	-5,5%
National	0,042	0,0497	0,0472	0,0512	0,0500	0,0462	19%	-6,9%	-7,6%
International abgehend	10,7	12,2	11,0	13,3	13,1	12,4	13%	2,0%	-5,5%

*Gelegenheitsverkehr mit Bussen (nach Destatis) und sonstiger Busverkehr (Schätzung)

DB: Deutsche Bahn, NE: Nichtbundeseigene Eisenbahnen, PNV: Personennahverkehr; PFV: Personenfernverkehr

Quellen: Verkehr in Zahlen, Destatis, DB AG, Intraplan, Eigene Annahmen

2.2 Straßenverkehr

2.2.1 Fahrzeugbestand

Die Berücksichtigung verschiedener Kraftstoffarten pro Fahrzeugkategorie unterscheidet sich in TREMOD je nach Bezugsjahr. Eine Übersicht zeigt Tabelle 9.

Insbesondere nahm die Bedeutung von alternativen Antrieben mit der Zeit zu. Daher wird beispielsweise für Pkw LPG ab dem Jahr 2001 und CNG ab 2006 in TREMOD berücksichtigt. Elektrofahrzeuge (BEV und PHEV) werden je nach Fahrzeugkategorie ab dem Jahr 2012 oder 2014 in TREMOD abgebildet. Eine Übersicht zur Entwicklung des Fahrzeugbestands in TREMOD nach Antriebsarten wird in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Tabelle 9: Berücksichtigte Antriebsarten pro Fahrzeugkategorie bis zum Bezugsjahr 2023

Fahrzeugkategorie	Benzin	Diesel	Hybrid	CNG/LNG	LPG	BEV	PHEV (D/B)
KKR	≥1960					≥2012	

Fahrzeugkategorie	Benzin	Diesel	Hybrid	CNG/LNG	LPG	BEV	PHEV (D/B)
KR	≥1960					≥2012	
Pkw	≥1960	≥1960		≥2006	≥2001	≥2012	≥2012
LNF	≥1960	≥1960		≥2006		≥2012	≥2017
Lkw		≥1960		≥2012		≥2012	
SZ/LZ		≥1960		≥2012		≥2014	
Linienbusse		≥1960	≥2012	≥2006		≥2012	
Fernlinienbusse		≥1960				≥2012	
Sonstige Busse		≥1960				≥2012	
Übrige Kfz leicht	≥1960	≥1960				≥2014	
Übrige Kfz schwer		≥1960				≥2014	

Anmerkung: Weitere alternative Antriebe des KBA-Fahrzeugregisters und solche welche in früheren Jahren noch nicht in TREMOD berücksichtigt werden, werden entweder zu Benzin- oder Dieselfahrzeugen aggregiert. Dazu gehören beispielsweise Wasserstoff- und Brennstoffzellenfahrzeuge

Bei den Pkw nahm der Anteil der Dieselfahrzeuge zwischen 2000 und 2018 von 14 % auf 33 % zu, danach ging der Anteil bis 2023 zurück auf 30 %. Die alternativen Antriebe (CNG, LPG, BEV und PHEV) machten 2023 5,1 % des Pkw-Bestands aus.

Tabelle 10: Entwicklung des Pkw-Bestands nach Antriebsart 2000-2023

Anzahl in Millionen Fahrzeuge und Anteile je Antriebsart

Jahr	Anzahl	Benzin	Diesel	LPG	CNG	BEV	PHEV-B/D
2000	42,8	86%	14%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2005	45,7	79%	21%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%
2006	46,3	77%	23%	0,14%	0,08%	0,00%	0,00%
2007	46,5	76%	24%	0,21%	0,10%	0,00%	0,00%
2008	41,2	75%	25%	0,54%	0,13%	0,00%	0,00%
2009	41,5	74%	25%	0,78%	0,15%	0,00%	0,00%
2010	42,0	73%	26%	0,91%	0,17%	0,00%	0,00%
2011	42,6	72%	27%	1,00%	0,17%	0,00%	0,00%
2012	43,2	70%	28%	1,07%	0,18%	0,01%	0,00%
2013	43,6	69%	30%	1,11%	0,18%	0,02%	0,00%
2014	44,1	68%	31%	1,10%	0,18%	0,04%	0,01%
2015	44,7	67%	32%	1,06%	0,18%	0,05%	0,02%
2016	45,4	66%	33%	0,99%	0,17%	0,07%	0,03%
2017	46,1	66%	33%	0,92%	0,17%	0,10%	0,07%

Jahr	Anzahl	Benzin	Diesel	LPG	CNG	BEV	PHEV-B/D
2018	46,8	66%	33%	0,85%	0,17%	0,15%	0,12%
2019	47,4	67%	32%	0,81%	0,17%	0,23%	0,18%
2020	48,0	67%	32%	0,75%	0,17%	0,46%	0,40%
2021	48,4	66%	31%	0,70%	0,17%	0,96%	0,87%
2022	48,7	65%	31%	0,68%	0,17%	1,68%	1,47%
2023	48,9	65%	30%	0,65%	0,16%	2,47%	1,83%

Quelle: KBA, eigene Berechnungen. Anmerkung: Bestand zur Mitte des Jahres

Bei den leichten Nutzfahrzeugen (LNF) nahm seit 2000 der Bestand zu. In den letzten Jahren stieg der Anteil alternativer Antriebe an, welche im Jahr 2023 ca. 2,5 % der LNF-Flotte ausmachten.

Tabelle 11: Entwicklung des LNF-Bestands von 2000-2023 nach Antriebsart

Anzahl in 1000 Fahrzeugen und Anteile je Antriebsart

Jahr	Anzahl (Tsd.)	Benzin	Diesel	CNG	BEV+PHEV
2000	1.734	17%	83%	0,0%	0,0%
2005	1.896	11%	89%	0,0%	0,0%
2006	1.927	10%	90%	0,3%	0,0%
2007	1.979	9%	90%	0,5%	0,0%
2008	1.784	8%	91%	0,6%	0,0%
2009	1.826	8%	91%	0,7%	0,0%
2010	1.879	8%	92%	0,8%	0,0%
2011	1.949	7%	92%	0,8%	0,0%
2012	2.017	7%	92%	0,8%	0,1%
2013	2.073	6%	93%	0,8%	0,1%
2014	2.138	6%	93%	0,7%	0,1%
2015	2.226	6%	93%	0,7%	0,2%
2016	2.330	6%	94%	0,6%	0,2%
2017	2.442	5%	94%	0,6%	0,4%
2018	2.558	6%	93%	0,5%	0,6%
2019	2.680	6%	93%	0,5%	0,7%
2020	2.812	6%	93%	0,5%	1,0%
2021	2.950	6%	93%	0,4%	1,2%
2022	3.065	6%	92%	0,4%	1,6%
2023	3.160	6%	92%	0,4%	2,1%

Quelle: KBA, eigene Annahmen. Anmerkung: Bestand zur Mitte des Jahres

Die schweren Nutzfahrzeuge (SNF) für den Gütertransport insgesamt sind in der Bestandsentwicklung bis 2010 rückläufig, vor allem bedingt durch eine Abnahme der Solo-Lkw. Fast alle SNF werden mit Diesel angetrieben. Bei den ab 2012 berücksichtigten alternativen Antrieben zeigt sich in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme auf insgesamt ca. 1,5% im Jahr 2023. Bei den kleineren Lkw sind dies vor allem batterieelektrische, bei den Sattelzügen hingegen LNG-Fahrzeuge.

Tabelle 12: Entwicklung des SNF-Bestands nach Antrieben 2000-2023

Anzahl in 1000 Fahrzeugen und Anteile je Antriebsart

Jahr	Anzahl (Tsd.)	Diesel	CNG/LNG	BEV
2000	955	100%		
2005	863	100%		
2006	858	100%		
2007	861	100%		
2008	729	100%		
2009	714	100%		
2010	709	100%		
2011	717	100%		
2012	720	99,8%	0,14%	0,05%
2013	715	99,8%	0,14%	0,05%
2014	714	99,8%	0,13%	0,05%
2015	716	99,8%	0,11%	0,05%
2016	725	99,9%	0,09%	0,05%
2017	736	99,9%	0,09%	0,05%
2018	747	99,8%	0,09%	0,07%
2019	752	99,7%	0,15%	0,12%
2020	750	99,5%	0,31%	0,21%
2021	751	99,1%	0,55%	0,32%
2022	757	98,8%	0,75%	0,41%
2023	759	98,5%	0,90%	0,58%

Quelle: KBA, eigene Annahmen. Anmerkung: Bestand zur Mitte des Jahres

Schließlich sind in TREMOD die Bestände der Kleinkrafträder (KKR), Krafträder (KR), Busse und übrige Kfz enthalten. Zur Abschätzung des Stromverbrauchs werden ab dem Jahr 2012 auch E-Bikes bzw. Pedelecs (Fahrräder mit elektrischer Trittunterstützung) berücksichtigt.

Eine Unterscheidung nach Linien- und Reisebussen wurde bis 2011 aufgrund des in den KBA-Tabellen enthaltenen Kriteriums „Anzahl Stehplätze >0 ist Linienbus“ bzw. „=0 ist Reisebus“ vorgenommen. Problematisch bei der Anwendung dieses Kriterium ist, dass die resultierende Anzahl an Linienbussen sehr gering ist und diese nicht mit anderen Angaben übereinstimmt. Somit wurde die Anzahl der Linienbusse anhand der VDV-Statistik und unter der Annahme abgeleitet, dass dort ca. 90 % der in Deutschland zugelassenen Linienbusse erfasst werden. Dies bedeutet, dass 1/3 aller Busse ohne Stehplätze zusätzlich den Linienbussen zugeordnet wurden.

Ab dem Jahr 2012 wurde der Busbestand anhand weiterer Merkmale neu aufgeteilt. Als Linienbusse werden basierend auf der vom KBA erfassten Aufbauart alle Busse mit Doppeltüren sowie Niederflurbusse eingeteilt. Hinzu kommen Fernlinienbusse, deren Bestand anhand der Daten von Verkehrsunternehmen und eigener Annahmen geschätzt wird, die von der Kategorie „Sonstige Reisebusse“ unterschieden werden. Eine weiter zurückreichende aktualisierte Aufteilung konnte mit den vorliegenden Informationen nicht vorgenommen werden.

Sowohl die Gesamtanzahl der in Deutschland zugelassenen Busse als auch deren Aufteilung auf die verschiedenen Größenklassen wurde gemäß der KBA-Statistik übernommen. Legt man diese Aufteilung zugrunde, ergeben sich die in Tabelle 13 dargestellten Entwicklungen.

Der Bestand an Reisebussen im Gelegenheits- und sonstigem Busverkehr hat zwischen 2000 und 2011 abgenommen, nimmt aber in der neuen Abgrenzung bis 2019 wieder leicht zu. In den Jahren 2020 und 2021 waren die Busbestände geringer als im Jahr 2019. Zeitlich fällt dieser Rückgang mit den Maßnahmen gegen die COVID-19 Pandemie zusammen. In den Jahren 2022 und 2023 stieg der Bestand an Reisebussen zwar gegenüber dem Vorjahr, lag jedoch immer noch unter dem Bestand von 2019. Bei den Fernlinienbussen kam es ab 2012 zunächst zu einem Anstieg. Seit 2015 ist ein leichter Rückgang der Bestände zu beobachten und im Jahr 2020 und 2021 ein stärkerer Einbruch. 2022 und 2023 nahm der Bestand wieder zu. Reise- und Fernlinienbusse werden bisher fast ausschließlich mit Dieselmotor angetrieben.

Bei den Linienbussen nahm der Bestand in derselben Zeitspanne zu. Diese werden ebenfalls überwiegend mit Dieselmotor angetrieben. Alternative Antriebe waren hierbei vor allem CNG mit einem Anteil von 3% ab 2006, der jedoch bis 2023 wieder auf 1,2 % zurückging. Deutlich gestiegen in den letzten Jahren ist hingegen der Anteil der Hybrid- und Elektro-Busse, welche im Jahr 2023 zusammen knapp 12 % aller Linienbusse im Bestand ausmachten.

Tabelle 13: Entwicklung des Busbestands von 2000-2023 insgesamt und Anteil der Linienbusse nach Antriebsart

Anzahl Fahrzeuge und Anteile je Fahrzeug- und Antriebsart

Jahr	Fernlinienbusse	Sonstige Reisebusse	Linienbus Gesamt	davon Diesel	davon CNG	davon Hybrid	davon BEV
2000	0	40.417	45.157	100%			
2005	0	39.011	45.600	100%			
2006	0	37.638	46.088	97%	2,9%		
2007	0	35.982	47.444	97%	3,1%		
2008	0	30.561	44.608	97%	3,3%		
2009	0	30.091	45.761	97%	3,3%		
2010	0	29.842	46.606	97%	3,3%		

Jahr	Fernli-nien-busse	Sonstige Reise-busse	Linienbus Gesamt	davon Diesel	davon CNG	davon Hybrid	davon BEV
2011	0	28.135	48.091	97%	3,1%		
2012	736	23.365	51.904	96%	3,59%	0,33%	0,03%
2013	789	24.020	51.600	96%	3,41%	0,42%	0,04%
2014	856	24.576	51.715	96%	3,19%	0,51%	0,05%
2015	889	24.988	52.045	96%	2,95%	0,59%	0,09%
2016	860	25.265	52.538	97%	2,71%	0,61%	0,14%
2017	829	25.374	53.002	97%	2,45%	0,63%	0,19%
2018	781	25.542	53.654	97%	2,17%	0,84%	0,24%
2019	715	25.589	54.638	96%	1,96%	1,38%	0,42%
2020	683	22.030	55.744	95%	1,76%	2,73%	0,86%
2021	681	19.752	57.454	92%	1,53%	4,78%	1,62%
2022	740	21.650	59.188	90%	1,37%	6,52%	2,54%
2023	814	22.209	60.756	87%	1,23%	8,19%	3,58%

Anmerkung: Ab 2012 geänderte Aufteilung

Quelle: KBA, eigene Annahmen

Der Bestand der vom KBA registrierten Krafträder hat zwischen 2000 und 2023 zugenommen. Diese waren im Jahr 2023 überwiegend benzinbetrieben, wobei angenommen wird, dass der Anteil der 2-Takter kontinuierlich abnahm. Nur ca. 1,2 % der Krafträder waren batteriebetrieben. Die Zahl der mit Versicherungskennzeichen erfassten Kleinkrafträder (u.a. Mopeds und Roller) blieb in den letzten Jahren relativ konstant. Allerdings berichtet das KBA deren Bestand nur bis 2016, für spätere Jahre handelt es sich um eigene Annahmen. Da im HBEFA bisher nur 2-Takt- und BEV-Mopeds definiert sind, wird für TREMOD angenommen, dass es sich bei den Benzin-KKR bisher um 2-Takter handelte. Für den Anteil der BEV-KKR wurde in Anlehnung an (electroroller-forum.de, 2012) näherungsweise angenommen, dass 2011 ca. 4.000 solcher Fahrzeuge auf dem Markt waren und deren Bestand jährlich um 2.000 Fahrzeuge stieg. Die batterieelektrischen Pedelecs haben in den letzten Jahren stark zugenommen, ihr Bestand wurde in 2023 vom Zweirad-Industrie-Verband (ZIV 2024) auf 11 Mio. Fahrzeuge geschätzt.

Tabelle 14: Entwicklung des KR-, KKR- und Pedelec-Bestands nach Antrieben 2000-2023

Anzahl in 1000 Fahrzeugen und Anteile je Antriebsart

Jahr	Anzahl KR (Tsd.)	davon Benzin 2-T	davon Benzin 4-T	davon BEV	Anzahl KKR (Tsd.)	davon Benzin 2-T	davon BEV	Anzahl Pedelecs
2000	3.316	9%	91%		1.743	100%		
2005	3.854	8%	92%		1.786	100%		
2006	3.936	7%	93%		1.819	100%		
2007	4.003	7%	93%		1.930	100%		

Jahr	Anzahl KR (Tsd.)	davon Benzin 2-T	davon Benzin 4-T	davon BEV	Anzahl KKR (Tsd.)	davon Benzin 2-T	davon BEV	Anzahl Pedelecs
2008	3.612	7%	93%		1.984	100%		
2009	3.711	7%	93%		2.194	100%		
2010	3.795	7%	93%		2.104	100%		
2011	3.868	7%	93%		2.043	100%		
2012	3.946	6%	94%	0,1%	1.991	99,4%	0,3%	1.200
2013	4.019	6%	94%	0,1%	1.993	99,2%	0,4%	1.600
2014	4.100	6%	94%	0,1%	1.959	99,0%	0,5%	2.100
2015	4.187	6%	94%	0,2%	2.036	98,8%	0,6%	2.500
2016	4.271	5%	94%	0,2%	2.020	98,6%	0,7%	3.000
2017	4.344	5%	94%	0,2%	1.986	98,4%	0,8%	3.500
2018	4.406	5%	95%	0,2%	2.028	98,2%	0,9%	4.500
2019	4.473	5%	95%	0,2%	2.058	98,1%	1,0%	5.400
2020	4.584	5%	95%	0,3%	2.074	98,9%	1,1%	7.100
2021	4.721	5%	95%	0,4%	2.088	98,8%	1,2%	8.500
2022	4.847	5%	94%	0,8%	2.102	98,4%	1,6%	9.800
2023	4.953	5%	94%	1,2%	2.116	97,6%	2,4%	11.000

Quelle: KBA, ZIV/Pedelection. Anmerkung: Bestand zur Mitte des Jahres; Anzahl KKR bis 2016 nach KBA/VIZ, danach geschätzt

2.2.2 Fahrleistungen

Zur Ableitung der Fahrleistung wurden im aktuellen Jahr die im Vorjahr angepassten Methoden verwendet und die Daten aktualisiert (Allekotte et al. 2024a). Aufgrund der nicht vorliegenden Daten ist die Entwicklung der Fahrleistungen auf dem Straßennetz der Landes-, Kreis- und Gemeindestrassen und generell innerorts derzeit die unsicherste Größe im Verkehrsmengengerüst des Straßenverkehrs.

2.2.2.1 Personenverkehr

Die zentrale Quelle für die Fahrleistung des MIV ab 2020 ist das seit 2020 verfügbare Verkehrsbarometer (BASt 2024). Die Änderungsraten der Verkehrsmengen (DTV; durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke), die auf Autobahnen und Bundesstraßen von der BASt monatlich ausgewertet werden, werden zu jährlichen Werten zusammengefasst. Daraus resultieren jährliche Änderungsfaktoren je Fahrzeugkategorie (siehe Tabelle 15). Bisher bezogen sich die Faktoren für die Veränderung der Fahrleistungen auf das Jahr 2019. Seit 2023 wird von der BASt die jährliche Veränderung zum Vorjahr angegeben. Die Änderungen in den früheren Jahren werden nicht mehr veröffentlicht. Es ergeben sich jedoch noch Änderungen in den Vorjahren aufgrund der letzten Version des Verkehrsbarometers im Jahr 2023.

Die Fahrleistungen wurden außerdem an die veröffentlichten Daten der Straßenverkehrszählung (SVZ) 2021 der BASt (Schneider et al. 2023) angepasst, so dass sich die Fahrleistungen gegenüber der TREMOD-Version 6.53 ab 2021 ändern. Je Verkehrsträger, wurden die Fahrleistungen auf Bundesautobahn und Bundesstraßen aktualisiert:

- ▶ Die Fahrleistung der Pkw wurde an den Wert 2021 der SVZ 2021 angepasst.
- ▶ Die Fahrleistungen der Busse der SVZ 2021 und von TREMOD 6.53 stimmen überein und wurden entsprechend beibehalten
- ▶ Für den Kraftradverkehr wurde das Verkehrsbarometer als Hauptquelle beibehalten, da die Ergebnisse der SVZ 2021 als zu niedrig eingeschätzt wurden.

Tabelle 15: Jährliche Änderungsrate der DTV von Pkw und KR laut Verkehrsbarometer

	FzKat	Autobahn	Bundesstraße
2023/2022	KR	-5,7%	-11,1%
	Pkw	3,4%	+0,8%
2022/2021	KR	5,2%	+4,8%
	Pkw	6,2%	-1,1%
2021/2020	KR	-3,5%	-11,1%
	Pkw	+0,4%	-0,9%
2020/2019	KR	-13,6%	+2,4%
	Pkw	-19,2%	-13,1%

Quelle: (BASt 2024), eigene Berechnungen

Die Änderung der DTV der KR des Verkehrsbarometers werden sowohl für die TREMOD Kategorien KR als auch KKR verwendet.

Im Jahr 2023 war bei den Pkw ein Anstieg der Fahrleistung auf Autobahnen und Bundesstraßen ggü. 2022 zu beobachten, bei den Krafträdern ein deutlicher Rückgang.

Da bisher keine zuverlässige Quelle für die restlichen Straßenkategorien herangezogen werden kann, wird die Änderungsrate der Fahrleistung auf diesen Straßen der Änderungsrate auf Bundesstraßen je Fahrzeugkategorie nach dem Verkehrsbarometer gleichgesetzt. Aktuelle Analysen zur Verwendung der automatischen Straßenzähler der Bundesländer zeigen Potentiale aber erfordern mehr Untersuchungen, um für die Ableitung der Fahrleistung benutzt werden zu können, wie im Bericht (Allekotte et al. 2023) im Detail erläutert.

Die Ergebnisse der MIV-Fahrleistungen 2019 – 2023 sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Die Pkw Fahrleistung, die ca. 97% der MIV-Fahrleistungen ausmachen, sind 2023 mit 571 Milliarden Kilometer noch unter dem vor-Corona Niveau von 2019.

Die übrigen Fahrzeuge „Uekfz“ sind aus der Pkw Kategorie abgeleitet. Sie haben einen Anteil von ca. 0,3% auf Autobahnen und 0,1% auf den anderen Straßenkategorien. Die Quelle ist (Bäumer et al. 2016), es wird nach 2014 angenommen, dass dieser Anteil konstant bleibt.

Tabelle 16: Fahrleistungen des MIV in TREMOD 2019-2023

FzKat	Fahrleistung 2019 (Mio.km)	Fahrleistung 2020 (Mio.km)	Fahrleistung 2021 (Mio.km)	Fahrleistung 2022 (Mio.km)	Fahrleistung 2023 (Mio.km)	Änderung 2022-2023 (%)
KKR	4.922	5.039	4.479	4.694	4.171	-11,1%
KR	9.920	9.946	8.928	9.360	8.380	-10,5%
Pkw	644.815	548.109	555.987	561.559	570.620	+1,6%
Uekfzl	1.014	862	855	879	899	+2,3%

Quelle: KBA, BASt, eigene Berechnungen

Die Fahrleistungen der Linien- und Fernlinienbusse sind für 2022 aus Destatis (DESTATIS 2024) übernommen. Leider erscheint die Publikation für das aktuelle Jahr 2023 erst nach der Frist für die Berichterstattung und kann nur nachträglich einbezogen werden. Dementsprechend sind die Werte für Busse 2023 in Anlehnung auf die bereits vorliegenden Informationen zur Verkehrsleistungsentwicklung, wie sie von DLR für „Verkehr in Zahlen“ angesetzt werden, wie folgt abgeschätzt und damit unverändert gegenüber den Annahmen in den VEdV 2022 (Allekotte et al. 2024a):

- ▶ Für *Linienbusse* (LBus) wurde angenommen, dass die Fahrleistung 2023 gegenüber 2022 unverändert ist.
- ▶ Für *Fernlinienbusse* (FLBus) wurde ein Anstieg von 50% angenommen.
- ▶ Für *Reisebusse* (SRBus; sonstige Reisebusse) wurde ein Anstieg von 25% angenommen.

Insgesamt steigen die Busfahrleistungen 2023 ggü. 2022 um 7% an (siehe Tabelle 17), trotzdem sind die Fahrleistungen noch unter dem vor Corona Niveau von 2019.

Tabelle 17: Busfahrleistung in TREMOD

FzKat	Fahrleistung 2019 (Mio.km)	Fahrleistung 2020 (Mio.km)	Fahrleistung 2021 (Mio.km)	Fahrleistung 2022 (Mio.km)	Fahrleistung 2023 (Mio.km)	Änderung 2022-2023 (%)
SRBus	1.896	407,1	500,6	984,2	1.230,2	+25%
FLBus	128	48,7	27,0	48,3	72,4	+50%
LBus	2.593	2.490,6	2.643,1	2.704,1	2.704,1	+0%
Summe	4.617	2.946	3.171	3.737	4.007	+7%

Quellen: KBA, BAST, eigene Berechnungen

Die für TREMOD abgeleiteten Fahrleistungen der Pkw unterscheiden sich 2023 wie schon in den Vorjahren ab 2020 von den Angaben in „Verkehr in Zahlen“, da das DLR ein anderes Verfahren

zur Fortschreibung der Werte anwendet. Beim Busverkehr wurden die Methode und die Annahmen abgestimmt, so dass hier eine Übereinstimmung erzielt werden konnte.

2.2.2.2 Güterverkehr

Die Basisquellen für die Berechnung der Fahrleistung des Güterverkehrs sind die Fahrleistungen der Mautstatistik (BALM 2024) und des Verkehrsbarometers (BASt 2024), beide erst ab 2019 vollständig verfügbar.

Ab 2019 wird die Mautstatistik als Hauptquelle für die Fahrleistung des Schwergüterverkehrs auf Autobahnen und Bundesstraßen verwendet. Allerdings deckt die Mautstatistik die Lkw zwischen 3,5t und 7,5t zul. GG. bis einschließlich Juni 2024 nicht ab. Ihre Fahrleistung wird daher geschätzt: Es wird angenommen, dass die Fahrleistung einschließlich dieser Klasse um 10 % höher ist als die mautpflichtige Fahrleistung (basierend auf die Fahrleistungen 2019 in (KBA 2023). Die Änderungen der Fahrleistung der Mautstatistik von 2019 bis 2023 ist in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Änderung der Fahrleistung auf Autobahn laut Mautstatistik

Jahr	FzKat	Autobahn	Bundesstraße
2023/2022	Lkw>zGG. 7,5t	-3,6%	-5,1%
2022/2021	Lkw>zGG. 7,5t	-0,9%	-2,5%
2021/2020	Lkw>zGG. 7,5t	4,4%	0,9%
2020/2019	Lkw>zGG. 7,5t	-0,9%	-3,3%

In der Mautstatistik ging die Fahrleistung des Güterverkehrs 2023 ggü. 2022 deutlich zurück. 2023 erreicht die Fahrleistung der Lkw (über 7,5t) insgesamt 39,65 Milliarden Kilometer, davon 22,5 Milliarden Kilometer durch inländische Lkws.

Zur Plausibilisierung können die Fahrleistungsänderung der Mautstatistik mit den Daten vom Verkehrsbarometer verglichen werden. Dafür müssen die gesamten Fahrleistungen der Mautstatistik auf die Fahrzeugkategorien (FzKat) runtergebrochen werden. Leider wird in der Mautstatistik nicht nach Fahrzeugkategorie (Lkw, LZ, SZ) unterschieden, nur nach Größenklassen. Die Übersetzung der Größenklasse in Fahrzeugkategorien ist aber nicht möglich, sodass die Verteilung der Güterfahrleistung nach Fahrzeugkategorien aus dem Verkehrsbarometer (BASt 2024) abgeleitet wird. Diese Verteilung ist über die letzten 3 Jahren relativ konstant geblieben, mit einer leichten Tendenz zur Erhöhung des Anteils der Sattelzüge, wie der Tabelle 19 zu entnehmen ist.

Tabelle 19: Anteil an der Güterverkehrsleistung je Fahrzeugkategorie ab 2019 laut Verkehrsbarometer

Anteil an FzKat (Bundesautobahn)	2019	2020	2021	2022	2023
LkW	21%	20%	20%	20%	20%
LZ	16%	16%	16%	16%	16%
SZ	63%	63%	64%	64%	64%
Anteil an FzKat (Bundesstraßen)	2019	2020	2021	2022	2023
Lkw	36%	36%	35%	35%	35%

Anteil an FzKat (Bundesautobahn)	2019	2020	2021	2022	2023
LZ	16%	16%	16%	16%	15%
SZ	48%	48%	49%	50%	50%

Quelle: (BASt 2024)

Der Vergleich der Wachstumsrate von Verkehrsbarometer (VB) und Mautstatistik (MT) auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen 2023 vs. 2022 der jeweiligen Fahrzeugkategorie zeigt eine relativ gute Übereinstimmung der Ergebnisse des Schwergüterverkehrs (siehe Tabelle 20), wobei der Rückgang auf den Bundesstraßen beim Verkehrsbarometer größer war.

Die Unterschiede zwischen den Quellen und die entsprechenden resultierenden Unsicherheiten der aus der Mautstatistik angenommenen Wachstumsrate scheinen aber akzeptabel (u.a. mit der Tatsache, dass die Lkw <7,5t in die Mautstatistik nicht einfließen) und bleiben innerhalb einer Bandbreite von unter 2 Prozentpunkten.

Die LNF hingegen sind nur vom Verkehrsbarometer abgedeckt und können nicht mit der Mautstatistik verglichen werden. Aus der Statistik ist ein klarer Anstieg der Fahrleistung 2023 zu erkennen. Damit sind die Fahrleistungen von LNF über dem Niveau von 2019, während LkW, LZ und SZ unter diesem vor-Corona Niveau liegen (wie in Tabelle 21 abgebildet).

Tabelle 20: Wachstumsrate der Fahrleistung bzw. der DTV auf Autobahnen und Bundesstraßen laut Mautstatistik und Verkehrsbarometer

Jahr	FzKat	Verkehrsbarometer		Mautstatistik	
		Autobahn	Bundesstraße	Autobahn	Bundesstraße
2023/2022	LNF	+0,9%	+0,2%		
	Lkw	-3,1%	-6,6%		
	LZ	-2,9%	-8,8%		
	SZ	-4,7%	-7,5%		
2022/2021	Mautverkehr			-3,6%	-5,1%
	LNF	+5,3%	-1,3%		
	Lkw	-3,7%	-7,9%		
	LZ	-4,8%	-7,9%		
2021/2020	SZ	-3,2%	-5,4%		
	Mautverkehr			-0,9%	-2,5%
	LNF	+8,3%	+6,6%		
	Lkw	+3,6%	+1,5%		
2020/2019	LZ	+2,7%	+1,3%		
	SZ	+5,6%	+4,7%		

Jahr	FzKat	Verkehrsbarometer		Mautstatistik	
	Mautverkehr			0,9%	4,4%
2020/2019	LNF	-7,8%	- 4%		
	Lkw	-7,3%	- 2,5%		
	LZ	-2,5%	-2,2%		
	SZ	-0,6%	-1,8%		
	Mautverkehr			-0,9%	-3,3%

Quellen: (BASt 2024), (BALM 2024), eigene Berechnungen

Da keine zuverlässige Quelle für die Fahrleistung der jeweiligen Fahrzeugkategorien auf den restlichen Straßenkategorien herangezogen werden kann, wird hier die Entwicklung der Fahrleistung entsprechend der Entwicklung auf den Bundesstraßen laut Mautstatistik angenommen. In den Lkw sind die schweren übrigen Kfz (UeKfzs) enthalten. Ihr Anteil wurde von 2014 bis 2019 anhand der Änderungsrate der Fahrleistung von „Verkehr in Kilometern“ (KBA-ViK) abgeleitet. Ab 2019 wird dieselbe Änderungsrate wie bei den Lkw verwendet. Ihr Anteil an der Lkw Fahrleistung bleibt damit bei ca. 8,4% stabil.

Aus der Kumulierung der Fahrleistungsergebnisse je Straßen- und Fahrzeugkategorie resultiert die gesamte Fahrleistung je Fahrzeugkategorie für Deutschland (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Fahrleistung des Güterverkehrs 2019-2023

In Mio. km

Fahrleistung TREMOD	2019	2020	2021	2022	2023
LNF	53.657	50.983	54.572	54.808	55.020
Lkw	19.589	18.717	18.860	18.332	17.645
UeKfzs	1.632	1.551	1.576	1.542	1.490
Lz	10.829	10.598	10.705	10.399	9.958
SZ	33.385	33.262	34.734	34.468	32.903
Summe Schwerverkehr	65.435	64.128	65.875	64.740	61.995
Summe Güterverkehr	119.092	115.111	120.447	119.548	117.016

Quellen: (BASt 2024), (BALM 2024), eigene Berechnungen

Zur Plausibilisierung der Fahrleistungen der Schwere Nutzfahrzeuge in Deutschland kann die Verkehrsleistung aus „Verkehr in Zahlen 2024/2025“⁴ herangezogen werden (siehe Kapitel 2.1, Tabelle 8). Diese geht von einem Rückgang der Beförderungsleistung für den Straßenverkehr 2023/2022 von -4,4% aus. Der berechnete Fahrleistungsrückgang von -4,2% aufgrund der überwiegend gesunkenen Fahrleistung auf BAB und Bundesstraßen von Verkehrsbarometer und Mautstatistik (siehe Tabelle 18), liegt somit auf ähnlichem Niveau.

⁴ Im Nov. 2024 noch nicht veröffentlicht

2.2.2.3 Zeitreihe der Fahrleistungen 1990-2023

Die folgende Tabelle 22 fasst die Fahrleistungen aller Fahrzeugkategorien ab 1990 zusammen. Die Inlandsfahrleistungen in Deutschland werden dominiert von der Pkw-Fahrleistung (Anteil 2023: 81 %). Diese haben von 1990 bis 2023 um 17 % zugenommen. Im gleichen Zeitraum stiegen die Fahrleistungen der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) um 71 % und, mit Abstand am meisten, die der leichten Nutzfahrzeuge (LNF, +286 %). Die motorisierten Zweiräder (MZR) zeigen keine klare Tendenz.

Tabelle 22: Fahrleistung in Deutschland nach Fahrzeugkategorien 1990-2023

In Mrd. km

Jahr	Summe	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	563,1	488,6	15,7	4,2	14,3	35,4	5,0
1991	578,0	496,4	14,1	4,1	15,7	42,5	5,3
1992	592,6	510,0	12,8	4,0	17,1	43,2	5,6
1993	605,0	522,0	11,6	3,9	19,0	42,4	6,2
1994	612,8	524,1	11,8	3,9	21,2	45,0	6,8
1995	625,1	530,9	12,3	3,9	23,3	47,8	6,9
1996	633,6	535,2	13,0	3,9	24,8	49,6	7,1
1997	640,5	537,7	13,6	4,0	26,2	51,9	7,2
1998	653,5	547,1	14,0	4,0	27,8	53,3	7,3
1999	670,6	558,9	14,9	4,0	29,8	55,6	7,4
2000	674,5	560,3	15,2	4,0	31,5	56,2	7,3
2001	687,5	571,3	15,0	4,1	33,5	56,0	7,5
2002	697,3	579,5	15,4	4,1	34,7	56,1	7,7
2003	692,7	574,5	15,2	4,1	35,2	56,1	7,6
2004	705,7	587,0	15,3	4,1	35,5	56,0	7,7
2005	692,6	574,8	15,6	4,1	35,9	54,3	7,8
2006	697,2	580,5	15,6	4,2	36,7	57,0	3,2
2007	704,0	584,1	15,8	4,2	37,8	59,0	3,1
2008	700,9	581,2	15,6	4,2	38,3	58,7	2,9
2009	707,3	591,6	15,8	4,2	38,8	54,0	2,9
2010	713,0	595,5	15,3	4,2	39,2	55,9	2,8
2011	724,4	605,2	14,9	4,3	39,7	57,5	2,8

Jahr	Summe	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2012	725,1	606,5	14,5	4,3	40,2	56,8	2,8
2013	730,9	611,6	14,2	4,2	40,7	57,4	2,8
2014	745,9	622,7	14,2	4,3	43,1	58,7	2,9
2015	756,8	630,0	14,5	4,5	45,3	59,8	2,7
2016	767,8	637,2	14,5	4,6	47,5	61,2	2,8
2017	777,2	642,8	14,5	4,6	49,7	63,0	2,7
2018	780,4	642,2	14,6	4,6	51,9	64,4	2,6
2019	784,4	644,8	14,8	4,6	53,7	63,8	2,6
2020	682,0	548,1	15,0	2,9	51,0	62,6	2,4
2021	693,9	556,0	13,4	3,2	54,6	64,3	2,4
2022	699,8	561,6	14,1	3,7	54,8	63,2	2,4
2023	705,1	570,6	12,6	4,0	55,0	60,5	2,4

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.2.3 Energieverbrauch und Emissionsfaktoren

2.2.3.1 Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs wurden aus dem HBEFA 4.2 für TREMOD 6.41 übernommen (Notter et al. 2022). In TREMOD 6.61 fand keine Aktualisierung dieser Daten statt.

2.2.3.2 Anpassung der Effizienzsentwicklung bei Pkw, LNF, SNF und Bus

Der spezifische Energieverbrauch der Kraftfahrzeuge in TREMOD basiert wie bisher auf den im HBEFA vorgegebenen Verbrauchsfaktoren der Fahrzeugschichten, die mit dem PHEM-Modell (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model) der Technischen Universität Graz für die Verkehrssituationen im realen Fahrbetrieb ermittelt wurden ((Tietge et al. 2020) und (Matzer et al. 2019)). Grundlage hierfür sind u. a. die Werte des vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) durchgeführten CO₂-Monitoring auf Basis der Typzulassungswerte. In diesem werden die im neunen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) bzw. Worldwide harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP) ermittelten CO₂-Werte aller Neuzulassungen in Deutschland dokumentiert. In der erstgenannten Studie wurde eine Methode zur Berücksichtigung des realen Kraftstoffverbrauchs abgeleitet, bei dem für jede Antriebstechnologie Zuschläge auf den Typprüfwert abgeleitet wurden. Diese Werte wurden in TREMOD 6.61 bis 2023 aktualisiert. Tabelle 23 zeigt die Typprüfwerte für Benzin- und Diesel-Pkw sowie die im Vorhaben abgeleiteten Zuschläge und die resultierenden Realverbrauchswerte.

Tabelle 23: CO₂-Emissionen aus der Typzulassung und abgeleitete reale CO₂-Emissionen der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland 2011 bis 2023

	Benzin Testzyklus (g CO ₂ /km)	Benzin Zuschlag Real	Benzin Real (g CO ₂ /km)	Diesel Testzyklus (g CO ₂ /km)	Diesel Zuschlag Real	Diesel Real (g CO ₂ /km)
2011	145	23%	179	146	22%	178
2012	141	25%	176	142	25%	177
2013	135	29%	174	140	30%	182
2014	132	32%	174	137	33%	182
2015	129	35%	174	132	37%	181
2016	128	36%	174	130	40%	182
2017	129	36%	176	132	42%	188
2018	132	37%	180	138	43%	197
2019	134	37%	184	140	43%	200
2020	127	38%	175	139	44%	200
2021	146	18%	172	168	21%	204
2022	147	16%	170	164	22%	200
2023	144	16%	167	158	22%	193

Quelle: eigene Auswertung anhand (Tietge et al. 2020) und KBA. Anmerkung: Testzyklus bis 2020 nach NEFZ und ab 2021 nach WLTP.

Bei den leichten Nutzfahrzeugen wird die gleiche Methode verwendet wie bei den Pkw. In TREMOD 6.61 wurden die Werte ebenfalls bis zum Jahr 2023 fortgeschrieben. Die resultierenden Werte sind für Dieselfahrzeuge in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: CO₂-Emissionen aus der Typzulassung und abgeleitete reale CO₂-Emissionen der LNF-Neuzulassungen in Deutschland 2011 bis 2023

	Diesel Testzyklus (g CO ₂ /km)	Diesel Zuschlag Real	Diesel Real (g CO ₂ /km)
2013	194	37%	266
2014	192	40%	267
2015	188	43%	268
2016	181	47%	266
2017	175	50%	262
2018	176	50%	264
2019	178	46%	260
2020	174	47%	256

	Diesel Test-zyklus (g CO ₂ /km)	Diesel Zuschlag Real	Diesel Real (g CO ₂ /km)
2021	217	16%	252
2022	211	9%	230
2023	216	9%	236

Quelle: eigene Auswertung anhand (Tietge et al. 2020) und KBA. Anmerkung: Testzyklus bis 2020 nach NEFZ und ab 2021 nach WLTP.

Für die Antriebe mit CNG und LPG der Pkw sowie CNG und Benzin für LNF wurden die Werte sowie die Entwicklung bis 2023 ebenfalls aktualisiert. Hier werden die Realverbrauchszuschläge von Benzin-Pkw verwendet.

Bei den SNF wurden die Verbrauchsfaktoren des HBEFA 4.2 übernommen. Eine Aktualisierung auf Basis von Monitoringdaten oder anderer Realdaten ist hier bisher nicht möglich.

Die Verbrauchswerte der BEV werden bis zum Baujahr 2021 aus dem HBEFA 4.2 verwendet. Die Jahre 2022-2023 werden aufbauend auf dem Wert des Jahres 2021 und der relativen Entwicklung bezogen auf 2021 nach den Monitoring-Werten aktualisiert.

2.3 Schienenverkehr

2.3.1 Abgrenzung Schienenverkehr

Beim Schienenverkehr wird unterschieden in den kommunalen Verkehr mit Straßen-, Stadt- und U-Bahnen, den Eisenbahnverkehr der DB AG, der sonstigen Unternehmen des öffentlichen Verkehrs (Nichtbundeseigene Eisenbahnen, NE), und des nichtöffentlichen Verkehrs (Werkverkehr). Weiter wird differenziert in die Verkehrsarten Personennah-, Personenfern- und Güterverkehr. Fahrzeugtechnisch wird unterschieden nach Diesel- und Elektrotraktion, bis 1993 zusätzlich auch nach Dampftraktion.

Die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen des Schienenverkehrs erfolgt in TREMOD auf dieser aggregierten Ebene. Allerdings liegen dieser – zumindest beim Verkehr der DB AG – differenzierte Werte (unterschieden nach Zuggattungen, Baureihen und Motoren) zu grunde, die von der DB AG jährlich aufbereitet, aggregiert und für TREMOD bereitgestellt werden.

2.3.2 Berechnungsmethodik

Ausgangspunkt der Emissionsberechnungen in TREMOD sind die Verkehrs- bzw. Transportleistungen und die Betriebsleistungen (Platz-km bzw. angebotene Tonnenkilometer), die über den Auslastungsgrad verknüpft sind. Je Platzkilometer bzw. angebotenem Tonnenkilometer sind spezifische Energieverbrauchskennzahlen und für die Emissionsberechnung energiebezogene Emissionsfaktoren (direkt und Vorkette) hinterlegt.

Die Kennzahlen werden aus den vorliegenden statistischen Angaben und technischen Kennzahlen der Fahrzeuge für die Realjahre ermittelt. Mit der Ausgangsgröße „Verkehrsleistung“ und der Variationsmöglichkeit aller anderen Parameter ist das Modell szenarienfähig. In den folgenden Abschnitten werden die aufgeführten Kennzahlen für die Realjahre ab dem Jahr 1994 beschrieben.

Der Berechnungsablauf ist im Detail in (Knörr et al. 2016) beschrieben.

2.3.3 Verkehrs- und Betriebsleistungen

Die Verkehrsleistungen des Eisenbahnverkehrs haben seit 1994 zugenommen, vor allem beim Personennahverkehr und beim Güterverkehr. Der Anteil der sonstigen Eisenbahnunternehmen an der Verkehrsleistung ist in den vergangenen Jahren deutlich angestiegen und lag im Jahr 2023 im Personennahverkehr bei 38 % und im Güterverkehr bei 62 %⁵.

Der Anteil der Dieseltraktion an der Betriebsleistung ist bei der DB AG in allen Verkehrsbereichen zurückgegangen: Bei der DB AG lag der Dieselanteil im Jahr 2023 im Personennahverkehr bei 15,3 %, im Personenfernverkehr noch bei 1,1 % und im Güterverkehr (ohne Rangieren) bei 6,2 %. Im Jahr 2000 waren es noch 27% (Personennahverkehr), 4,5% (Personenfernverkehr) und 8,2% (Güterverkehr).

Für die sonstigen Eisenbahnen (NE) kann ab dem Jahr 2013 eine Abschätzung des Dieselanteils auf Basis von Trassenkilometern aus Fahrplandaten bis 2023 vorgenommen werden, die von der DB AG intern zur Verfügung gestellt wurde. Danach lag der Anteil der Dieseltraktion der sonstigen Eisenbahnen 2023 im Personennahverkehr bei ca. 29 % und im Güterverkehr bei 5 %.

Tabelle 25: Verkehrsleistungsentwicklung des Personenverkehrs der Eisenbahnen in Deutschland 1994-2023

In Mrd. Pkm

Jahr	Personennahverkehr DB	Personennahverkehr NE*	Personennahverkehr gesamt	davon mit Diesel	Personenfernverkehr DB
1994	29,7	0,6	30,3	10,1	34,8
1995	34,1	0,6	34,7	11,0	36,3
1996	35,4	0,7	36,1	11,6	35,6
1997	36,5	0,8	37,2	11,4	35,2
1998	37,3	0,8	38,1	12,7	34,6
1999	37,9	1,0	38,9	11,4	34,9
2000	38,2	1,0	39,2	11,0	36,2
2001	39,1	1,3	40,4	10,8	35,3
2002	36,7	1,5	38,2	10,2	32,7
2003	37,9	1,8	39,7	10,2	31,6
2004	37,9	2,6	40,5	10,4	32,3
2005	38,9	4,3	43,2	11,2	33,6
2006	40,3	4,2	44,5	11,3	34,5
2007	40,7	4,3	45,0	11,3	34,1
2008	41,6	5,5	47,1	10,9	35,5
2009	41,0	6,5	47,5	11,0	34,7
2010	41,4	6,6	48,0	10,9	36,0

⁵ Die Verkehrsleistungen des Güterverkehrs wurden ab 2016 aufgrund der Erfassung weiterer Eisenbahnverkehrsunternehmen nach oben korrigiert. Die neuen Werte werden in „Verkehr in Zahlen 2024/2025“ veröffentlicht

Jahr	Personennahverkehr DB	Personennahverkehr NE*	Personennahverkehr gesamt	davon mit Diesel	Personenfernverkehr DB
2011	42,3	7,6	49,9	11,9	35,4
2012	43,4	8,2	51,5	12,3	37,2
2013	43,6	10,3	53,8	12,7	36,6
2014	43,6	9,9	53,5	11,9	35,9
2015	42,6	10,3	52,9	11,4	36,8
2016	40,8	13,5	54,3	11,6	39,3
2017	41,9	13,2	55,0	11,6	40,3
2018	41,9	13,4	55,3	11,0	42,6
2019	41,6	14,5	56,1	10,2	43,9
2020	23,9	11,5	35,4	6,9	23,5
2021	21,4	11,5	32,9	6,9	24,7
2022	34,8	18,1	52,8	10,8	41,5
2023	37,5	21,6	59,0	12,0	45,2

*incl. Fernverkehr der NE

Quellen: Verkehr in Zahlen, DB AG, Destatis, VDV, eigene Berechnungen

Nicht dargestellt ist in Tabelle 25 die Verkehrsleistungsentwicklung der ausschließlich elektrisch betriebenen Straßen-, Stadt und U-Bahnen. Deren Verkehrsleistung stieg von 1994 bis 2019 um rund 42 % auf knapp 18 Mrd. Pkm. 2023 lag sie noch um 13 % unter dem Wert von 2019, jedoch schon 40 % über dem Wert von 2021.

Tabelle 26: Verkehrsleistungsentwicklung des Güterverkehrs der Eisenbahnen in Deutschland 1994-2022

In Mrd. tkm

Jahr	Güterverkehr DB	Güterverkehr NE	Güterverkehr gesamt (ohne HWB)	davon mit Diesel	Hafen- und Werkbahnen (HWB)
1994	70,6	0,1	70,7	11,2	5,4
1995	69,5	1,0	70,5	11,3	5,2
1996	67,9	2,1	70,0	12,6	4,8
1997	72,6	1,3	73,9	10,1	4,7
1998	73,3	0,9	74,2	9,3	4,2
1999	75,8	1,0	76,8	7,9	4,0
2000	81,2	1,5	82,7	7,9	4,3
2001	78,8	2,2	81,0	7,8	4,2
2002	77,2	3,9	81,1	7,8	3,6

Jahr	Güterverkehr DB	Güterverkehr NE	Güterverkehr gesamt (ohne HWB)	davon mit Diesel	Hafen- und Werkbahnen (HWB)
2003	79,2	5,9	85,1	9,0	2,8
2004	83,1	8,8	91,9	10,0	4,4
2005	81,7	13,7	95,4	10,0	5,1
2006	88,4	18,6	107,0	9,9	3,0
2007	91,0	23,7	114,7	9,2	3,2
2008	91,2	24,7	115,8	8,0	3,1
2009	72,3	23,9	96,1	6,1	2,8
2010	80,4	27,5	107,9	5,9	3,0
2011	83,8	29,5	113,3	6,0	3,4
2012	78,5	31,6	110,1	5,5	3,7
2013	75,2	37,4	112,6	6,0	4,1
2014	74,8	40,2	115,0	5,3	4,1
2015	71,0	50,0	121,0	5,5	4,1
2016	68,6	69,7	138,4	7,3	4,7
2017	67,6	73,1	140,7	7,7	4,9
2018	64,2	75,5	139,7	7,7	5,0
2019	60,7	77,5	138,2	7,3	4,4
2020	56,2	71,8	128,0	6,2	4,4
2021	60,3	80,7	141,0	8,2	4,4
2022	59,6	84,7	144,3	8,4	4,4
2023	51,9	83,1	135,0	7,3	4,4

Anmerkung: Dieselanteil im Güterverkehr ab 2013 revidiert; ab 2021 wird ein Teil der Rangierleistungen der DB als Zugleistung erfasst (erhöht den Dieselanteil im Güterverkehr)

Quellen: Verkehr in Zahlen, DB AG, Destatis, VDV, eigene Berechnungen

2.3.4 Energieverbrauch

Der Traktionsenergieverbrauch (das ist der Energieverbrauch für den Fahrbetrieb) der Bahnen ist in den vergangenen Jahren zurückgegangen. Der in der DB-Statistik erfasste Dieselverbrauch der DB AG ging im Betrachtungszeitraum deutlich zurück. Mit den oben beschriebenen Annahmen zur Verkehrs- und Betriebsleistungsentwicklung nahm der Dieselverbrauch der sonstigen Bahnunternehmen zu. Allerdings sind diese Werte nicht statistisch erfasst, sondern berechnet.

Der durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AG Energiebilanzen, n.d.) ermittelte Dieselverbrauch des Schienenverkehrs weicht von den mit TREMOD berechneten Werten z.T. deutlich ab: Seit 2005 liegt der berechnete Verbrauch höher als der von der AG Energiebilanzen nachgewiesene Wert. Entweder wird somit der Dieselverbrauch der sonstigen Bahnen in TREMOD überschätzt oder bei der AG Energiebilanzen unterschätzt. Nicht plausibel erscheint jedenfalls

der starke Rückgang des Verbrauchs bei den AG Energiebilanzen im Jahr 2017 und 2018. Da die Revision der Energiebilanzen ab 2003 keine wesentlichen Änderungen beim Schienenverkehr ergab, wird eine Abstimmung der Werte weiterhin empfohlen.

Tabelle 27: Berechneter Dieselverbrauch der Eisenbahnen in Deutschland im Vergleich mit der Energiebilanz 1994-2023

In PJ

Jahr	Dieselverbrauch DB	Dieselverbrauch NE	Dieselverbrauch DB+NE	Dieselverbrauch HWB	Dieselverbrauch Energiebilanz	Differenz Energiebilanz/Verbrauch berechnet (DB+NE+HWB)
1994	29,1	0,5	29,6	0,9	31,9	4,7%
1995	28,1	0,9	29,0	0,8	31,1	4,1%
1996	26,7	1,4	28,0	0,8	29,5	2,6%
1997	25,0	1,2	26,1	0,8	27,8	3,4%
1998	23,6	1,0	24,6	0,7	26,5	5,1%
1999	21,8	1,1	22,9	0,6	25,0	6,2%
2000	21,6	1,3	22,9	0,7	25,4	7,8%
2001	20,2	1,8	22,1	0,7	23,5	3,5%
2002	17,0	2,0	19,0	0,6	22,0	12,7%
2003	16,2	2,7	18,8	0,5	21,6	12,0%
2004	15,3	3,4	18,7	0,7	20,6	5,9%
2005	14,0	4,7	18,8	0,8	19,3	-1,4%
2006	13,3	4,5	17,8	0,5	17,5	-4,2%
2007	13,0	4,4	17,4	0,5	17,2	-4,2%
2008	12,8	5,3	18,2	0,5	16,7	-10,6%
2009	11,4	5,6	17,0	0,5	15,3	-12,1%
2010	11,4	5,7	17,2	0,5	15,6	-11,6%
2011	11,1	5,8	16,9	0,6	15,7	-10,0%
2012	10,6	6,1	16,7	0,6	14,4	-16,5%
2013	10,4	8,0	18,4	0,7	14,6	-23,5%
2014	9,5	5,8	15,3	0,7	13,0	-18,1%
2015	8,8	6,8	15,6	0,7	14,1	-13,3%
2016	8,7	7,0	15,7	0,8	14,5	-11,9%
2017	8,9	7,2	16,1	0,8	12,0	-29,3%
2018	8,7	7,5	16,2	0,8	10,0	-41,5%
2019	8,3	6,9	15,2	0,7	11,4	-28,4%

Jahr	Dieselverbrauch DB	Dieselverbrauch NE	Dieselverbrauch DB+NE	Dieselverbrauch HWB	Dieselverbrauch Energiebilanz	Differenz Energiebilanz/Verbrauch berechnet (DB+NE+HWB)
2020	7,5	7,3	14,9	0,7	11,7	-25,1%
2021	7,6	7,0	14,6	0,7	11,8	-22,8%
2022	7,4	6,5	13,9	0,7	11,2	-23,4%
2023	7,1	6,9	13,9	0,7	10,8	-26,4%

Quellen: DB AG, AG Energiebilanzen, eigene Berechnungen

Trotz zunehmender Verkehrsleistungen blieb der Stromverbrauch für den Fahrbetrieb annähernd gleich. Der Stromverbrauch des Schienengüterverkehrs liegt bei den AG Energiebilanzen nach der Revision ab 2003 nun auf ähnlichem Niveau wie TREMOD, mit Abweichungen von +6% (2003 und 2004) bis -11% (2008 und 2022). Nähere Informationen zu den Werten der AGEB liegen nicht vor.

2.3.5 Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren der Dieseltraktion werden von der DB AG motorenfein entsprechend ihrer Anteile an der Betriebsleistung im Personennah-, Personenfern- und Güterverkehr sowie für Rangieren abgeleitet. Das grundsätzliche Verfahren wurde im Rahmen einer Studie des Umweltbundesamtes zusammen mit ifeu entwickelt (Knörr und Borken 2003). Grundlage sind die Emissionsfaktoren der Motoren im ISO-F-Zyklus. Ergebnis der jährlichen Aufbereitung sind kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren für Stickstoffoxid (NO_x), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC) und Partikel (Part) in g/kg, jeweils für Personennah-, Personenfern- und Güterverkehr sowie Rangieren.

Da für die übrigen Bahnen keine Informationen zum Emissionsverhalten vorliegen, werden die Werte der DB AG auch für die übrigen Bahnen verwendet.

Tabelle 28: Kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren des dieselbetriebenen Schienengüterverkehrs für ausgewählte Jahre

In g/kg

Komp.	Zugart	1995	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
CO	Rangieren	18,0	9,0	5,6	4,3	3,7	4,1	3,9	4,0	3,9
	GV	11,5	9,7	9,8	5,4	5,4	6,4	5,5	5,4	5,6
	PFV	14,1	9,4	6,5	6,7	6,5	6,1	6,0	5,2	4,9
	PNV	10,6	5,1	3,9	3,7	3,4	3,3	3,4	3,3	3,3
HC	Rangieren	2,9	2,1	2,3	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
	GV	11,5	9,7	9,8	5,4	5,4	6,4	5,5	5,4	5,6
	PFV	14,1	9,4	6,5	6,7	6,5	6,1	6,0	5,2	4,9
	PNV	10,6	5,1	3,9	3,7	3,4	3,3	3,4	3,3	3,3

Komp.	Zugart	1995	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
NOx	Rangieren	49,4	38,5	39,0	34,0	32,7	31,7	33,1	32,9	32,8
	GV	50,5	53,9	51,5	35,1	34,3	35,5	33,0	32,6	32,6
	PFV	60,0	53,3	48,4	49,7	48,9	46,1	45,8	39,2	37,2
	PNV	49,2	45,7	39,4	34,9	28,1	30,5	30,9	28,4	27,7
Part	Rangieren	1,9	1,5	1,0	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
	GV	1,9	1,6	1,3	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6
	PFV	1,8	0,9	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3
	PNV	1,8	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4

Quelle: DB AG

2.4 Binnenschifffahrt

2.4.1 Abgrenzung und Berechnungsmethodik Binnenschifffahrt

Der Energieverbrauch und die Emissionen der Binnenschifffahrt werden ab dem Bezugsjahr 2010 aufgrund der seit diesem Jahr vorliegenden Binnenschiffsstatistik sehr differenziert berechnet. Details hierzu sind in (Heidt et al. 2016) und (Knörr et al. 2013) beschrieben. Weitere Aktualisierungen betreffen die spezifischen Energieverbräuche und Emissionsfaktoren, welche in (Knörr et al. 2020) beschrieben wurden.

2.4.2 Verkehrs- und Fahrleistungen

Die Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt sind seit dem Jahr 2000 (66,5 Mrd. km) tendenziell gesunken. Verschiedene Sonderereignisse haben dabei zu jährlichen Schwankungen geführt. So war das Jahr 2018 im 2. Halbjahr von Niedrigwasserständen geprägt, wodurch die Verkehrsleistung um 46,9 Mrd. tkm sank (Destatis 2019b). In den letzten Jahren hatten neben ungünstigen Wasserständen auch die COVID-19 Pandemie im Jahr 2020 und 2021 einen dämpfenden Einfluss. Besonders betroffen von Niedrigwasser waren die Sommermonate im Jahr 2022. Unter anderem deshalb war die Verkehrsleistung mit 44,1 Mrd tkm im Jahr 2022 auf einem historischen Tiefstand. Dabei sank auch die durchschnittliche Beladung pro Schiffskilometer. (siehe Tabelle 29). 2023 war geprägt von einem weiteren Rückgang der Verkehrsleistung, insbesondere bei den festen Schüttgütern, bei etwas erhöhter mittlerer Beladung.

Tabelle 29: Verkehrs- und Fahrleistung der Binnenschifffahrt 1995-2023

Bezugsjahr	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mio. km)	Mittlere Beladung (t)
1995	64,0	55,7	1.148
2000	66,5	57,2	1.161
2005	64,1	54,5	1.175
2010	62,3	56,0	1.112
2011	55,0	54,3	1.013

Bezugsjahr	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mio. km)	Mittlere Beladung (t)
2012	58,5	50,7	1.153
2013	60,1	50,5	1.190
2014	59,1	51,6	1.146
2015	55,3	51,2	1.080
2016	54,3	48,4	1.123
2017	55,5	50,7	1.095
2018	46,9	46,0	1.018
2019	50,9	48,7	1.046
2020	46,3	48,3	960
2021	48,2	49,4	976
2022	44,1	47,7	925
2023	41,5	42,9	967

Quelle: Verkehrsleistungen DESTATIS, Fahrleistung DESTATIS und zusätzliche Annahmen. Anmerkungen: Die mittlere Beladung ist der Quotient aus Verkehrs- und Fahrleistung. Sie berücksichtigt die Tragfähigkeit sowie die durchschnittliche Auslastung (inklusive Leerfahrten) der Schiffsflotte in einem Jahr.

2.4.3 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch (Diesel) ging von 26,8 PJ im Jahr 1995 bis auf 14,3 PJ im Jahr 2023 zurück. Der mittlere spezifische Energieverbrauch lag 2023 bei 0,35 MJ pro tkm. Er wird von verschiedenen Faktoren wie den befahrenen Wasserstraßen, der Zusammensetzung der Schiffsflotte und deren Auslastung bestimmt. Letztere war beispielsweise im Jahr 2018 und im Jahr 2022 wegen Niedrigwassers geringer als sonst, wodurch ein höherer spezifischer Energieverbrauch in diesen Jahren resultiert.

Tabelle 30: Verkehrsleistung und Energieverbrauch der Binnenschifffahrt 1995-2023

Bezugsjahr	Verbrauch (PJ)	spez. Verbrauch (MJ/tkm)
1995	26,8	0,42
2000	26,5	0,40
2005	23,8	0,37
2010	21,4	0,34
2011	20,4	0,37
2012	19,7	0,34
2013	19,9	0,33
2014	19,9	0,34
2015	19,5	0,35
2016	18,4	0,34

Bezugsjahr	Verbrauch (PJ)	spez. Verbrauch (MJ/tkm)
2017	19,2	0,35
2018	16,9	0,36
2019	16,8	0,33
2020	16,0	0,35
2021	16,7	0,35
2022	16,2	0,37
2023	14,3	0,35

Anmerkungen: Ab 2010 differenzierte Datengrundlagen des Statistischen Bundesamtes. Anmerkung zum Energieverbrauch: Umfasst Güter-Binnenschifffahrt auf allen deutschen Wasserstraßen, Basis: ifeu-Berechnungen.

2.4.4 Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren für Binnenschiffe wurden in früheren Forschungsvorhaben aus verschiedenen Messdaten von Binnenschiffsmotoren und Literaturwerten abgeleitet (Heidt et al. 2016; Knörr et al. 2013). Zusätzlich werden seit der Version TREMOD 6.03 Korrekturfaktoren für die Emissionsfaktoren in Abhängigkeit der mittleren Motorlast angewendet, welche auf Daten von TNO zurückgehen (Ligterink et al. 2019). Die Daten wurden nach Baujahr bzw. Emissionsstandards unterschieden. Emissionsstandards für Binnenschiffsmotoren wurden erstmals ab dem Jahr 2003 durch die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) mit der Stufe ZKR I eingeführt, welche ab 2007 in eine EU-Regulierung übergingen. Seit dem Jahr 2019 gilt die Stufe EU V für neue Motoren.

- ▶ vor 1970
- ▶ 1970-1980
- ▶ 1980-1989
- ▶ 1990-2002
- ▶ 2003-2006 (ZKR I)
- ▶ 2007-2018 (ZKR II/ EU IIIA)
- ▶ 2019+ (EU V) <300 kW
- ▶ 2019+ (EU V) >=300 kW
- ▶ 2019+ (EU V) LNG

Die Emissionsfaktoren pro Baujahrklasse werden über die jeweilige Altersstruktur der eingesetzten Motoren der niederländischen und deutschen Schiffsflotte für verschiedene Tragfähigkeitsklassen den jährlichen Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt in Deutschland zugeordnet. Die Altersverteilung der Binnenschiffsmotoren wurde zuletzt in TREMOD 6.1 (Berichterstattung 2021) aktualisiert. Die mittlere Lebensdauer wird je nach Baujahr und Schiffsgröße zwischen 14 und 38 Jahren angenommen, wobei auch noch ältere Motoren im Bestand vorkommen. Aus den baujahrabhängigen Emissionsfaktoren und den jeweiligen Flottenzusammensetzungen in einem Jahr werden in Tabelle 31 die durchschnittlichen Emissionsfaktoren für ausgewählte

vergangene Jahre dargestellt. Es zeigt sich, dass diese in den meisten Fällen über die Jahre stark gesunken sind.

Tabelle 31: Mittlere kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt (in g/kg) für ausgewählte Jahre

Schadstoff	1994	2000	2005	2010	2015	2020	2023
CO	16,9	14,5	12,8	11,0	9,8	8,9	8,6
HC	3,9	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5	2,4
NO _x	57,1	57,4	55,4	52,9	50,1	47,9	45,8
Part	2,3	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0
CH ₄	0,094	0,082	0,076	0,070	0,064	0,060	0,057
N ₂ O	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
NH ₃	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Black Carbon	1,126	0,979	0,835	0,674	0,610	0,571	0,539
SO ₂	2,600	2,600	2,600	2,600	0,016	0,016	0,016
Benzol	0,075	0,065	0,060	0,056	0,051	0,047	0,045
Toluol	0,031	0,027	0,025	0,023	0,021	0,020	0,019
Xylol	0,031	0,027	0,025	0,023	0,021	0,020	0,019

Quelle: (Heidt et al. 2016; Knörr et al. 2013, 2020); eigene Berechnungen

2.5 Flugverkehr

2.5.1 Abgrenzung Flugverkehr

Der Flugverkehr wird nach dem Standortprinzip berechnet: Erfasst wird die Verkehrsleistung der von deutschen Verkehrsflughäfen abgehenden Flüge bis zur ersten Landung.

In TREMOD wird der Flugverkehr unterschieden nach nationalem Flugverkehr (Verkehr zwischen inländischen Verkehrsflughäfen) und internationalem Flugverkehr, der die abgehenden grenzüberschreitenden Flüge beinhaltet. Weiter wird differenziert in Personen- und Güterverkehr.

Im Rahmen der TREMOD-Aktualisierung werden die Verkehrsmengen und die resultierenden Emissionen für das Jahr 2023 integriert. Diese beruhen auf der TREMOD-AV Version 91. Für die VEdV 2024 und das Szenario wurden grundlegende Modellanpassungen an TREMOD-AV vorgenommen. Die Methodischen Änderungen sind in (Allekotte et al. 2024b) beschrieben. Für alle künftigen TREMOD-Versionen wird das neue TREMOD-AV mit angepasster Methodik verwendet und auch rückwirkend die Jahre ab 1990 angepasst werden.

2.5.2 Berechnungsmethodik

2.5.2.1 Bottom up Berechnung

Die Berechnung der Flugverkehrsemissionen erfolgt in TREMOD differenziert nach Flugzeugtypen, Flugphasen (LTO und Reiseflug CCD) und mit dieser Aktualisierung nach Start-Ziel-Flughäfen.

fenpaar statt nach Entfernungsklassen (letztmalig in Version 91). Hierzu werden beim Statistischen Bundesamt im Rahmen einer Sonderauswertung für die Zeitreihe ab 1990 kontinuierlich die Starts, die Anzahl Personen sowie das Fracht- und Postaufkommen (in Tonnen) für den gewerblichen Flugverkehr auf ausgewählten Flugplätzen (Hauptverkehrsflughäfen) abgefragt. Ein Hauptverkehrsflughafen (HVF) wird dabei durch eine Abfertigung von mehr als 150.000 Passagiereinheiten (1 Passagier bzw. 100 kg Fracht bzw. Post) definiert, siehe (Destatis 2019a). In der Aktualisierung werden somit 23 Flughäfen abgedeckt (Stand 2023). Die Berechnung der Distanzen erfolgt mit dieser Aktualisierung nun in TREMOD über die hinterlegten Geokoordinaten der Flughäfen. Über die errechneten Flugdistanzen und die Verkehrsaufkommen (Personen und Fracht) können die Personen- und Tonnenkilometer berechnen.

Für den gewerblichen Verkehr auf sonstigen Flugplätzen (weniger als 150.000 Passagiereinheiten) und den nicht-gewerblichen Flugverkehr liegen weniger differenzierte Daten vor. Hier erfolgten Abschätzungen anhand der vom Statistischen Bundesamt ausgewiesenen Anzahl Starts differenziert nach Flugzeuggrößenklassen. Diese erfolgt anhand der GENESIS-Datenbank Tabelle 46421-0051 von Destatis.

Der spezifische Energieverbrauch und die verfügbaren Emissionsfaktoren für jede Flugphase und Distanzklasse werden flugzeugtypenfein dem „EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook“ bzw. dem dazugehörigen Berechnungstool „Master emission calculator“ (in der aktuellen Version 2019) entnommen (EEA 2019). Nicht vorhandene Kennzahlen (wie bspw. das maximal zulässige Startgewicht; kurz MTOW) werden durch andere Quellen ergänzt. Im Fall von Datenlücken im Bereich der flugzeugspezifischen Emissionsfaktoren und Verbräuchen werden Abschätzungen anhand der ICAO *Aircraft Engine Emissions Databank* (ICAO 2019) und die Datenbanken des Bundesamts für Zivilluftfahrt der Schweiz (Federal Office of Civil Aviation, FOCA) (BAZL 2017) getroffen.

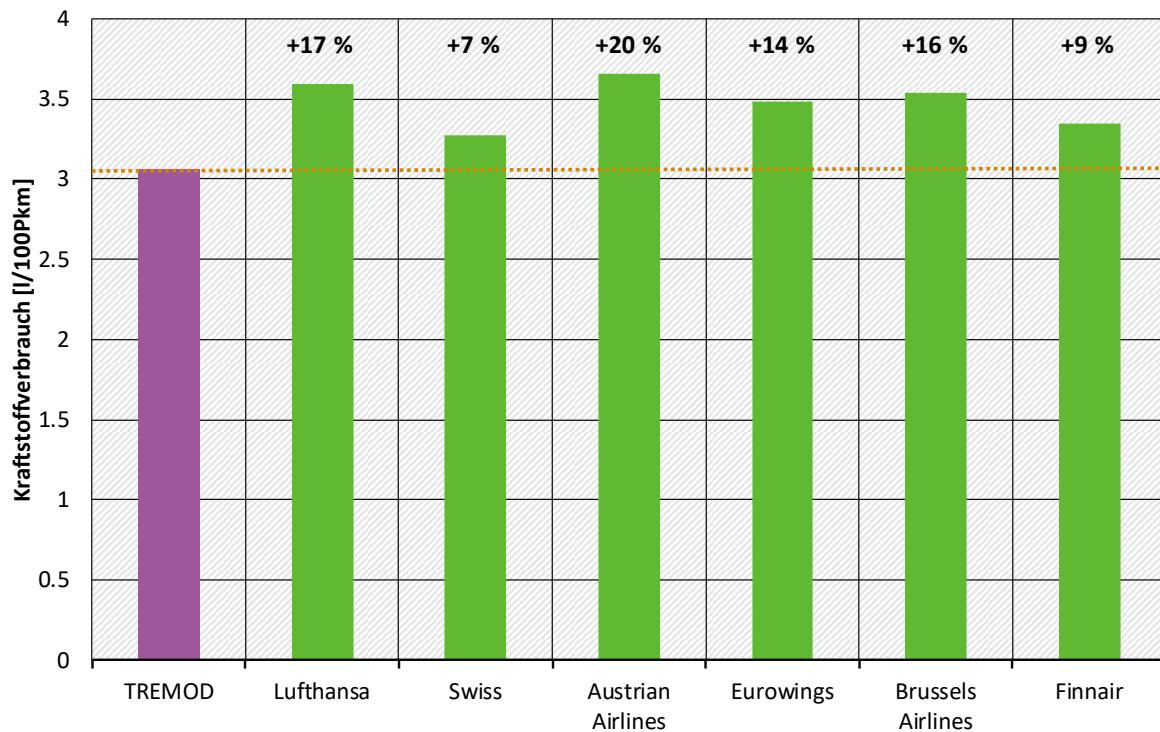
Die Zuordnung von Energieverbrauch und Emissionen auf Personen- und Güterverkehr bei Passagierflügen mit Beifracht erfolgt entsprechend der Monitoring-Richtlinie 2009/339/EC. Dabei werden die Personenkilometer über ein Gewicht je Person von 100 kg in Tonnenkilometer umgerechnet. Die Aufteilung erfolgt entsprechend der so berechneten Gewichtsanteile für Personen und Beifracht.

Des Weiteren wird seit der Aktualisierung eine detailliertere Berechnung der Nicht-CO₂-Effekte vorgenommen. Diese basiert insbesondere auf der Flugroute und dem Emissionsverhalten (Verbrauch und NO_x-Emissionen) der Flugzeugtypen. Demnach wird pro Flughafenpaar und Flugzeugtyp ein spezifischer Faktor für die Nicht-CO₂-Effekte berechnet. Der GWP100⁶ stellt die verwendete Klimametrik in TREMOD dar. Durch die Neuerung steigt der gesamte Faktor tendenziell. Nach der alten Metrik (Version 91) erhält man für das Jahr 2023 einen Wert von 2,1, wogegen nach der neuen Metrik ein Faktor von 2,3 resultiert. Weiterführende Informationen sind im dazugehörigen Bericht einsehbar (Allekotte et al. 2024b).

Die nach diesem Verfahren berechneten spezifischen Energieverbrauchswerte je Personenkilometer (auf HVF) liegen aktuell niedriger als andere Angaben, so z. B. Verbrauchsangaben der Fluggesellschaften der Lufthansa Group und Finnair für das Jahr 2023; siehe Abbildung 3.

⁶ genauer: EAGWP100 pulse

Abbildung 3: Vergleich des in TREMOD ermittelten Kerosinverbrauchs im gewerblichen Flugverkehr auf HVF mit Angaben von Fluggesellschaften für das Jahr 2023



Anmerkung: Die Werte können voneinander abweichen, da Einflussgrößen wie die durchschnittlichen Flugdistanzen, eingesetzte Flugzeugtypen und Auslastungen, Auswirkungen auf den spezifischen Verbrauch haben. Quellen: Lufthansa, Swiss, Austrian Airlines, Eurowings und Brussels Airlines aus (Deutsche Lufthansa AG 2024), Finnair aus (Finnair 2024), TREMOD-AV 91.

2.5.2.2 Top-Down Abgleich für die Emissionsberichterstattung

Grundlage und Rahmen für das Emissionsinventar im Nationalen Inventarbericht ist die nationale Energiebilanz. Daher muss für diesen Zweck der bottom-up berechnete Energiebedarf wie folgt auf die Energiebilanz angepasst werden:

Grundlage für den Gesamtverbrauch ist der Inlandsabsatz nach Energiebilanz.

- Die Aufteilung des gesamten Energieeinsatzes (Kerosin) auf nationalen und internationalen Flugverkehr wird entsprechend den ermittelten Anteilen aus den TREMOD-Ergebnissen vorgenommen. Der Energieeinsatz (Kerosin) des nationalen Verkehrs wird direkt aus TREMOD übernommen. Die Differenz der Energiebilanz zum errechneten Energieeinsatz des nationalen Verkehrs wird zur Korrektur des Energieeinsatzes des internationalen Verkehrs verwendet.
- Da sich beim gesamten Flugverkehr eine Differenz zwischen dem in TREMOD berechneten Verbrauch und der Energiebilanz ergibt, wird der berechnete Kerosinverbrauch des Reiseflugs der internationalen Flüge so korrigiert, dass sich für jedes Jahr der Gesamtverbrauch nach Energiebilanz ergibt. Der LTO-Verbrauch der internationalen Flüge wird nicht angepasst. Die folgende Gleichung beschreibt das Vorgehen zur Bestimmung des Kerosinverbrauchs (V) des internationalen Verkehrs in der CCD-Phase, wobei sich die Verbräuche des

nationalen Verkehrs und des internationalen Verkehrs in der LTO-Phase direkt aus TREMOD ergeben:

$$V_{CCD,international} = V_{Energiebilanz} - V_{national} - V_{LTO,international}$$

- ▶ Beim Flugbenzin erfolgt die Aufteilung des Inlandsabsatzes auf die Relation (national, international) sowie die Phase (LTO, CCD) proportional zu den bottom-up berechneten Verbräuchen aus TREMOD. Allgemein sind die Gesamtmengen von Flugbenzin ggü. den verbrauchten Kerosinmengen vernachlässigbar klein.
- ▶ Die für die Berichterstattung ausgewiesenen Emissionen errechnen sich direkt aus den Inlandsablieferungen gemäß Energiebilanz und entsprechenden kraftstoffspezifischen Emissionsfaktoren. Diese Emissionsfaktoren ergeben sich aus TREMOD und berechnen sich aus dem Verhältnis der jeweiligen Gesamtemission zum Kraftstoffverbrauch (beide werden bottom-up in TREMOD ermittelt).

2.5.3 Verkehrs- und Betriebsleistungen

Die Verkehrsleistung des gewerblichen Flugverkehrs auf den Hauptverkehrsflughäfen (national + international) ist in der Vergangenheit stark angestiegen. Die Personenverkehrsleistung ist dabei zwischen 1990 und 2023 um den Faktor 3,1 gestiegen und die Güterverkehrsleistung hat sich vervierfacht. Neben den Starts sind auch die Kapazität der Flugzeuge als auch die zurückgelegte Strecke deutlich gestiegen. Die mittlere Flugdistanzerhöhung ist insbesondere auf den überproportional starken Anstieg des internationalen Flugverkehrs zurückzuführen. Tabelle 32 fasst die Kennzahlen des nationalen und internationalen gewerblichen Flugverkehrs auf den HVF zusammen. Die Corona-Pandemie führte in den Jahren 2020-2022 zu einem zwischenzeitlichen Rückgang des Flugverkehrs. Im Jahr 2023 wurde jedoch fast wieder das Niveau vom Jahr 2019 erreicht.

Tabelle 32: Verkehrsleistung des gewerblichen Flugverkehrs auf den HVF 1990-2023 (national + international)

Jahr	Flug-km	Personenverkehr [Pkm]	Güterverkehr [tkm]
1990	569 Mio.	71 Mrd.	3.082 Mio.
1995	829 Mio.	107 Mrd.	4.501 Mio.
2000	1.039 Mio.	143 Mrd.	5.678 Mio.
2005	1.230 Mio.	170 Mrd.	7.201 Mio.
2010	1.355 Mio.	194 Mrd.	10.773 Mio.
2015	1.420 Mio.	221 Mrd.	11.425 Mio.
2016	1.453 Mio.	226 Mrd.	11.759 Mio.
2017	1.506 Mio.	240 Mrd.	12.488 Mio.
2018	1.575 Mio.	249 Mrd.	12.707 Mio.
2019	1.582 Mio.	255 Mrd.	12.212 Mio.
2020	683 Mio.	62 Mrd.	11.090 Mio.
2021	840 Mio.	79 Mrd.	13.353 Mio.

Jahr	Flug-km	Personenverkehr [Pkm]	Güterverkehr [tkm]
2022	1.250 Mio.	177 Mrd.	13.182 Mio.
2023	1.381 Mio.	218 Mrd.	12.453 Mio.

Quelle: TREMOD-AV 91. Anmerkung: Deutlicher Rückgang des Flugverkehrs in den Jahren 2020-2022 aufgrund der Corona-Pandemie.

Der Anteil des nationalen Flugverkehrs an den Flugzeug-km hat sich im betrachteten Zeitraum von 16,5 % im Jahr 1990 auf 4,2 % im Jahr 2023 verringert. Insbesondere die Corona-Pandemie führte verglichen mit dem internationalen Verkehr zu einem signifikanten Rückgang. Zwar stiegen die Flugkilometer in den Jahren 2022 und 2023 wieder an, allerdings ist das Niveau in 2023 nur halb so hoch wie im Jahr 2019. Deutlich niedriger sind die Anteile des nationalen Verkehrs im Jahr 2023 an den Personenkilometern mit 2,2 % und den Tonnenkilometern mit 0,4 %. Tabelle 33 fasst die verkehrlichen Größen des nationalen gewerblichen Flugverkehrs auf den Hauptverkehrsflughäfen zusammen.

Tabelle 33: Verkehrsleistung des gewerblichen nationalen Flugverkehrs auf den HVF 1990-2023

Jahr	Flug-km	Personenverkehr [Pkm]	Güterverkehr [tkm]
1990	94 Mio.	6,0 Mrd.	60 Mio.
1995	111 Mio.	7,0 Mrd.	75 Mio.
2000	128 Mio.	9,3 Mrd.	75 Mio.
2005	131 Mio.	9,2 Mrd.	43 Mio.
2010	125 Mio.	10,5 Mrd.	42 Mio.
2015	107 Mio.	9,9 Mrd.	43 Mio.
2016	109 Mio.	10,2 Mrd.	47 Mio.
2017	105 Mio.	10,1 Mrd.	51 Mio.
2018	109 Mio.	10,1 Mrd.	51 Mio.
2019	109 Mio.	9,9 Mrd.	50 Mio.
2020	45 Mio.	2,6 Mrd.	47 Mio.
2021	38 Mio.	2,1 Mrd.	51 Mio.
2022	55 Mio.	4,1 Mrd.	50 Mio.
2023	58 Mio.	4,9 Mrd.	46 Mio.

Quelle: TREMOD-AV 91. Anmerkung: Deutlicher Rückgang des Flugverkehrs in den Jahren 2020-2022 aufgrund der Corona-Pandemie.

Beträchtliche Anteile an den gesamten Starts in Deutschland haben zwar der gewerbliche Flugverkehr auf sonstigen Flugplätzen sowie der nicht-gewerbliche Flugverkehr, aber da hier im Schnitt deutlich kleinere Maschinen über kürzere Distanzen eingesetzt werden als beim gewerblichen Verkehr auf den Hauptverkehrsflughäfen (siehe Tabelle 32), ist der Anteil an den gesamten Energiemengen und Emissionen vernachlässigbar. So liegt bspw. der Anteil des sonstigen Flugverkehrs (nicht-gewerblicher Flugverkehr und gewerblicher Flugverkehr auf den sonstigen Flugplätzen) am gesamten Energiebedarf des Flugverkehrs in Deutschland aktuell bei ca. 1-2 %.

2.5.4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch im Flugverkehr stieg um 80 % von 184 PJ im Jahr 1990 auf 330 PJ im Jahr 2023. Hingegen sank der Energiebedarf des nationalen Flugverkehrs im selben Zeitraum von 32 PJ auf 16 PJ. Somit betrug sein Anteil im Jahr 2023 nur noch 5 % im Vergleich zu 17 % im Jahr 1990. Die Differenz des Absatzes zum Verbrauch liegt im Bereich von -4 % bis +22 %. Gründe hierfür kann neben daten- und modelltechnischen Gründen auch Tankering, also die Mitführung von Treibstoff über den Bedarf für einen Flug hinaus, sein. Auch beim Energieverbrauch wurde im Jahr 2023 fast wieder das Niveau von 2019 erreicht. Tabelle 34 fasst die in TREMOD berechneten Verbräuche und den Energieabsatz zusammen.

Tabelle 34: Berechneter Energieverbrauch des Flugverkehrs in Deutschland im Vergleich mit der Energiebilanz 1990-2023

Bezugsjahr	Verbrauch national [PJ]	Verbrauch International [PJ]	Verbrauch Gesamt [PJ]	Absatz gemäß Energiebilanz [PJ]
1990	31,9	152,0	183,9	195,8
1995	32,3	215,7	248,0	234,6
2000	34,8	237,7	274,5	298,4
2005	32,1	279,6	311,7	344,5
2010	31,7	318,8	350,5	362,3
2015	29,2	346,2	375,4	362,2
2016	29,3	356,8	386,1	389,4
2017	28,5	365,0	393,5	425,6
2018	28,5	373,4	401,9	437,6
2019	29,3	381,3	410,6	434,8
2020	13,8	173,5	187,4	200,1
2021	10,5	193,5	204,0	257,7
2022	14,8	281,3	296,2	385,2
2023	15,5	314,9	330,4	402,3

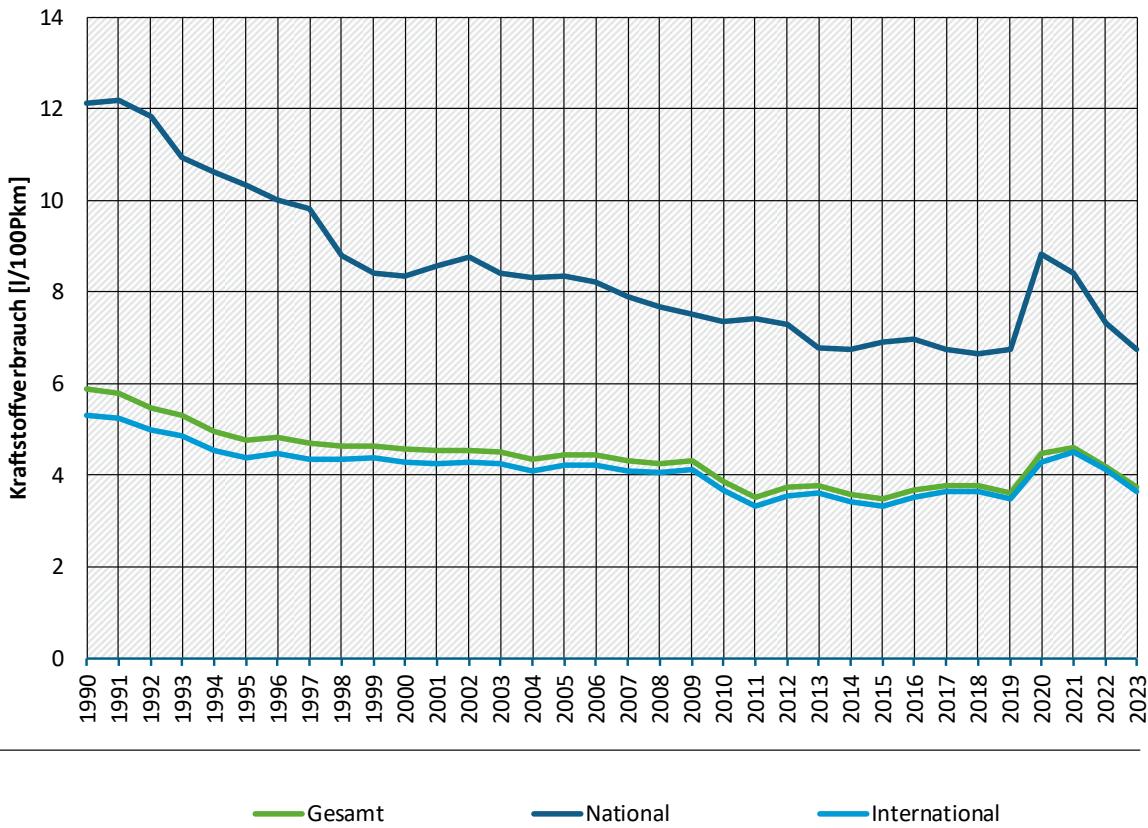
Quelle: TREMOD 6.61. Anmerkung: Deutlicher Rückgang des Flugverkehrs in den Jahren 2020-2022 aufgrund der Corona-Pandemie. Tabellenwerte beinhalten auch den gewerblichen Flugverkehr auf den sonstigen Flugplätzen sowie den nicht-gewerblichen Verkehr.

Setzt man den Energiebedarf in Beziehung zur Verkehrsleistung im Personenverkehr (auf HVF) zeigt sich ein zum Teil deutlicher Rückgang, der von etwa -44 % bei nationalen Flügen bis zu -31 % bei internationalen Flügen zwischen 1990 und 2023 reicht, siehe Abbildung 4. Der höhere Rückgang bei den nationalen Flügen ist insbesondere auf den höheren Anstieg des Auslastungsgrads bei Kurzstreckenflügen zurückzuführen.

Trotz höherer spezifischer Verbrauchsverbesserungen ist der spezifische Verbrauch des nationalen Flugverkehrs auch im Jahr 2023 deutlich höher als der spezifische Verbrauch beim internationalen Verkehr. Dies liegt vor allem daran, dass der Anteil der Startphase beim nationalen Verkehr hoch ist, aber auch daran, dass im Kurzstreckenverkehr eher kleinere Flugzeuge mit geringerer Kapazität verwendet werden. In den Jahren 2020-2022 kam es zu einem Anstieg der

spezifischen Emissionen aufgrund der niedrigeren Auslastung der Flugzeuge. Abbildung 4 zeigt die spezifischen Kraftstoffverbräuche pro Personenkilometer.

Abbildung 4: Kraftstoffverbrauch pro Personenkilometer im nationalen und internationalen Flugverkehr (gewerblicher Verkehr auf HVF)



Quelle: TREMOD 6.61. Anmerkung: Deutlicher Anstieg des spez. Verbrauchs in den Jahren 2020-2022 aufgrund der Corona-Pandemie (geringere Auslastung).

2.5.5 Emissionsfaktoren

Viele Emissionsfaktoren sind in der Zeitreihe konstant und die Emissionen damit direkt proportional zum Kraftstoffverbrauch. Demgegenüber werden die Emissionsfaktoren für NO_x, CO, HC und PM flugzeugtypenspezifisch definiert. Mit Ausnahme der „Corona“-Jahre sanken die spezifischen Emissionen der Schadstoffe NO_x, HC, PM und CO sowohl beim nationalen als auch internationalen Flugverkehr. Tabelle 35 stellt die zeitliche Entwicklung der genannten Schadstoffemissionen des gewerblichen Flugverkehrs auf den ausgewählten Hauptverkehrsflughäfen dar.

Tabelle 35: Mittlere Emissionsfaktoren des gewerblichen Personenflugverkehrs auf HVF 1990-2023 [g/Pkm]

	CO		HC		NOx		Part	
	nat.	intern.	nat.	intern.	nat.	intern.	nat.	intern.
1990	0,55	0,16	0,06	0,03	1,36	0,55	0,013	0,007
1995	0,41	0,11	0,05	0,02	1,31	0,47	0,013	0,006
2000	0,41	0,09	0,04	0,01	0,97	0,47	0,010	0,006
2005	0,42	0,08	0,04	0,01	0,94	0,48	0,011	0,006
2010	0,34	0,07	0,04	0,01	0,92	0,44	0,009	0,005
2015	0,34	0,06	0,04	0,01	0,90	0,42	0,008	0,004
2016	0,35	0,06	0,04	0,01	0,93	0,43	0,008	0,004
2017	0,34	0,06	0,04	0,01	0,90	0,42	0,008	0,004
2018	0,34	0,06	0,04	0,01	0,88	0,42	0,008	0,004
2019	0,37	0,06	0,05	0,01	0,88	0,41	0,007	0,004
2020	0,75	0,07	0,08	0,01	1,10	0,49	0,009	0,005
2021	0,91	0,07	0,09	0,01	1,03	0,42	0,009	0,005
2022	0,60	0,06	0,06	0,01	0,93	0,39	0,008	0,004
2023	0,49	0,05	0,05	0,01	0,87	0,37	0,008	0,004

Quelle: TREMOD 6.61 Anmerkung: Deutlicher Anstieg des spez. Emissionen im Jahr 2020 aufgrund der Corona-Pandemie (geringere Auslastung).

2.6 Energiebilanz

Eine wichtige Basis zur Bestimmung der verkehrsbedingten Emissionen ist der Energieverbrauch in Deutschland. Dieser wird von der AG Energiebilanzen (AG Energiebilanzen o.J.) statistisch erfasst und den verschiedenen Sektoren zugeordnet. Die Energiebilanz ist die Basis der Emissionsberichterstattung (Umweltbundesamt 2024a) und daher auch für die Berechnung der Emissionen in TREMOD relevant. Basis der Energiebilanz für die Kraftstoffe sind die Mengen, die in einem Jahr in Deutschland abgesetzt wurden.

Die Energiebilanz ist außerdem eine wichtige statistisch verfügbare Randgröße zur Überprüfung der mit TREMOD berechneten Ergebnisse, da alle anderen verwendeten Größen wie Fahrleistungen und spezifische Verbräuche mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet sind. Die Absatzzahlen werden daher den mit TREMOD berechneten Ergebnissen gegenübergestellt und die Unterschiede bewertet.

Neben der Energiebilanz werden die Amtlichen Mineralöldaten des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) verwendet (BAFA o.J.), da diese zeitnah veröffentlicht werden und Auskunft geben über den Absatz der Biokraftstoffe. Daraus kann der jährliche Anteil von Biodiesel und Bioethanol am Diesel- bzw. Benzinverbrauch abgeleitet werden. Eine sektorale Zuordnung der Kraftstoffe liefert die BAFA-Statistik nicht. Daher werden in der TREMOD-Berechnung folgende Annahmen getroffen:

- ▶ Bei Benzin wird der jährlich ermittelte Anteil des Bioethanols für alle Sektoren gleich angenommen.
- ▶ Beim Dieselkraftstoff werden die reinen Biokraftstoffe (FAME und Pflanzenöl) dem Straßenverkehr zugeordnet. Seit 2013 gingen diese mengenmäßig deutlich zurück und werden seit 2017 nicht mehr separat in der Statistik ausgewiesen. Der jährliche ermittelte Anteil der Beimischung von Biodiesel wird für die Sektoren Straße, Schiene und sonstige Verbraucher gleich angenommen. Damit wird berücksichtigt, dass die AG Energiebilanzen keine Biokraftstoffe in der Binnenschiffahrt ausweist.
- ▶ Der für den Straßenverkehr in den Energiebilanzen ausgewiesene Verbrauch für Erdgas enthält nach Aussagen des Umweltbundesamtes bis 2020 auch das Biomethan. Anders als bei Benzin und Diesel muss daher das Biomethan aus den Sattelitenbilanzen bis zu diesem Jahr vom Erdgas abgezogen werden, um fossiles Erdgas und Biomethan separat zu bilanzieren. Ab 2021 ist das nicht mehr nötig.

Die so ermittelten Absatzzahlen nach Sektoren sind Basis der Emissionsberichterstattung für den Verkehrsbereich. In der folgenden Tabelle 36 ist der Kraftstoffabsatz für die Jahre 1990-2022 entsprechend der hier beschriebenen Zuordnung dargestellt.

Tabelle 36: Kraftstoffabsatz in Deutschland Sektoren und Kraftstoffart 1990-2023

In PJ

Sektor	1990	2000	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
Straßenverkehr									
Dieselkraftstoffe									
Diesel konventionell	736	1.108	1.143	1.324	1.394	1.262	1.241	1.248	1.196
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	76	73	79	103	87	87	89
Biodiesel rein (FAME)	0	12	11	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pflanzenöl	0,0	0,0	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biokraftstoffe gesamt	0	12	89	74	79	103	87	87	89
Diesel Gesamt	736	1.120	1.232	1.398	1.473	1.365	1.328	1.335	1.285
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	1,1%	7,3%	5,3%	5,4%	7,6%	6,6%	6,5%	6,9%
Benzin									
Benzin konventionell	1.330	1.237	781	759	730	639	638	670	692
Bioethanol	0	0	30	31	30	29	30	31	33
Benzin Gesamt	1.330	1.237	812	790	760	667	668	701	725
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	3,7%	3,9%	4,0%	4,3%	4,5%	4,4%	4,5%

Sektor	1990	2000	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
Andere Kraftstoffe									
Erdgas konventionell			8,5	4,6	2,4	2,9	7,1	7,7	6,9
Biomethan				1,2	2,4	3,2	3,5	3,8	5,2
LPG	0,1	23	19	15	10	10	12	7,9	
Schienenverkehr									
Dieselkraftstoffe									
Diesel konventionell	38	25	15	13	11	11	11	10	10
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	1,0	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	0,7
Diesel gesamt	38	25	16	14	11	12	12	11	11
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	6,3%	5,2%	5,4%	7,6%	6,6%	6,5%	6,9%
Binnenschifffahrt									
Dieselkraftstoffe									
Diesel konventionell	28	12	18	16	15	14	12	9	10
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diesel gesamt	28	12	18	16	15	14	12	9	10
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Andere Kraftstoffe									
Benzin konventionell			0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Bioethanol			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
LPG			0,0071	0,0071	0,0072	0,0074	0,0075	0,0076	0,0076
Sonstige Verbraucher									
Dieselkraftstoffe									
Diesel konventionell	127	96	90	104	106	105	107	104	102
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	6,0	5,8	6,0	8,6	7,5	7,2	7,6
Diesel gesamt	127	96	96	110	112	114	115	111	110

Sektor	1990	2000	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	6,3%	5,2%	5,4%	7,6%	6,6%	6,5%	6,9%
Benzin									
Benzin konventionell	30	17	18	15	14	14	14	14	14
Bioethanol	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Benzin Gesamt	30	17	19	16	15	14	15	15	15
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	3,7%	3,9%	4,0%	4,3%	4,5%	4,4%	4,5%
Gesamt									
Dieselkraftstoffe									
Diesel konventionell	929	1.242	1.266	1.458	1.526	1.392	1.371	1.371	1.318
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	83	80	86	113	95	94	97
Biodiesel (FAME)	0	12	11	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pflanzenöl	0,0	0,0	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biokraftstoffe gesamt	0	12	96	80	86	113	95	94	97
Diesel Gesamt	929	1.254	1.363	1.538	1.611	1.504	1.467	1.466	1.415
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	1,0%	7,1%	5,2%	5,3%	7,5%	6,5%	6,4%	6,9%
Benzin									
Benzin konventionell	1.361	1.254	800	775	744	653	652	685	706
Bioethanol	0,0	0,0	31	31	31	29	31	32	33
Benzin Gesamt	1.361	1.254	831	806	775	682	683	716	740
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	3,7%	3,9%	4,0%	4,3%	4,5%	4,4%	4,5%
Flugverkehr									
Kerosin (in PJ)	193	297	362	362	434	200	258	385	402
Flugbenzin (in PJ)	2,4	1,1	0,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1

Quellen: AG Energiebilanzen (Stand: 30. August 2024), Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: AMS: Fast endgültige Daten, Dezember 2023 (internes PDF vom 20.08.24), eigene Berechnungen

2.6.1 Vergleich Kraftstoffabsatz mit dem Inlandsverbrauch

Anders als im stationären Bereich ist im Verkehr der Ort des Verbrauchs nicht identisch mit dem Ort der Energieaufnahme. Außerdem treten zeitliche Differenzen auf, z. B. wenn zum Jahresende

aufgrund angekündigter Preissteigerungen die Fahrzeugtanks gefüllt werden. Daher kommt es zu Differenzen zwischen den Absatzzahlen nach Energiebilanz und der im Inland verbrauchten Energie. Der mit TREMOD berechnete Inlandsverbrauch für den Straßenverkehr und die Absatzmengen der AG Energiebilanzen sind in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Vergleich berechneter Verbrauch im Inland und Absatz für Benzin und Diesel im Straßenverkehr 1990-2023

In PJ

Jahr	Benzin-verbrauch im Inland	Benzinabsatz im Inland	Differenz Ab-satz/Verbrauch	Diesel-verbrauch im Inland	Dieselabsatz im Inland	Differenz Ab-satz/Verbrauch
1990	1.225	1.330	8,6%	720	736	2,3%
1991	1.229	1.332	8,4%	816	785	-3,8%
1992	1.247	1.344	7,8%	851	854	0,4%
1993	1.259	1.351	7,2%	867	908	4,7%
1994	1.240	1.277	3,0%	945	932	-1,4%
1995	1.243	1.300	4,6%	988	966	-2,3%
1996	1.248	1.300	4,2%	1.012	967	-4,5%
1997	1.253	1.297	3,6%	1.039	983	-5,4%
1998	1.274	1.300	2,1%	1.058	1.027	-3,0%
1999	1.277	1.301	1,8%	1.114	1.102	-1,1%
2000	1.243	1.237	-0,5%	1.152	1.120	-2,7%
2001	1.229	1.199	-2,5%	1.199	1.114	-7,1%
2002	1.206	1.166	-3,3%	1.238	1.126	-9,0%
2003	1.160	1.112	-4,1%	1.265	1.065	-15,8%
2004	1.132	1.037	-8,4%	1.326	1.074	-19,0%
2005	1.065	989	-7,2%	1.337	1.104	-17,4%
2006	1.033	971	-6,0%	1.386	1.243	-10,3%
2007	1.006	902	-7,4%	1.433	1.214	-15,3%
2008	971	896	-7,8%	1.426	1.249	-12,4%
2009	964	865	-10,3%	1.391	1.197	-13,9%
2010	944	812	-14,0%	1.426	1.232	-13,6%
2011	933	812	-13,0%	1.460	1.254	-14,1%
2012	903	764	-15,4%	1.466	1.285	-12,4%
2013	880	769	-12,6%	1.497	1.325	-11,5%
2014	869	738	-15,1%	1.548	1.350	-12,7%

Jahr	Benzin-verbrauch im Inland	Benzinabsatz im Inland	Differenz Absatz/Verbrauch	Diesel-verbrauch im Inland	Dieselabsatz im Inland	Differenz Absatz/Verbrauch
2015	856	790	-7,7%	1.592	1.398	-12,2%
2016	847	783	-7,5%	1.638	1.434	-12,4%
2017	847	771	-9,0%	1.672	1.471	-12,0%
2018	850	748	-12,0%	1.688	1.500	-11,1%
2019	861	760	-11,8%	1.685	1.473	-12,6%
2020	753	667	-11,3%	1.498	1.365	-8,9%
2021	755	668	-11,5%	1.528	1.328	-13,1%
2022	759	701	-7,6%	1.517	1.335	-12,0%
2023	782	725	-7,4%	1.461	1.285	-12,0%

Anmerkung: Benzin inkl. Ethanol, Dieselkraftstoffe Straßenverkehr inkl. Biodiesel (rein und Beimischung) und Pflanzenöl

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024, AG Energiebilanzen, BAFA

Der Vergleich zeigt, dass der Inlandsverbrauch aller Kraftstoffe zwischen 1994 und 1999 nahe den Absatzzahlen oder darunter (Benzin) lag, ab 2000 über den Kraftstoffabsatz gestiegen ist und bis heute immer deutlich darüber liegt. Diese Entwicklung fällt zusammen mit der Einführung der Ökosteuer, mit der ab dem Jahr 1999 der Kraftstoffpreis fünf Jahre lang jährlich erhöht wurde. Eine wichtige Konsequenz ist, dass die Treibhausgasemissionen des Verkehrs im nationalen Inventarbericht nach 2000 niedriger ausfällt als nach der Inlandsbilanzbilanzierung in TREMOD (siehe auch Kapitel 2.7.1.5).

Da für die Emissionsberichterstattung das Energie- und Treibhausgasinventar nach den Absatzzahlen der Energiebilanz bestimmt wird, müssen die Inlandsergebnisse von TREMOD an die Absatzzahlen der Energiebilanz angepasst werden. Dazu werden Anpassungsfaktoren wie folgt ermittelt:

- ▶ Benzin wird überwiegend von Pkw verbraucht, gefolgt von MZR, LNF und übrigen Kfz. Der Anpassungsfaktor für Benzin wird daher als Quotient aus dem Absatz von Benzin im Straßenverkehr und dem mit TREMOD berechneten Inlandsverbrauch der genannten Fahrzeugkategorien berechnet.
- ▶ Für Diesel-Pkw, LNF und übrige Fahrzeuge <3,5t wird der Anpassungsfaktor von Benzin übernommen, da angenommen wird, dass bei diesen Fahrzeugkategorien die Differenzen zwischen Absatz und Verbrauch ähnliche Ursachen und daher eine ähnliche Größenordnung haben könnten, unabhängig von der Antriebsenergie.
- ▶ Der Anpassungsfaktor für die übrigen dieselbetriebenen Fahrzeugkategorien (SNF und Busse) berechnet sich als Quotient aus der verbleibenden Differenz zum gesamten Inlandsabsatz des Straßenverkehrs nach Energiebilanz (Absatz Energiebilanz minus dem auf den Absatz angepassten Verbrauch der Pkw, MZR, LNF und UeKfz) und dem berechneten Inlandsverbrauch der schweren Nutzfahrzeuge und Busse.

- Der Anteil der Beimischung von Biokraftstoffen wird für die Sektoren Straße, Schiene und übrige Verbraucher gleich angenommen. In der Binnenschifffahrt werden keine Biokraftstoffe getankt. Der Verbrauch an reinen Biokraftstoffen wird mangels genauer Informationen dem Straßenverkehr zugeordnet.
- Die Energiebilanz enthält neben der Binnenschifffahrt zusätzlich die Küstenschifffahrt. Im Emissionsinventar und den VEdV wird dieser Verbrauch der nationalen Binnenschifffahrt zugeordnet (Umweltbundesamt 2024a). Der Anpassungsfaktor für den Dieselverbrauch der Binnenschifffahrt wird als Quotient aus dem Absatz von Dieselkraftstoff der Küsten- und Binnenschifffahrt nach Energiebilanz und dem mit TREMOD berechneten Inlandsverbrauch der Binnenschifffahrt (nur Güterverkehr) berechnet. Die nationale Seeschifffahrt ist nicht in TREMOD enthalten.

Mit diesen Annahmen ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Anpassungsfaktoren, mit denen der mit TREMOD berechnete Verbrauch und die zugehörigen Emissionen im Inland in die kraftstoffabsatz-bezogenen Ergebnisse nach Energiebilanz umgerechnet wird.

Tabelle 38: Anpassungsfaktoren Kraftstoffabsatz Energiebilanz / Inlandsverbrauch TREMOD 1990-2023

Absatz Energiebilanz / Inlandsverbrauch (in PJ/PJ)

	Straße, Kfz<=3,5t Benzin+Diesel	Straße, Kfz>3,5t	Diesel Bahn	Diesel Binnen- schifffahrt
1990	1,09	0,98		
1991	1,08	0,89		
1992	1,08	0,96		
1993	1,07	1,03		
1994	1,03	0,96	1,05	1,14
1995	1,05	0,93	1,04	0,88
1996	1,04	0,90	1,03	0,85
1997	1,04	0,89	1,03	0,67
1998	1,02	0,94	1,05	0,60
1999	1,02	0,97	1,06	0,51
2000	1,00	0,96	1,08	0,45
2001	0,98	0,89	1,03	0,45
2002	0,97	0,86	1,13	0,40
2003	0,96	0,74	1,12	0,65
2004	0,92	0,71	1,06	0,71
2005	0,93	0,72	0,99	0,83
2006	0,94	0,85	0,96	0,85
2007	0,90	0,80	0,96	0,72

	Straße, Kfz<=3,5t Benzin+Diesel	Straße, Kfz>3,5t	Diesel Bahn	Diesel Binnenschifffahrt
2008	0,92	0,83	0,89	0,85
2009	0,90	0,82	0,88	0,81
2010	0,86	0,87	0,88	0,86
2011	0,87	0,85	0,90	0,81
2012	0,85	0,91	0,83	0,85
2013	0,87	0,90	0,77	0,83
2014	0,85	0,90	0,82	0,82
2015	0,92	0,82	0,87	0,82
2016	0,93	0,81	0,88	0,79
2017	0,91	0,84	0,71	0,78
2018	0,88	0,90	0,59	0,88
2019	0,88	0,86	0,72	0,87
2020	0,89	0,94	0,75	0,87
2021	0,88	0,85	0,77	0,72
2022	0,92	0,83	0,77	0,57
2023	0,93	0,82	0,74	0,69

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Mit der Revision der Energiebilanzen haben sich die Abweichungen zwischen Kraftstoffabsatz und Inlandsverbrauch, insbesondere im Straßenverkehr, verändert. Leider gibt es dabei keine neuen Trends, die den Unterschied besser erklären würden als bisher.

Da die Anpassungsfaktoren von Benzin bei der aktuellen Korrekturmethode für die leichten Dieselfahrzeuge übernommen werden, hat das unmittelbare Auswirkungen auf die Aufteilung des Dieselkraftstoffs zwischen leichten und schweren Fahrzeugen. Es sollte daher geprüft werden, ob diese Methode bei der Aktualisierung zukünftig so beibehalten werden soll oder angepasst werden kann.

2.7 Ergebnisse

2.7.1 Energieverbrauch und Emissionen

In diesem Kapitel werden ausgewählte Ergebnisse des Energieverbrauchs und der Emissionen des Verkehrs in Deutschland von 1990 bis 2023 dargestellt. Schwerpunkt sind die Ergebnisse für den Inlandsverkehr, wie sie mit TREMOD berechnet wurden. Eine Sonderstellung hat hierbei der Luftverkehr, welcher alle von Deutschland abgehenden und damit auch internationale Flüge beinhaltet.

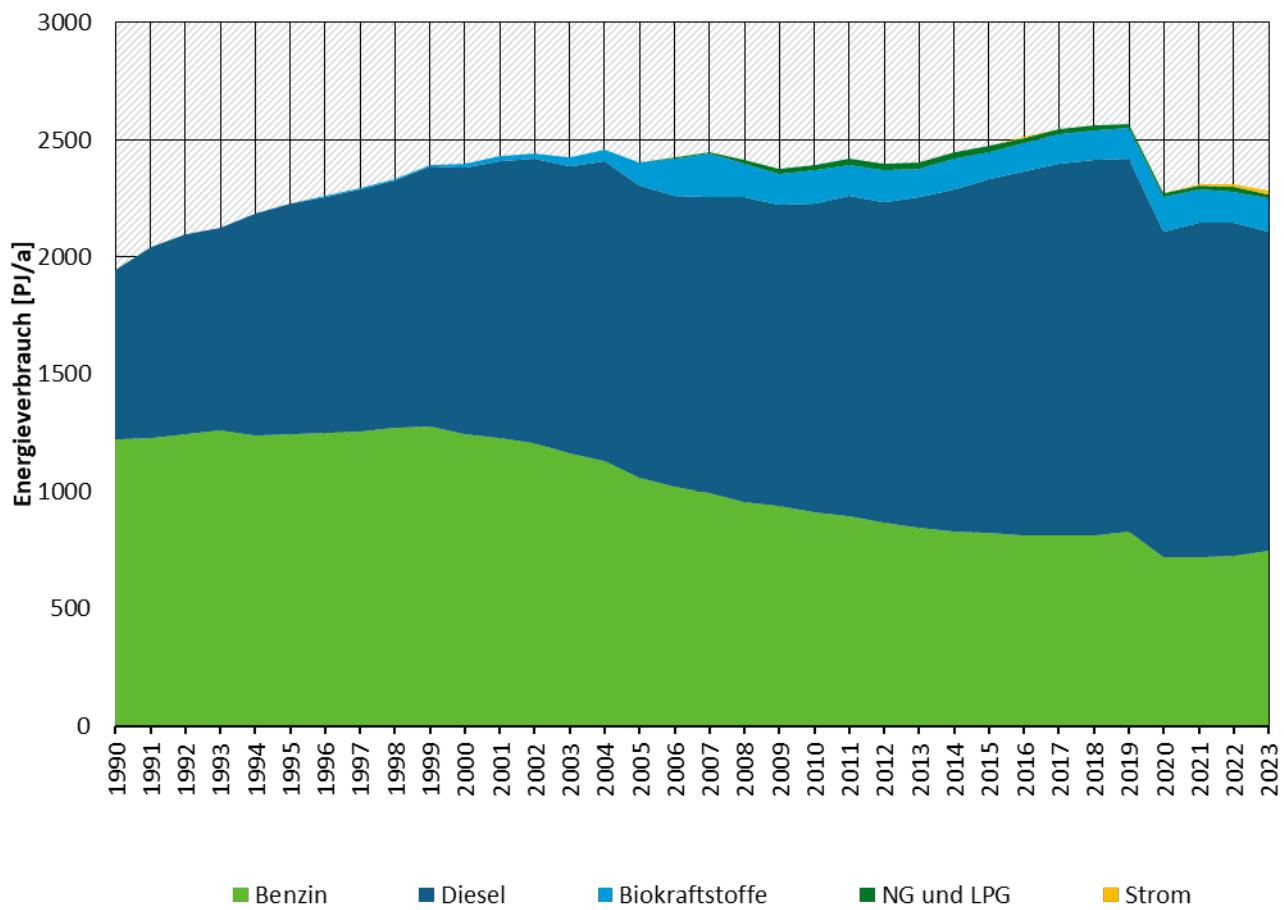
2.7.1.1 Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs nach Energieträgern

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs des Straßenverkehrs in Deutschland auf inländischem Territorium unterschieden nach den Energieträgern Benzin (ohne Beimischung Bioethanol), Diesel (ohne Beimischung Biodiesel), Biokraftstoffe (Biodiesel, Bioethanol und Biogas), Erdgas (NG) und Flüssiggas (LPG) sowie Strom (Kraftfahrzeuge ohne Pedelecs). Danach zeigen sich bei den Energieträgern folgende Entwicklungen:

- ▶ Im Jahr 1990 dominierte der Verbrauch von Benzin. In den Folgejahren nahm der Dieselverbrauch zu, während der Benzinverbrauch zunächst nahezu gleichblieb und ab dem Jahr 2000 zurückging. Der Dieselverbrauch lag im Jahr 2019 um 122 % bzw. im Jahr 2023 um 89 % höher als im Jahr 1990.
- ▶ Seit 1995 kommen zunehmend Biokraftstoffe zum Einsatz, überwiegend als Beimischung zu den konventionellen Kraftstoffen. Bis 2019 erreichten sie einen Anteil von 5,0 % (2023: 6,2%) am Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs.
- ▶ NG und LPG haben über die gesamte Zeitreihe nur geringe Anteile am Energieverbrauch.
- ▶ Der Stromverbrauch im Straßenverkehr nahm in den letzten Jahren zu. Der Anteil am Energieverbrauch des Straßenverkehrs war 2023 aber mit 0,8% immer noch sehr niedrig.

Insgesamt nahm der Energieverbrauch des Straßenverkehrs von 1990 bis 2019 um 32 % zu. Im Jahr 2020 sank der Energieverbrauch infolge der Auswirkungen der COVID-19 Pandemie. 2023 lag der Verbrauch nach einem leichten Anstieg 2021 und 2022 wieder auf dem Niveau von 2020.

Abbildung 5: Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland nach Energieträgern - Entwicklung des Endenergieverbrauchs bis 2023



Anmerkungen: Endenergieverbrauch im Inland

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.7.1.2 Endenergieverbrauch aller Verkehrsträger

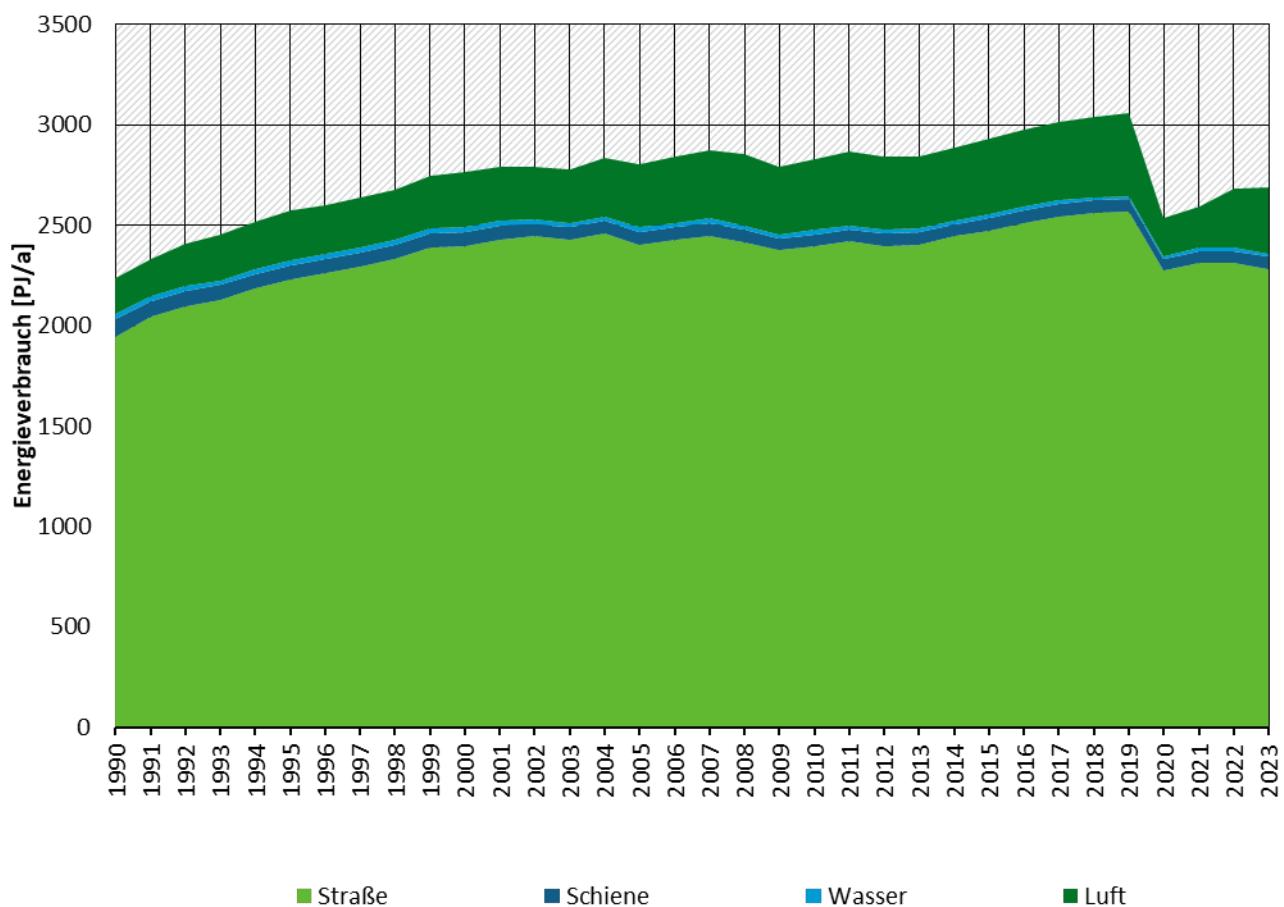
Abbildung 6 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrs in Deutschland von 1990 bis 2023 für die Verkehrsträger Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung). Der Endenergieverbrauch pro Verkehrsträger entwickelt sich dabei wie folgt:

- ▶ Der Straßenverkehr hat über die gesamte Zeitreihe den größten Anteil am Energieverbrauch (87 % im Jahr 1990 bis 85 % im Jahr 2023), gefolgt vom Flugverkehr. Der Energieverbrauch des Straßenverkehrs nahm von 1990 bis 2019 um 32 % bzw. bis 2023 um 17 % zu.
- ▶ Der Energieverbrauch des Flugverkehrs nahm von 1990 bis 2019 um 123 % zu. 2020 und 2021 gab es einen deutlichen pandemiebedingten Einbruch, gegenüber 2019 auf etwa die Hälfte. Danach gab es wieder einen deutlichen Anstieg: 2023 lag der Energieverbrauch des Flugverkehrs nur noch um 20% unter dem Verbrauch von 2019.

- Bei der Bahn ging der Energieverbrauch von 1990 bis 2023 um 31 % zurück.
- Bei der Binnenschifffahrt ging der Energieverbrauch von 1990 bis 2023 um 41 % zurück.

Der gesamte Energieverbrauch aller betrachteten Verkehrsträger nahm von 1990 bis 2019 um 37 % bzw. bis 2023 um 20 % zu. Der pandemiebedingte Einbruch im Jahr 2020 äußert sich bei allen Verkehrsträgern, jedoch am stärksten beim Luftverkehr.

Abbildung 6: Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung des Endenergieverbrauchs bis 2023



Anmerkungen: Endenergieverbrauch im Inland für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung).

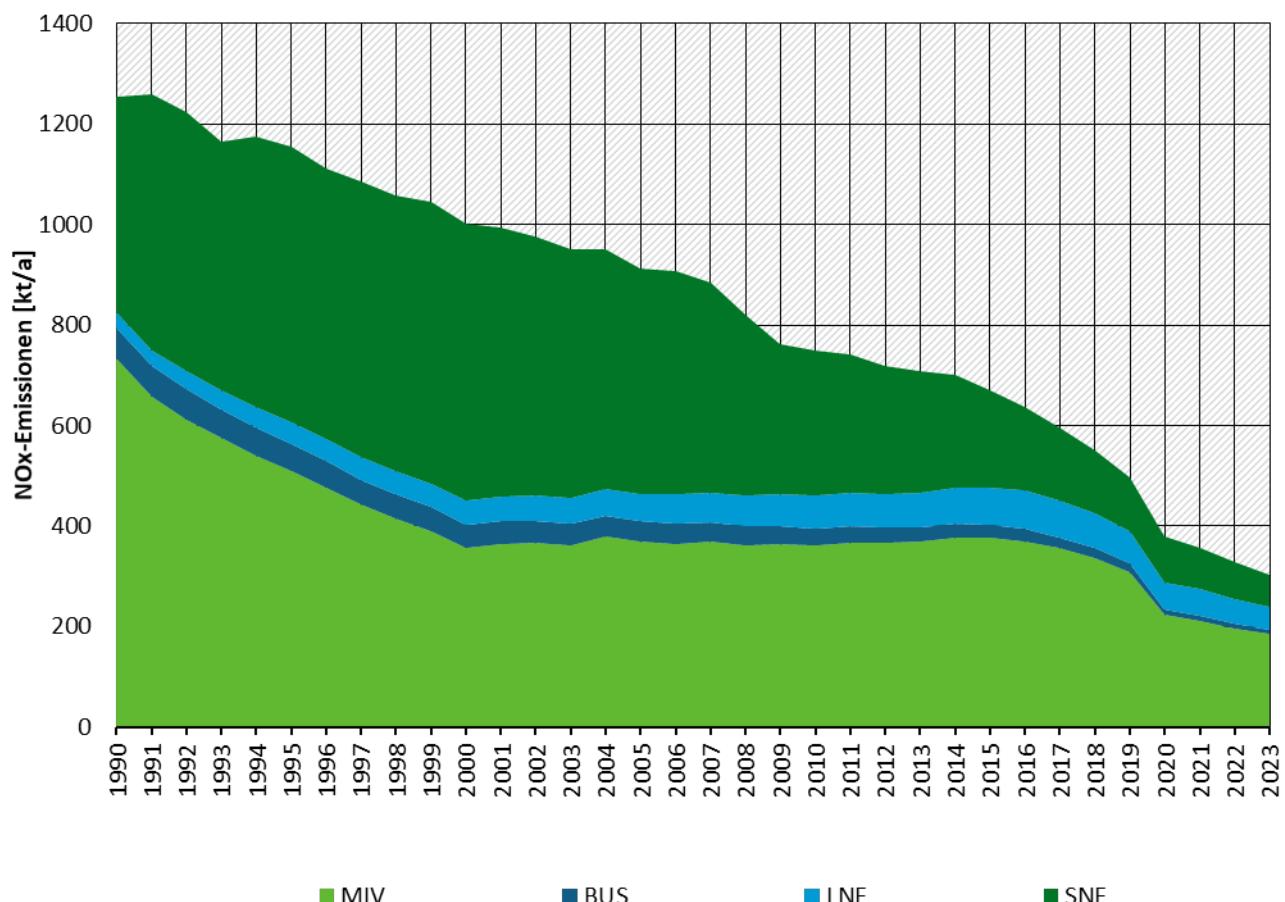
Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.7.1.3 Direkte Abgasemissionen des Straßenverkehrs

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland auf inländischem Territorium unterschieden nach den Fahrzeugarten MIV (Pkw und motorisierte Zweiräder), BUS (Linien- und Reisebusse), LNF (leichte Nutzfahrzeuge) und SNF (schwere Nutzfahrzeuge). Seit 1991 gingen die Emissionen zurück, bis zum Jahr 2000 vor allem getrieben durch die Fortschritte in der Abgasgesetzgebung bei den Pkw. Seit 2000 führten hingegen deutliche Verbesserungen bei den schweren Nutzfahrzeugen zu einem Rückgang der

Gesamtemissionen, während die anhaltend zu hohen Emissionen auch neuerer Diesel-Pkw (bis einschließlich Euro 6 a, b, c) zu einer Stagnation der Pkw-Emissionen bis 2016 führten. Insgesamt nahmen die Stickstoffoxidemissionen von 1.260 Kilotonnen im Jahr 1991 auf 496 Kilotonnen im Jahr 2019 und damit um 61 % ab. 2023 waren es noch 302 Kilotonnen und damit 39 % weniger als 2019.

Abbildung 7: Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen bis 2023

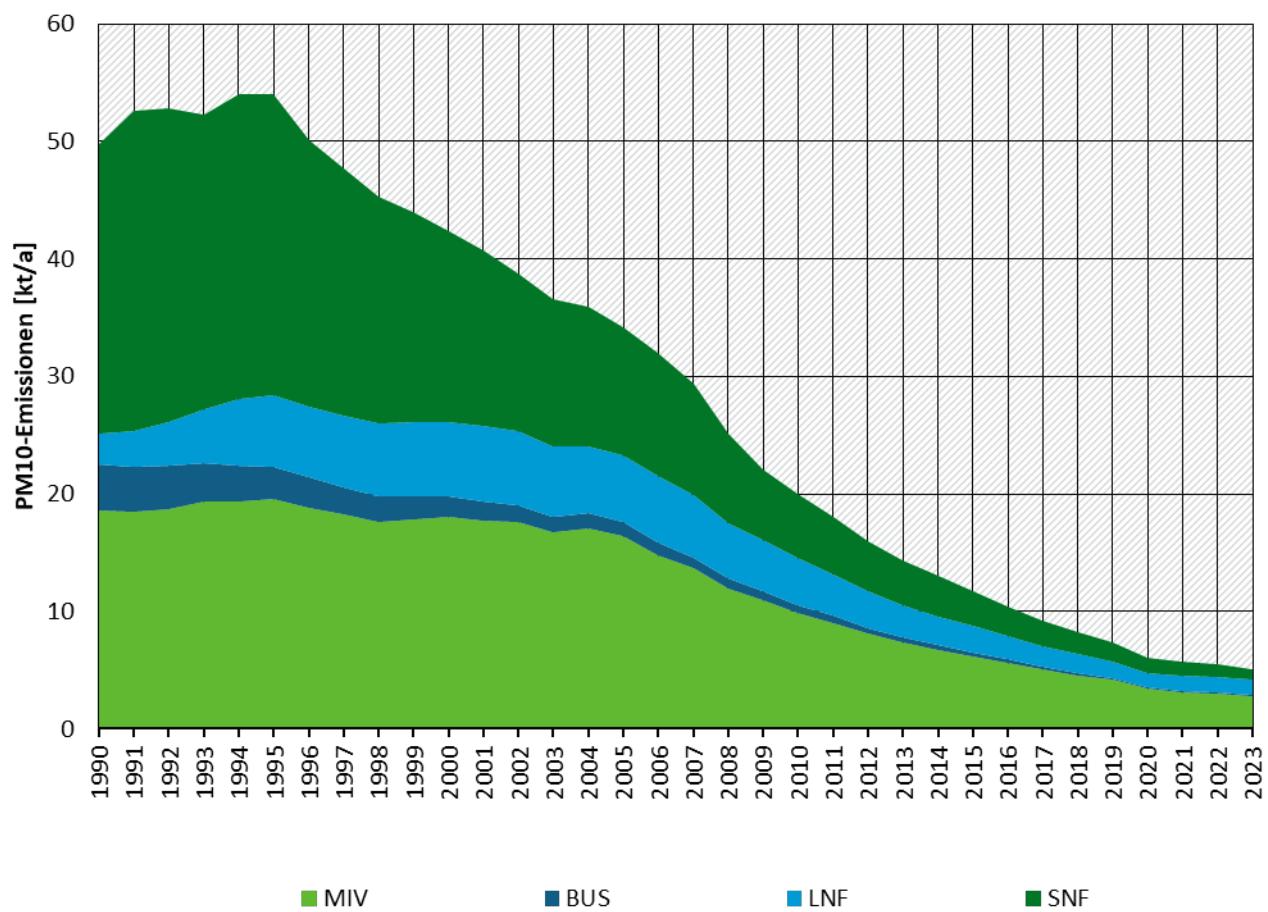


Anmerkungen: Direkte Abgasemissionen im Inland.

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der Abgaspartikelemissionen. Bis 1995 stiegen die Emissionen an und gehen seitdem zurück. Bis zum Jahr 2005 war diese Entwicklung vor allem getrieben durch die Fortschritte in der Abgasgesetzgebung bei den schweren Nutzfahrzeugen. Seit 2005 gehen die Emissionen auch bei den Pkw durch die zunehmende Verwendung von Partikelfiltern stärker zurück als in der Dekade davor. Insgesamt nahmen die Abgaspartikelemissionen von 54 Kilotonnen im Jahr 1995 auf 7,4 Kilotonnen im Jahr 2019 und damit um 86 % ab. 2023 waren es mit 5,1 Kilotonnen 31 % weniger als 2019.

Abbildung 8: Abgaspartikelemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen bis 2023



Anmerkungen: Direkte Abgasemissionen im Inland

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.7.1.4 Gesamte Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Territorialprinzip

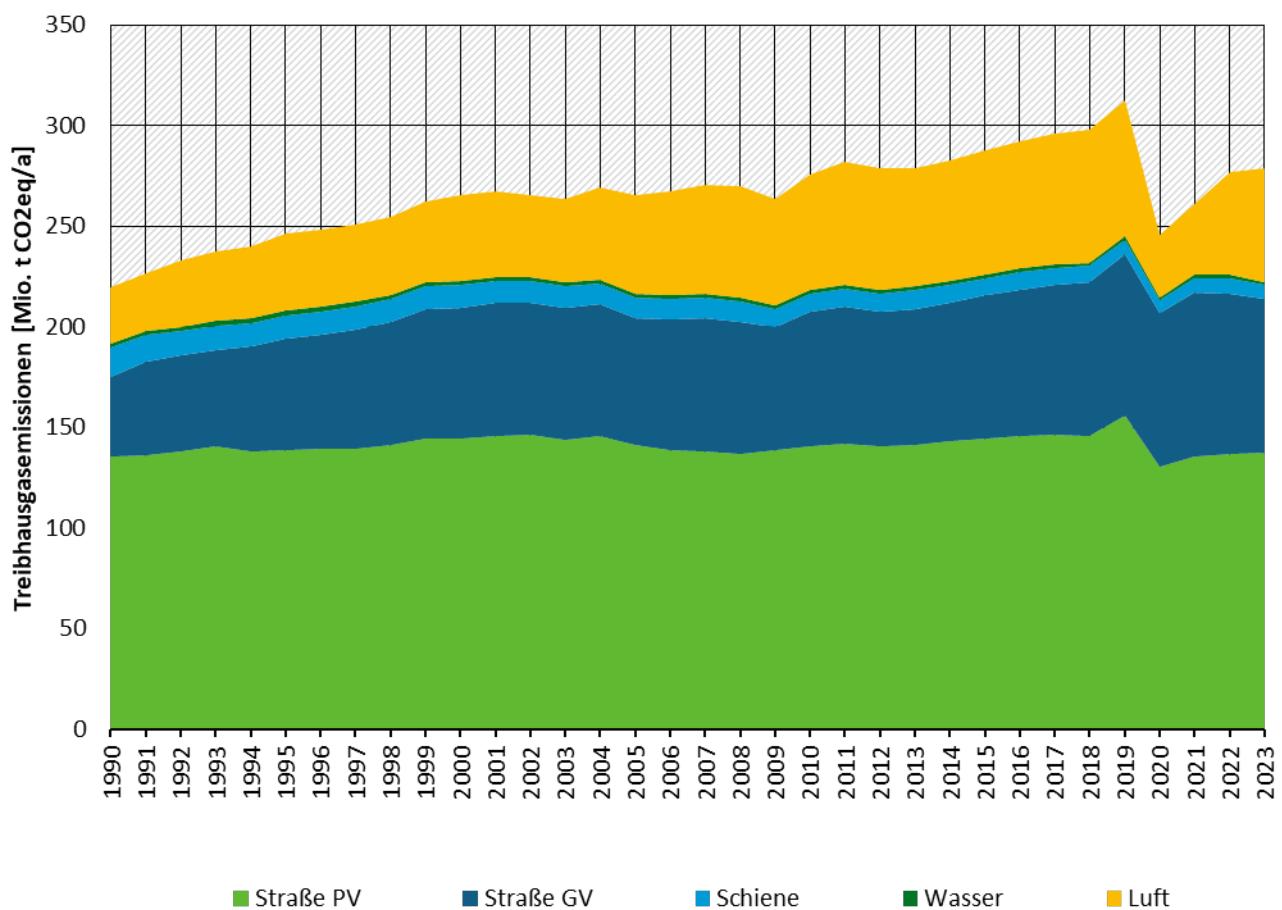
Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland von 1990 bis 2023 einschließlich der Emissionen für die Bereitstellung der Energieträger (Vorkette) für die Verkehrsträger Straße PV (Straßenpersonenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw und Bussen auf inländischem Territorium), Straße GV (Straßengüterverkehr mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung, einschließlich der zusätzlichen Klimawirkung in Reiseflughöhe). Pro Verkehrsträger zeichnet sich folgende Entwicklung ab:

- ▶ Der Straßenverkehr hat über die gesamte Zeitreihe den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen (80 % im Jahr 1990 bis 77 % Anteil im Jahr 2023), gefolgt vom Flugverkehr. Die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs nahmen von 1990 bis 2019 um 35 % und bis 2023 um 22 % zu.
- ▶ Der Flugverkehr nahm von 1990 bis 2019 um 143 % und bis 2023 um 105 % zu.
- ▶ Bei der Bahn gingen die Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2023 um 52 % zurück.

- Bei der Binnenschifffahrt gingen die Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2023 um 34 % zurück.

Die Treibhausgasemissionen nahmen insgesamt für alle betrachteten Verkehrsträger von 1990 bis 2019 um 42 % und bis 2023 um 27 % zu.

Abbildung 9: Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung der Gesamtemissionen bis 2023



Anmerkungen: Gesamtemissionen einschließlich der Emissionen für die Energiebereitstellung (Vorkette) für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung, einschließlich der zusätzlichen Klimawirkung in Reiseflughöhe).

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.7.1.5 Treibhausgasemissionen des Verkehrs im nationalen Inventarbericht (NIR)

Im Rahmen der internationalen Berichtspflichten werden die Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach folgenden Regeln ermittelt:

- Die Ermittlung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs erfolgt grundsätzlich auf Basis der in der Energiestatistik erfassten abgesetzten Kraftstoff- bzw. Energiemengen (sogenanntes Absatzprinzip).

- ▶ Die Schifffahrt umfasst den nationalen Seeverkehr⁷ und die Binnenschifffahrt gemäß Energiebilanz. In TREMOD wird nur die Binnenschifffahrt mit Güterschiffen erfasst.
- ▶ Der Straßenverkehr enthält zusätzlich die CO₂-Emissionen aus der gewollten Mitverbrennung von im Zweitaktergemisch enthaltenen Schmierölen.⁸ Diese sind nicht in TREMOD enthalten.
- ▶ Der Schienenverkehr enthält zusätzlich die Emissionen aus Festbrennstoffen. Diese sind in TREMOD nicht enthalten, sondern werden extra ausgewiesen.
- ▶ Beim Flugverkehr werden nur die Emissionen der Inlandsflüge als Teil der nationalen Gesamtemissionen erfasst. Die Emissionen der Flüge ins Ausland werden dagegen nur nachrichtlich ausgewiesen. Die zusätzliche Klimawirkung in großen Flughöhen wird bisher grundsätzlich nicht berücksichtigt.
- ▶ Zusätzlich werden unter der Quellgruppe „Other Transport“ die Emissionen von Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen des Transportnetzes berücksichtigt.
- ▶ Die regenerativen CO₂-Emissionen der Biokraftstoffe werden separat berechnet, aber nicht den einzelnen Emittenten bzw. den nationalen Gesamtemissionen zugerechnet, sondern nur nachrichtlich ausgewiesen. Allerdings wird davon ausgegangen, dass bei der Produktion von Bioethanol und Biodiesel geringe Mengen fossilen Kohlenstoffs in Form von Methanol eingebracht werden. Daher werden aktuell 6,66 % des Kohlendioxids aus Bioethanol und 5,50 % des Kohlendioxids aus Biodiesel als fossil betrachtet und, jeweils CRF-spezifisch als Emissionen aus „other fossil fuels“, in die nationalen Gesamtemissionen eingerechnet.

Mit dieser Abgrenzung unterscheiden sich die berichteten Emissionen in der Höhe und im Verlauf von den im Kapitel 2.7.1.4 dargestellten TREMOD-Ergebnissen.

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland von 1990 bis 2023 für die Verkehrsträger Straße PV (Straßenpersonenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw und Bussen), Straße GV (Straßengüterverkehr mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen, Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen), Luft (Flugverkehr im Inland) und sonstige nicht in TREMOD erfassten Verkehre (v. a. Rohrfernleitungen, Teile der Schifffahrt) in der Abgrenzung der Berichterstattung im nationalen Inventarbericht:

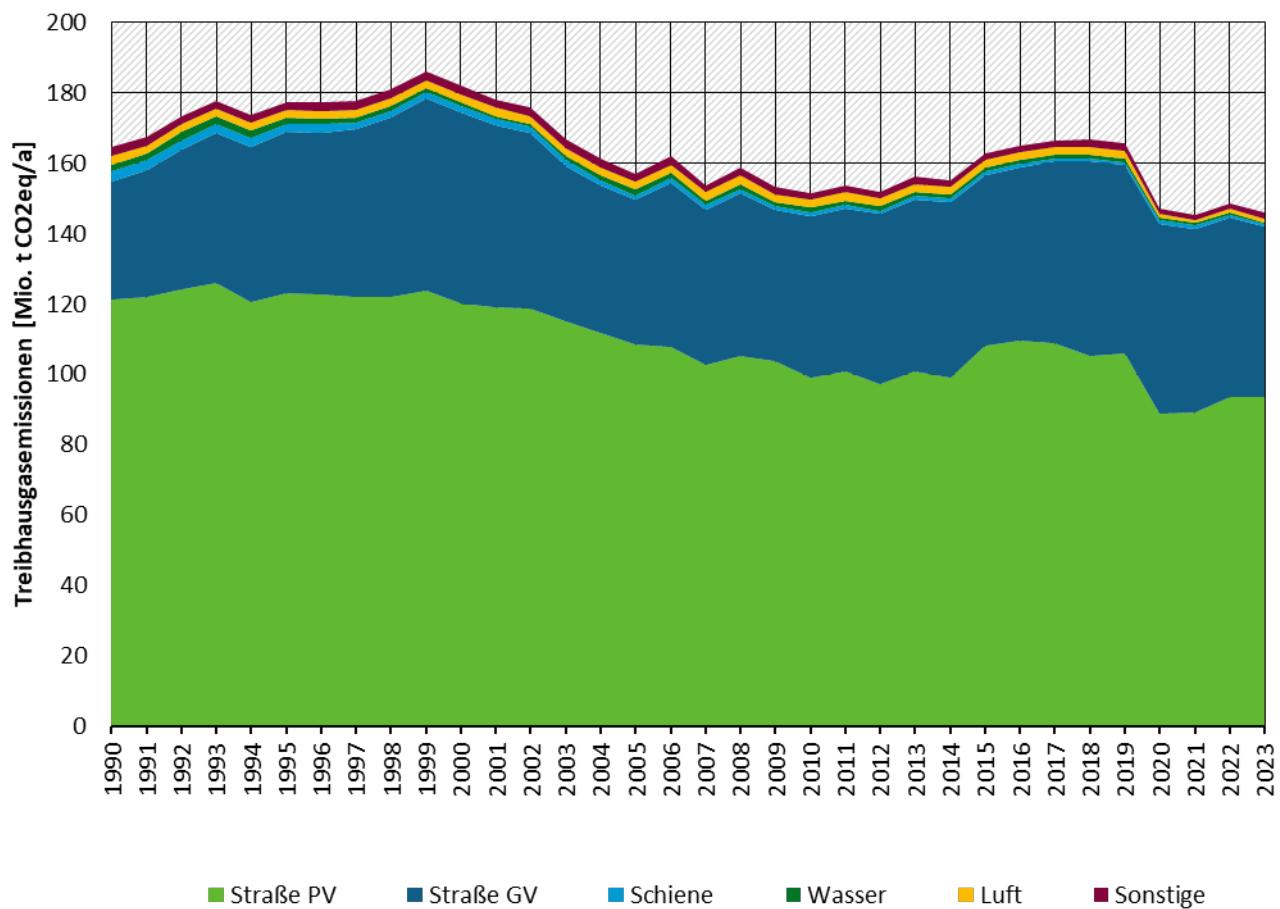
- ▶ Der Straßenverkehr hat über die gesamte Zeitreihe den größten Anteil an den Emissionen (94 % im Jahr 1990 bis 96 % Anteil im Jahr 2019 und 97 % im Jahr 2023). Insgesamt lagen die THG-Emissionen des Straßenverkehrs im Jahr 2019 um 3 % über dem Niveau von 1990 und 2023 um 8 % unter dem Niveau von 1990, während bei den THG-Gesamtemissionen in der TREMOD-Abgrenzung eine Steigerung um 35 % (2019) bzw. 22 % (2023) im selben Zeitraum berechnet wird (siehe Kapitel 2.7.1.4).
- ▶ Der Schienen-, Schiffs- und inländische Flugverkehr haben im nationalen Inventar nur einen geringen Anteil, der außerdem bei allen drei Verkehrsträgern seit 1990 abgenommen hat.

⁷ Emissionen aus „inländischen“ Fahrten mit Start und Ziel in einem deutschen Seehafen sind Teil der nationalen Gesamtemissionen. Dagegen werden die bei Fahrten ins Ausland anfallenden Emissionen nur nachrichtlich ausgewiesen (vgl. Flugverkehr).

⁸ Im Gegensatz dazu werden die CO₂-Emissionen aus der ungewollten Mitverbrennung in Nicht-Zweitaktern als Emissionen aus der Produktanwendung unter CRF-Kategorie 2.D.1 erfasst. Für Methan und Lachgas aus der gewollten wie ungewollten Schmierstoff-Mitverbrennung wird dagegen davon ausgegangen, dass diese bereits in den einzelnen Kraftstoff-spezifischen und auf Messungen beruhenden Emissionsfaktoren abgebildet sind.

In der Folge sind die Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland im nationalen Inventar von 1990 bis 2019 um 0,7 % gestiegen und bis 2023 um 11 % gesunken, während sie in der TREMOD-Abgrenzung um 42% bzw. bis 2023 um 27% angestiegen sind (siehe Kapitel 2.7.1.4). Die Unterschiede ergeben sich aus den bereits am Anfang des Kapitels genannten Gründen.

Abbildung 10: Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung bis 2023 in der Abgrenzung der Emissionsberichterstattung



Anmerkungen: Direkte Emissionen für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen in der Abgrenzung der Energiebilanz), Schiene (Eisenbahn in der Abgrenzung der Energiebilanz), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen in der Abgrenzung der Energiebilanz), Luft (Inlandsverkehr) und Sonstige (Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen und weitere Abgrenzungsdifferenzen zu TREMOD, v.a. bei der Schifffahrt).
Quelle: TREMOD 6.61 vom 15.09.2024; Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2022; Stand EU-Submission: 15.01.2024 (Umweltbundesamt 2024b); 2023 vorläufig

2.7.2 Ursachen für Änderungen gegenüber der Version 6.53

In diesem Kapitel werden wichtige Ergebnisse der TREMOD-Versionen 6.61 vom 30.09.2024 dargestellt, erläutert und der vorigen Version 6.53 vom 30.04.2024 (Allekotte et al. 2024a) gegenübergestellt. Im Fokus stehen hierbei die Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern sowie die Entwicklung der Stickstoffoxid- und Partikelemissionen bis zum Jahr 2023. Die Ergebnisse für das Jahr 2023 wurden in TREMOD 6.53 im Rahmen der VEdV 2023 im März 2024 erstellt und in TREMOD 6.61 für das Inventar 2023 aktualisiert (siehe Bericht zur Metho-

denentwicklung für die VEdV (Allekotte et al. 2023) und (Allekotte et al. 2024a)). Die wesentlichen Unterschiede zwischen VEdV 2023 und Inventar 2023 werden im nachfolgenden Kapitel 2.7.3 dargestellt.

2.7.2.1 Fahrleistungen Straßenverkehr

In TREMOD 6.61 haben sich die Fahrleistungen gegenüber TREMOD 6.53 nur geringfügig geändert (siehe Kapitel 2.2.2). Sie wurden ab 2021 an die Ergebnisse des aktuellen Verkehrsbarometers (BASt 2024) angepasst. Die größten Unterschiede gab es hierbei bei den motorisierten Zweirädern im Jahr 2023.

Tabelle 39: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – Fahrleistungen

Unterschied Gesamtfahrleistung nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2021	1,6%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,2%
2022	-0,5%	-0,3%	-3,0%	-1,0%	-2,4%	0,0%	-0,5%
2023	-0,7%	-0,3%	-14,3%	0,0%	-2,4%	0,1%	-0,5%

Quelle: TREMOD 6.53 vom 30.04.2024 und TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.7.2.2 Energieverbrauch Straßenverkehr

Der Energieverbrauch hat sich bei allen Fahrzeugkategorien nur minimal geändert. Wesentlicher Grund für die Änderungen ab 2021 ist die Anpassung der Fahrleistung (siehe voriges Kapitel) sowie – in 2023 – geringere Anteile an Elektrofahrzeugen im Bestand gegenüber der Bestandschätzung in TREMOD 6.53.

Die folgende Tabelle zeigt die Änderung des spezifischen Energieverbrauchs der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD Version 6.53 je Fahrzeugkategorie.

Tabelle 40: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – spezifischer Energieverbrauch

Unterschied spezifischer Energieverbrauch in MJ/km nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2021	-0,5%	-0,1%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,1%
2022	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,3%	0,0%	0,3%
2023	0,5%	0,4%	0,1%	0,1%	0,6%	-0,1%	0,6%

Quelle: TREMOD 6.53 vom 30.04.2024 und TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Der gesamte Energieverbrauch des Inlandsverkehrs ergibt sich aus dem Produkt der Fahrleistungen und der spezifischen Energieverbrauchswerte (Tabelle 41).

Tabelle 41: TREMOD-Version 6.61 – gesamter Energieverbrauch Inland

In PJ

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	1.945	1.400	21	55	62	381	25
1991	2.045	1.419	20	54	69	455	26
1992	2.098	1.453	20	54	76	467	28
1993	2.127	1.484	17	51	86	457	31
1994	2.185	1.480	18	50	97	503	37
1995	2.231	1.491	19	49	106	529	37
1996	2.260	1.496	20	49	113	543	38
1997	2.292	1.497	22	49	120	567	38
1998	2.332	1.516	23	49	127	580	38
1999	2.391	1.540	24	48	136	605	39
2000	2.395	1.533	24	48	143	609	37
2001	2.428	1.558	24	49	150	608	40
2002	2.444	1.573	25	49	151	607	40
2003	2.425	1.549	25	49	149	614	40
2004	2.457	1.578	25	50	147	617	40
2005	2.403	1.537	25	51	149	601	40
2006	2.425	1.543	25	52	152	633	21
2007	2.447	1.546	25	52	153	651	20
2008	2.413	1.527	24	53	151	640	18
2009	2.376	1.548	24	54	150	581	18
2010	2.394	1.548	23	54	150	600	18
2011	2.418	1.562	22	55	150	611	18
2012	2.397	1.552	22	55	151	600	18
2013	2.404	1.555	21	54	152	606	18
2014	2.445	1.574	21	55	161	617	18
2015	2.475	1.584	22	57	169	626	17
2016	2.510	1.598	22	59	177	638	17
2017	2.544	1.610	22	58	184	654	16
2018	2.561	1.608	22	58	190	668	16
2019	2.569	1.617	22	58	195	661	16
2020	2.274	1.371	22	38	184	645	14

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2021	2.311	1.381	20	41	196	658	14
2022	2.311	1.388	20	47	196	645	14
2023	2.284	1.398	18	50	193	611	14

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Die Änderung des Inlandsverbrauchs der TREMOD-Version 6.61 gegenüber der Version 6.53 ist in Tabelle 42 dargestellt.

Tabelle 42: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.43 – Energieverbrauch Inland

Unterschied gesamter Energieverbrauch in PJ nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	EV gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2021	1,11%	1,86%	0,00%	0,27%	0,00%	0,00%	-0,13%
2022	-0,38%	-0,25%	-2,89%	-0,97%	-2,05%	-0,01%	-0,28%
2023	-0,21%	0,13%	-14,1%	0,06%	-1,82%	-0,04%	0,15%

Quelle: TREMOD 6.53 vom 30.04.2024 und TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Die beiden folgenden Tabelle zeigen den Energieverbrauch nach Absatzprinzip (Grundlage der VEdV und des Inventars). In Tabelle 43 sind die neuen Absatzzahlen dargestellt, die sich in TREMOD 6.61 nach Revision der Energiebilanzen ergeben. Die nachfolgende Tabelle 44 zeigt die Änderungen gegenüber der Vorversion. Es ergeben sich Änderungen ab 2021. Wesentliche Ursachen sind im Jahr 2021 die Revision der Erdgasbilanz, im Jahr 2022 und 2023 die Aktualisierung der Energiebilanzen, überlagert von den Fahrleistungsänderungen und den dadurch verursachten Verschiebungen zwischen den Fahrzeugkategorien ab 2021.

Tabelle 43: TREMOD-Version 6.51 – gesamter Energieverbrauch Absatz

In PJ

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	2.066	1.521	22	54	68	375	26
1991	2.117	1.539	22	49	75	406	27
1992	2.198	1.566	21	52	82	447	29
1993	2.258	1.592	19	53	92	470	33
1994	2.209	1.524	18	48	100	482	36
1995	2.265	1.559	20	46	111	493	37
1996	2.267	1.559	21	44	117	487	37
1997	2.281	1.550	22	43	124	504	37
1998	2.327	1.547	23	46	130	545	38
1999	2.403	1.568	24	47	138	587	39

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2000	2.357	1.525	24	46	143	583	37
2001	2.314	1.520	24	43	146	543	37
2002	2.293	1.521	24	42	146	523	37
2003	2.178	1.486	24	36	143	455	34
2004	2.113	1.448	23	36	134	439	33
2005	2.095	1.427	23	37	139	435	34
2006	2.225	1.455	23	45	144	540	18
2007	2.133	1.394	22	43	138	520	16
2008	2.170	1.418	22	45	139	530	16
2009	2.094	1.401	21	45	135	476	15
2010	2.076	1.341	20	48	130	522	16
2011	2.098	1.368	19	47	132	517	15
2012	2.079	1.318	18	51	128	548	16
2013	2.125	1.364	18	49	133	545	16
2014	2.117	1.340	18	50	137	556	16
2015	2.213	1.462	20	47	156	514	14
2016	2.241	1.477	20	48	163	518	15
2017	2.263	1.464	20	48	167	549	14
2018	2.271	1.417	19	52	167	601	14
2019	2.254	1.427	19	50	172	571	14
2020	2.052	1.215	19	36	163	605	13
2021	2.023	1.223	17	35	174	562	12
2022	2.070	1.284	19	39	181	536	12
2023	2.046	1.293	17	41	179	504	12

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Tabelle 44: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – Energieverbrauch Absatz

Unterschied gesamter Energieverbrauch in PJ nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	EV gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2021	0,2%	0,2%	-1,7%	1,3%	-1,6%	0,8%	-0,3%
2022	0,3%	0,2%	-2,6%	0,6%	-1,6%	1,5%	0,5%
2023	-0,3%	0,0%	-14,0%	0,0%	-1,7%	-0,1%	0,1%

Quelle: TREMOD 6.53 vom 30.04.2024 und TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

2.7.2.3 Stickstoffoxidemissionen

Die spezifischen Stickstoffoxidemissionen sind im betrachteten Zeitraum bei allen Fahrzeugkategorien rückläufig. Allerdings wurden bei Pkw und LNF seit dem Jahr 2000 keine weiteren Fortschritte erzielt. Erst ab ca. 2015 sinken die Werte unter das Niveau der Vorjahre (Tabelle 45).

Tabelle 45: TREMOD-Version 6.61 – NO_x-Emissionsfaktoren

In g/km

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	2,230	1,485	0,145	14,412	2,119	11,925	3,093
1991	2,180	1,303	0,174	14,785	2,090	11,815	3,090
1992	2,064	1,178	0,203	15,121	2,066	11,733	3,063
1993	1,926	1,079	0,201	14,943	2,030	11,416	3,162
1994	1,918	1,012	0,207	14,513	1,872	11,615	3,472
1995	1,847	0,941	0,208	13,746	1,802	11,152	3,402
1996	1,756	0,872	0,207	13,027	1,760	10,578	3,301
1997	1,696	0,804	0,208	12,504	1,723	10,278	3,236
1998	1,620	0,739	0,209	12,125	1,671	10,004	3,171
1999	1,557	0,679	0,206	11,716	1,595	9,800	3,116
2000	1,484	0,616	0,199	11,425	1,514	9,552	2,962
2001	1,447	0,617	0,201	11,101	1,468	9,304	3,102
2002	1,399	0,613	0,199	10,717	1,466	8,914	3,038
2003	1,371	0,611	0,200	10,221	1,487	8,532	2,940
2004	1,348	0,624	0,198	10,108	1,522	8,268	2,932
2005	1,317	0,620	0,194	9,884	1,548	7,993	2,885
2006	1,300	0,620	0,195	9,561	1,571	7,587	4,163
2007	1,256	0,621	0,190	9,200	1,600	6,900	4,000
2008	1,172	0,615	0,183	8,714	1,636	5,978	3,826
2009	1,079	0,607	0,174	8,401	1,660	5,382	3,695
2010	1,049	0,599	0,169	7,940	1,673	5,000	3,520
2011	1,022	0,599	0,165	7,558	1,685	4,640	3,350
2012	0,990	0,597	0,160	6,920	1,679	4,355	3,217
2013	0,970	0,598	0,154	6,568	1,674	4,120	3,086
2014	0,939	0,599	0,150	6,219	1,658	3,727	2,953
2015	0,887	0,591	0,144	5,790	1,640	3,158	2,770

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2016	0,828	0,574	0,140	5,295	1,596	2,623	2,588
2017	0,765	0,549	0,136	4,689	1,484	2,204	2,288
2018	0,705	0,519	0,130	4,146	1,340	1,882	2,003
2019	0,632	0,471	0,124	3,724	1,205	1,618	1,767
2020	0,556	0,403	0,117	3,454	1,066	1,412	1,587
2021	0,515	0,374	0,111	3,042	0,975	1,264	1,521
2022	0,470	0,343	0,106	2,698	0,890	1,157	1,379
2023	0,428	0,319	0,101	2,446	0,811	1,009	1,263

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Tabelle 46 stellt die Unterschiede der Stickstoffoxidemissionsfaktoren der TREMOD-Version 6.61 gegenüber der Version 6.53 dar. Relevante Unterschiede gibt es nur im Jahr 2023. Hauptgrund sind die in der Version 6.53 mit dem Umschichtungsmodell berechneten Fahrzeugbestände, bei denen systematisch der Bestand der älteren Fahrzeuge mit sehr hohen spezifischen Emissionen unterschätzt wird, deren Anteil sich demnach im Realbestand regelmäßig als höher herausstellt als in der Modellierung⁹. Die Emissionen liegen dadurch bei der Berechnung des Inventars regelmäßig höher als bei der Szenarienrechnung für das gleiche Jahr in der Vorjahres schätzung. Dieser Effekt tritt auch bei den Partikelemissionen auf (siehe nachfolgendes Kapitel 2.7.2.4).

Tabelle 46: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – spezifische NO_x-Emissionsfaktoren

Unterschied spezifische NO_x-Emissionen in g/km nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2021	-0,47%	-0,07%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%	0,04%
2022	0,00%	0,06%	0,30%	-0,28%	0,39%	-0,01%	0,20%
2023	4,53%	6,09%	1,02%	3,26%	2,23%	1,59%	3,13%

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024 und TREMOD 6.53 vom 30.04.2024

Tabelle 47 zeigt die mit TREMOD Version 6.61 berechneten gesamten Stickstoffoxidemissionen. Die Stickstoffoxidemissionen gehen im betrachteten Zeitraum deutlich zurück. Allerdings ist der Rückgang bei den Pkw durch den zunehmenden Anteil der Diesel-Pkw seit dem Jahr 2000 bis 2014 gestoppt worden. Erst danach gingen sie weiter zurück.

Tabelle 47: TREMOD-Version 6.61 – NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im Inland

In kt

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	1.256	725	2	60	30	422	15

⁹ Eine Aktualisierung der Bestandsumschichtung ist geplant

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1991	1.260	647	2	60	33	502	16
1992	1.223	601	3	60	35	507	17
1993	1.165	563	2	58	38	484	20
1994	1.175	530	2	56	40	523	24
1995	1.155	500	3	54	42	533	24
1996	1.112	467	3	51	44	525	23
1997	1.086	432	3	50	45	533	23
1998	1.059	405	3	48	46	533	23
1999	1.044	379	3	47	48	544	23
2000	1.001	345	3	46	48	537	21
2001	995	352	3	45	49	521	23
2002	976	355	3	44	51	500	23
2003	949	351	3	42	52	479	22
2004	951	366	3	42	54	463	23
2005	912	356	3	41	56	434	22
2006	906	360	3	40	58	433	13
2007	884	363	3	38	61	407	12
2008	821	357	3	37	63	351	11
2009	763	359	3	35	64	291	11
2010	748	357	3	34	66	279	10
2011	740	362	2	32	67	267	10
2012	718	362	2	30	67	247	9
2013	709	366	2	28	68	236	9
2014	701	373	2	27	71	219	8
2015	671	373	2	26	74	189	8
2016	636	366	2	24	76	161	7
2017	595	353	2	21	74	139	6
2018	550	333	2	19	70	121	5
2019	495	304	2	17	65	103	5
2020	379	221	2	10	54	88	4
2021	357	208	1	10	53	81	4
2022	329	192	1	10	49	73	3

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2023	302	182	1	10	45	61	3

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Tabelle 48 zeigt die Differenz der Stickstoffoxidedmissionen der Version 6.61 gegenüber der Version 6.53. Die Unterschiede sind ähnlich wie bei den spezifischen Stickstoffoxidedmissionen.

Tabelle 48: Vergleich der TREMOD-Version 6.51 gegenüber TREMOD 6.43 –NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im Inland

Unterschied gesamte Emissionen in kt nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2021	1,09%	1,89%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%	-0,19%
2022	-0,49%	-0,22%	-2,74%	-1,23%	-1,98%	-0,01%	-0,36%
2023	3,82%	5,83%	-13,4%	3,26%	-0,21%	1,66%	2,62%

Quelle TREMOD 6.61 vom 30.09.2024 und TREMOD 6.53 vom 30.04.2024

2.7.2.4 Abgas-Partikelemissionen

Die spezifischen Abgas-Partikelemissionen gehen über den gesamten Zeitraum aufgrund der mit der Abgasgesetzgebung verbundenen Verwendung von effizienten Partikelfiltern bei fast allen modernen Fahrzeugkonzepten mit Dieselmotor deutlich zurück. Tabelle 49 zeigt die Entwicklung der spezifischen Emissionen im betrachteten Zeitraum für alle Fahrzeugkategorien.

Tabelle 49: TREMOD-Version 6.61 – Abgas-Partikel-Emissionsfaktoren

In g/km

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	0,088	0,031	0,136	0,953	0,183	0,675	0,393
1991	0,091	0,031	0,113	0,928	0,201	0,625	0,390
1992	0,089	0,032	0,090	0,915	0,217	0,602	0,392
1993	0,086	0,032	0,093	0,846	0,239	0,571	0,387
1994	0,088	0,033	0,087	0,777	0,267	0,554	0,350
1995	0,086	0,032	0,084	0,718	0,262	0,513	0,334
1996	0,079	0,031	0,083	0,641	0,245	0,436	0,307
1997	0,074	0,030	0,079	0,586	0,234	0,388	0,289
1998	0,069	0,028	0,077	0,537	0,224	0,346	0,274
1999	0,066	0,028	0,077	0,486	0,211	0,309	0,260
2000	0,063	0,028	0,075	0,443	0,201	0,276	0,248
2001	0,059	0,027	0,071	0,408	0,192	0,252	0,250
2002	0,056	0,026	0,072	0,365	0,180	0,229	0,236

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2003	0,053	0,025	0,070	0,330	0,168	0,213	0,222
2004	0,051	0,025	0,072	0,304	0,160	0,201	0,215
2005	0,049	0,025	0,073	0,282	0,158	0,191	0,211
2006	0,046	0,023	0,073	0,254	0,154	0,177	0,202
2007	0,042	0,021	0,074	0,229	0,140	0,155	0,183
2008	0,036	0,018	0,076	0,196	0,122	0,125	0,160
2009	0,031	0,016	0,080	0,178	0,111	0,106	0,150
2010	0,028	0,014	0,079	0,155	0,101	0,093	0,136
2011	0,025	0,013	0,079	0,138	0,090	0,081	0,123
2012	0,022	0,011	0,078	0,107	0,079	0,072	0,113
2013	0,020	0,010	0,079	0,095	0,067	0,065	0,102
2014	0,017	0,009	0,078	0,086	0,057	0,056	0,093
2015	0,015	0,008	0,078	0,078	0,049	0,047	0,083
2016	0,014	0,007	0,077	0,070	0,041	0,039	0,075
2017	0,012	0,006	0,076	0,061	0,035	0,033	0,066
2018	0,011	0,005	0,076	0,052	0,030	0,028	0,058
2019	0,009	0,005	0,076	0,046	0,026	0,024	0,051
2020	0,009	0,004	0,077	0,039	0,024	0,021	0,045
2021	0,008	0,004	0,076	0,034	0,023	0,018	0,042
2022	0,008	0,003	0,075	0,032	0,023	0,016	0,038
2023	0,007	0,003	0,074	0,030	0,023	0,014	0,035

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Im Vergleich mit der Version 6.53 gibt es nur geringe Unterschiede. Die Gründe sind die gleichen wie bei den Stickstoffoxidemissionen. Tabelle 50 zeigt die Unterschiede.

Tabelle 50: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 – spezifische Abgas-Partikel-Emissionsfaktoren

Unterschied Emissionsfaktoren in g/km nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2021	-1,0%	-0,4%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
2022	-0,6%	0,1%	-0,3%	0,8%	0,8%	0,0%	0,1%
2023	1,1%	7,8%	-0,2%	13,4%	3,2%	3,1%	2,0%

TREMOD 6.61 vom 30.09.2024 und TREMOD 6.53 vom 30.04.2024

Die Abgas-Partikelemissionen gehen über den gesamten Zeitraum entsprechend den Verbesserungen bei den spezifischen Emissionen zurück. Tabelle 51 zeigt die Entwicklung für den betrachteten Zeitraum für die verschiedenen Fahrzeugkategorien.

Tabelle 51: TREMOD-Version 6.61 –Abgas-Partikel-Emissionen des Straßenverkehrs im Inland

In kt

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990	49,8	15,2	2,1	4,0	2,6	23,9	1,9
1991	52,7	15,6	1,6	3,8	3,1	26,5	2,1
1992	52,9	16,2	1,1	3,7	3,7	26,0	2,2
1993	52,3	16,8	1,1	3,3	4,5	24,2	2,4
1994	54,1	17,0	1,0	3,0	5,7	24,9	2,4
1995	54,0	17,2	1,0	2,8	6,1	24,5	2,3
1996	50,1	16,6	1,1	2,5	6,1	21,7	2,2
1997	47,7	16,0	1,1	2,3	6,1	20,1	2,1
1998	45,3	15,4	1,1	2,1	6,2	18,5	2,0
1999	44,0	15,5	1,1	1,9	6,3	17,1	1,9
2000	42,3	15,7	1,1	1,8	6,4	15,5	1,8
2001	40,7	15,5	1,1	1,7	6,5	14,1	1,9
2002	38,8	15,3	1,1	1,5	6,3	12,8	1,8
2003	36,6	14,6	1,1	1,4	5,9	11,9	1,7
2004	35,9	14,9	1,1	1,3	5,7	11,3	1,7
2005	34,2	14,2	1,1	1,2	5,7	10,4	1,6
2006	32,0	13,5	1,1	1,1	5,6	10,1	0,6
2007	29,4	12,3	1,2	1,0	5,3	9,1	0,6
2008	25,1	10,6	1,2	0,8	4,7	7,3	0,5
2009	22,1	9,6	1,3	0,8	4,3	5,8	0,4
2010	20,0	8,6	1,2	0,7	4,0	5,2	0,4
2011	18,1	7,7	1,2	0,6	3,6	4,7	0,3
2012	16,0	6,8	1,1	0,5	3,2	4,1	0,3
2013	14,4	6,1	1,1	0,4	2,7	3,7	0,3
2014	13,0	5,5	1,1	0,4	2,5	3,3	0,3
2015	11,7	5,0	1,1	0,3	2,2	2,8	0,2
2016	10,4	4,4	1,1	0,3	2,0	2,4	0,2
2017	9,2	3,9	1,1	0,3	1,7	2,1	0,2

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2018	8,2	3,4	1,1	0,2	1,5	1,8	0,2
2019	7,4	3,0	1,1	0,2	1,4	1,6	0,1
2020	6,1	2,2	1,1	0,1	1,2	1,3	0,1
2021	5,7	2,0	1,0	0,1	1,3	1,2	0,1
2022	5,5	1,9	1,1	0,1	1,3	1,0	0,1
2023	5,1	1,8	0,9	0,1	1,3	0,9	0,1

Quelle: TREMOD 6.61 vom 30.09.2024

Bei den gesamten Abgas-Partikelemissionen überlagern sich die Unterschiede der Emissionsfaktoren mit den Unterschieden bei den Fahrleistungen (Tabelle 52).

Tabelle 52: Vergleich der TREMOD-Version 6.61 gegenüber TREMOD 6.53 –Abgas-Partikel-Emissionen des Straßenverkehrs im Inland

Unterschied gesamte Emissionen nach Fahrzeugkategorien und gesamt in Prozent

Jahr	Gesamt	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
1990-2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2021	0,6%	1,6%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	-0,2%
2022	-1,1%	-0,2%	-3,3%	-0,1%	-1,6%	0,0%	-0,4%
2023	0,4%	7,5%	-14,4%	13,4%	0,7%	3,2%	1,5%

TREMOD 6.61 vom 30.09.2024 und TREMOD 6.53 vom 30.04.2024

2.7.3 Vergleich der VEdV mit dem Inventar 2023

In diesem Kapitel werden die Unterschiede der Eingangsdaten und Ergebnisse des THG-Inventars des Verkehrs im Jahr 2023 (TREMOD 6.61) und der am Jahresanfang verwendeten Eingangsdaten und der daraus resultierenden Ergebnisse der VEdV 2023 (TREMOD 6.53) vertieft betrachtet. Diese Analyse hilft bei der Bewertung der Unsicherheit der VEdV und deren Ursachen.

2.7.3.1 Entwicklung der Absatzzahlen und der Aufteilung in die Quellkategorien für das Jahr 2023

In diesem Abschnitt werden die Absatzzahlen des Jahres 2023, die am Jahresanfang 2024 für die VEdV und zur Jahresmitte 2024 für das Inventar verwendet wurden, gegenübergestellt. Diese stammen aus den folgenden Quellen:

- ▶ VEdV 2023: AMS, vor-vorläufige Daten vom 28.02.2024 sowie eigene Annahmen zur Aufteilung in die Kategorien, abgeschlossen am 07.03.2024 (Allekotte et al. 2024a).
- ▶ Inventar 2023: TREMOD-Ergebnisse auf Grundlage der vorläufigen Energiebilanz 2023 vom 30.08.2024 und der AMS (fast endgültige Daten, Dezember 2023: internes PDF vom 20.08.24)
- ▶ Die nachfolgende Tabelle 53 stellt die Ergebnisse für den Dieselabsatz dar. Die Biokraftstoffe sind hier nicht enthalten, da diese bei der AG Energiebilanzen nicht differenziert ausgegeben werden.

Tabelle 53: Dieselkraftstoffabsatz im Jahr 2023 nach Kategorien in den VEdV und im Inventar ohne Bioanteile (physikalische Einheiten)

Dieselkraftstoff konv. (TJ)	EBZ	VEdV 2023	Inventar 2023	Inventar vs. VEdV
Bergbau, Steine u. Erden, Verarbeit. Gew.	60	802	937	16,8%
Schienenverkehr	61	9.897	10.039	1,4%
Straßenverkehr	62	1.198.960	1.195.950	-0,3%
Luftverkehr	63		0	
Küsten- und Binnenschifffahrt	64	9.328	9.887	6,0%
Verkehr insgesamt	65	1.218.185	1.215.876	-0,2%
Haushalte	66			
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	67	102.623	101.133	-1,5%
Summe (ohne EBZ 60)		1.320.808	1.317.009	-0,3%

Quellen: VEdV 2023 vom 07.03.2024 (Allekotte et al. 2024a); Inventar 2023: AG Energiebilanzen, Vorläufige Energiebilanz vom 30.08.2024

Folgende Ergebnisse lassen sich festhalten:

- Der fossile Dieselabsatz lag nach der vorläufigen Energiebilanz 2023 um 0,3 % niedriger als bei den VEdV.
- Es zeigt sich, dass die größte Unsicherheit bei den VEdV in der Zuordnung auf die Quellkategorien liegt, insbesondere auf Schienenverkehr und Schifffahrt.
- Die nachfolgende Tabelle 54 zeigt die Ergebnisse für den Benzinabsatz, ebenfalls ohne Biokraftstoffe.

Tabelle 54: Benzinabsatz im Jahr 2023 nach Quellkategorien in den VEdV und im Inventar ohne Bioanteile (physikalische Einheiten)

Benzin konv.(TJ)	EBZ	VEdV 2023	Inventar 2023	Inventar vs. VEdV
Bergbau, Steine u. Erden, Verarbeit. Gew.	60			
Schienenverkehr	61			
Straßenverkehr	62	691.357	691.899	+0,1%
Luftverkehr	63			
Küsten- und Binnenschifffahrt	64	261	276	
Verkehr insgesamt	65	691.619	692.175	+0,1%
Haushalte	66	3.234	3.364	+4,0%
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	67	10.760	10.769	+0,1%
Summe (ohne EBZ 60)		705.613	706.308	+0,1%

Quellen: Quellen: VEdV 2023 vom 07.03.2024 (Allekotte et al. 2024a); Inventar 2023: AG Energiebilanzen, Vorläufige Energiebilanz vom 30.08.2024

Beim Benzinabsatz ist eine geringe Zunahme der Gesamtmengen im Inventar für 2023 gegenüber den VEdV 2023 festzustellen: +0,1 %. Deutlichere Unterschiede gab es auch beim Benzin zwischen den Quellkategorien.

Die nachfolgende Tabelle 55 zeigt schließlich die Absatzzahlen der Biokraftstoffe, die der VEdV 2023 und dem Inventar für 2023 zugrunde gelegt wurden. Die Entwicklung der Gesamtmengen reflektiert in diesem Fall die Unterschiede der AMS vorläufig (Stand: Februar 2024) und der aktualisierten AMS (Stand: August 2024). Die Aufteilung in die Kategorien folgt in Anlehnung auf die Aufteilung der konventionellen Kraftstoffe.

Tabelle 55: Absatz Biokraftstoffe im Jahr 2023 nach Quellkategorien (VEdV und Inventar)

Absatz in TJ	EBZ	VEdV 2023	Inventar 2023	Inventar vs. VEdV
Biodiesel				
Schienenverkehr	61	735	744	+1,2%
Straßenverkehr	62	89.063	88.638	-0,5%
Verkehr insgesamt	65	89.798	89.382	-0,5%
Haushalte	66			
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	67	7.623	7.565	-0,8%
Summe (ohne EBZ 60)		97.421	96.947	-0,5%
Bioethanol				
Straßenverkehr	62	32.558	32.683	+0,4%
Küsten- und Binnenschifffahrt	64	12	13	+5,8%
Verkehr insgesamt	65	32.571	32.696	+0,4%
Haushalte	66	152	159	+4,3%
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	67	507	504	-0,6%
Summe (ohne EBZ 60)		33.230	33.205	-0,1%

Quellen: Quellen: VEdV 2023 vom 07.03.2024 (Allekotte et al. 2024a); Inventar 2023: AG Energiebilanzen, Vorläufige Energiebilanz vom 30.08.2024, AMS: Fast endgültige Daten, Dezember 2023 (internes PDF vom 20.08.24)

2.7.3.2 THG-Emissionen des Verkehrs 2023 in den VEdV und im Inventar

Die Ergebnisse des Treibhausgasinventars für den Gesamtverkehr im Vergleich zu den VEdV sind in Tabelle 56 dargestellt. Insgesamt sind die THG-Emissionen im Inventar um 0,3% niedriger als in den VEdV. Hauptursache ist der geringere Verbrauch an Diesel, den die vorläufige Energiebilanz 2023 der AG Energiebilanzen gegenüber den Werten der AMS (Stand Februar 2024) für 2023 aufweist und die den geringfügig höheren Benzinverbrauch überkompensiert. Der stärkere Unterschied der Sektoren Bahn und Schifffahrt und im Flugverkehr haben wenig Einfluss auf die Differenz der Gesamtbilanz.

Tabelle 56: THG-Emissionen des Verkehrs 2023 in den VEdV und im Inventar

Kategorie	2022 Inventar	2023 VEdV	2023 Inventar	Inventar vs. VEdV
4 – Verkehr	147.691	145.520	145.131	-0,3%
CRF 1.A.3.a - nationaler Luftverkehr	1.043	1.125	1.094	-2,8%
CRF 1.A.3.b – Straßenverkehr	144.479	142.266	141.863	-0,3%
CRF 1.A.3.c – Schienenverkehr	812	768	779	+1,4%
CRF 1.A.3.d - Küsten- & Binnenschifffahrt	1.357	1.360	1.396	+2,6%

Quellen: 2022 Inventar und 2023 VEdV: (Umweltbundesamt 2024c), 2023 Inventar: (Umweltbundesamt 2025a)

3 Vorläufige Emissionsdaten des Vorjahrs (VEdV 2024)

In diesem Kapitel wird das Vorgehen zur Ermittlung der VEdV 2024 beschrieben, die nach KSG bis zum 15. März 2025 berichtet werden müssen (Umweltbundesamt 2025b). Es folgt der Methode, die im Rahmen der Studie (Allekotte et al. 2023) entwickelt wurde. Basis der Berichterstattung der Treibhausgasemissionen (THG) in den VEdV nach KSG sind die „Amtlichen Mineralöldaten“ (AMS), die vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA o.J.) herausgegeben werden, da die Energiebilanz, die die Grundlage des Emissionsinventars ist (siehe Kapitel 2.6), zu diesem frühen Zeitpunkt noch nicht vorliegt. 2025 wurde die Jahresstatistik 2024 der AMS von der BAFA vorab intern zur Verfügung gestellt, eine Veröffentlichung vor dem 15. März erfolgte nicht.

Die amtlichen Mineralöldaten liefern, anders als die Energiebilanz, keine vollständige sektorale Aufteilung, weswegen die Kraftstoffabsätze für die einzelnen Verkehrsarten und andere Quellkategorien mittels verschiedener Kennzahlen abgeschätzt werden müssen. Da der Straßenverkehr der Sektor mit dem weitaus größten Anteil am Verbrauch von Benzin und Diesel ist, werden zunächst die Mengen ermittelt, die auf die übrigen Sektoren entfallen. Der Energieverbrauch des Straßenverkehrs ergibt sich dann als Differenz aus dem Gesamtabsatz je Energieträger und den Summen aus den übrigen Sektoren.

3.1 Mobile Quellen in den Kategorien Haushalte, Bauwirtschaft, Landwirtschaft, GHD und Militär

Für die nationalen Emissionsinventare werden die Endenergieverbräuche für die Haushalte, GHD und Militär aus der Energiebilanz (AG Energiebilanzen o.J.), genauer: Energiebilanzzeilen (EBZ) 66 – *Haushalte* und 67 - *Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher* entnommen.

EBZ 67 beinhaltet dabei neben den an das Militär abgesetzten (und in den AMS separat ausgewiesenen) Mengen auch die Land- (1.A.4.c ii (i)), Forst- (1.A.4.c ii (ii)) und Bauwirtschaft (1.A.2.g vii) sowie GHD (1.A.4.a ii). Die Aufteilung in diese Untergruppen erfolgt bisher proportional zum u.a. auf Basis von Bestandsdaten und jährlichen Betriebsstunden berechneten Energieverbrauch im Modell TREMOD-MM.

Sowohl die Energiebilanz als auch aktuelle Eingangsdaten für TREMOD-MM liegen für die Vorjahreschätzung nicht rechtzeitig vor. Jedoch existieren zu diesem Zeitpunkt bereits verschiedene Struktur- und Konjunkturdaten für einzelne Kategorien. Für die VEdV 2024 wurden folgende Daten untersucht:

Tabelle 57: Statistische Kenndaten zur Entwicklung der Kategorien Bau-, Land- und Forstwirtschaft

Kategorie	Kenngroße	Einheit	2023	2024	2024/2023	Zeitraum
Bauwirtschaft	Auftragseingang Hoch+Tiefbau	Volumen-index (2015=100)	91,7	90,8	-1,0%	Jan-Dez
	Arbeitsstunden Bauhauptgewerbe	Mio. Stunden	617,5	613,6	-0,6%	Jan-Dez
Landwirtschaft	Anbaufläche	Mio. ha	9,9	9,6	-3,1%	Jan-Dez
	Ertragsmengen	Mio. t	174,1	182,9	+5,1%	Jan-Dez

Kategorie	Kenngroße	Einheit	2023	2024	2024/2023	Zeitraum
Forstwirtschaft	Holzeinschlag gesamt	Mio. m ³	70,6		n.a.	Jan-Dez

Quelle: ifeu-Berechnungen auf Basis von: DESTATIS Genesis online Tab. 44111-0011, Tab. 44111-0004; Tab. 42111-0002, und (DESTATIS 2025)

In der Bauwirtschaft zeigt sich ein leichter Rückgang im Jahr 2024 gemessen am Auftragseingang und den Arbeitsstunden. Analog zur Vorgehensweise in (Allekotte et al. 2023) wird eine Regressionsfunktion verwendet, wonach aufgrund der Auftragsentwicklung für das Jahr 2024 der Dieselverbrauch im Jahr 2024 um ca. 0,5% gegenüber 2023 sinkt.

In der Landwirtschaft gibt es gegenläufige Entwicklungen bei den Erntemengen und der Anbaufläche. Hier wurde eine Regressionsfunktion zwischen dem Dieselverbrauch der Landwirtschaft gemäß AG Energiebilanzen¹⁰ und dem landwirtschaftlichen Ernteertrag gebildet. Fortgeschrieben mit der Ertragsentwicklung für das Jahr 2024 steigt der Dieselverbrauch im Jahr 2024 um ca. 1% gegenüber 2023.

Für die Bereiche GHD und Haushalte wurden keine aktuellen oder keine geeigneten Statistiken ausgemacht. Diese Verbraucher haben allerdings nur einen sehr geringen Anteil an den Kraftstoffabsätzen. Daher wurden die Energieeinsätze aus dem Inventar des Jahres 2023 übernommen.

Die Kraftstoffmengen für das Militär werden hingegen in den Amtlichen Mineralöldaten direkt ausgewiesen und können übernommen werden.

3.2 Flugverkehr

Für die nationalen Emissionsinventare werden die Endenergieverbräuche des Flugverkehrs aus der Energiebilanz (AG Energiebilanzen o.J.), Energiebilanzzeile (EBZ) 63 – *Luftverkehr* entnommen. Die „Amtlichen Mineralöldaten“ liefern diese Werte bereits Ende Februar als vorläufige Werte, die für die VEdV verwendet werden können. Da im Inventar und in den VEdV nur die Emissionen des zivilen nationalen Luftverkehrs (1.A.3.a) bilanziert werden, muss der nationale Anteil des Energieverbrauchs ermittelt werden.

Die Berechnung der Emissionen folgt der gleichen Logik wie beim Inventar (siehe Kapitel 2.5.2). Allerdings wurde bei der diesjährigen VEdV mit einer umfassend erneuerten Version von TREMOD-AV gerechnet. Diese unterscheidet sich geringfügig bezüglich der Berechnung der Flugzeug-km und der Taxi-Zeiten. Beide Unterschiede führen allerdings nur zu geringfügigen Abweichungen bei den Gesamtemissionen (<1 %) verglichen zu der im Inventar verwendeten TREMOD-Version. Weiterführende Informationen zu den Anpassungen an TREMOD-AV siehe (Allekotte et al. 2024b). Das Vorgehen bei der VEdV ist wie folgt:

Da DESTATIS die **Sonderauswertung** für den gewerblichen Flugverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen bereits Ende Februar liefern kann, kann die Berechnung in den VEdV identisch zu den nationalen Emissionsinventaren erfolgen.

Ausgenommen hiervon ist der sonstige Flugverkehr, dessen Verkehrsmengen nicht rechtzeitig über die **Genesis-Datenbank** abgerufen werden können. Der sonstige Flugverkehr wird für die VEdV konstant auf dem Niveau des Vorjahres angenommen, aber da der sonstige Flugverkehr

¹⁰ siehe Auswertungstabellen der AG Energiebilanzen, welche sich auf Erhebungen im Rahmen der Energiesteuerentlastung für Agrardiesel stützen

bzgl. der THG-Emissionen keine hohe Relevanz hat, sind die Abweichungen zwischen den nationalen Emissionsinventaren und den VEdV sehr gering.

Die Verbrauchs- und Emissionsfaktoren, die über den **Master emission calculator** und anderen Quellen, wie die *Aircraft Engine Emissions Databank* und die *FOCA Datenbanken*, stehen auch für die VEdV zur Verfügung, sodass hier i. d. R. keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Datenverfügbarkeit bei den VEdV und den nationalen Emissionsinventaren vorliegen.

Wie beim Inventar werden mit TREMOD-AV die Verbrauchsmengen und Emissionen für den Flugverkehr differenziert für den nationalen und den abgehenden internationalen Flugverkehr berechnet. Die Ergebnisse für den nationalen Flugverkehr werden direkt in die VEdV übernommen. Die Differenz aus dem Gesamtabsatz und Verbrauch nationaler Flüge und die daraus berechneten THG-Emissionen werden im Inventar nachrichtlich als Internationaler ziviler Luftverkehr berichtet.

In der folgenden Tabelle werden die Verkehrsmengen des gewerblichen Flugverkehrs auf den Hauptverkehrsflughäfen für die Jahre 2023 und 2024 angegeben. Durch die Corona-Pandemie kam es 2020 zu einem starken Einbruch des nationalen und internationalen Flugverkehrs. Im Jahr 2021 verringerte sich der nationale Flugverkehr weiter, wogegen der internationale Flugverkehr wieder stieg. Der Güterverkehr (GV) war hingegen kaum von der Pandemie betroffen. In den Jahren 2022 und 2023 stiegen sowohl im nationalen als auch im internationalen Personenverkehr (PV) die Verkehrsleistungen erneut an. Im Jahr 2024 stieg der nationale Flugverkehr ggü. 2023 um 3,6 % und der internationale Flugverkehr um 8,3 % an. Während der internationale Personenverkehr fast wieder das Niveau von 2019 erreicht hat (-6 %), lag der nationale Personenverkehr weiterhin deutlich unter dem Wert von 2019 (-50 %). Die Verkehrsleistungen im Güterverkehr gingen im Jahr 2024 zurück.

Tabelle 58: Starts, Flugzeug-km und Verkehrsleistung des gewerblichen Flugverkehrs auf den Hauptverkehrsflughäfen 2023 und 2024

		2023	2024	Änderung 2024/2023
Anzahl Starts	National	172,0	164,5	-4,4%
[1.000 Starts]	International	665,6	701,5	5,4%
Flugzeug-km ¹	National	55,6	54,3	-2,4%
[Mio. km]	International	1.301,7	1.371,0	5,3%
Verkehrsleistung PV	National	4,9	5,0	3,6%
[Mrd. Pkm]	International	210,6	228,0	8,3%
Verkehrsleistung GV	National	45,5	42,2	-7,1%
[Mio. tkm]	International	12.577,1	12.392,2	-1,5%

Quellen: DESTATIS-Sonderauswertung. ¹Distanz nach Großkreisentfernung.

3.3 Nationaler Schiffsverkehr

Die THG-Emissionen des nationalen Schiffsverkehrs (1.A.3.d) werden auf Basis der in den Energiebilanzzeilen (EBZ) 6 – *Hochseebunkerungen* und 64 – *Küsten- und Binnenschifffahrt* erfassten Kraftstoff-Inlandsablieferungen ermittelt.

Die auf den nationalen Seeverkehr, also Fahrten zwischen deutschen Seehäfen, entfallenden Teilmengen werden dabei als spezifische Verbräuche am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie modelliert. Die Berechnung der THG-Emissionen erfolgt hier also verbrauchsbasiert.

Die THG-Emissionen der Binnenschifffahrt werden dagegen auf Basis der in EBZ 64 ausgewiesenen Energiemengen berechnet.

Die sich nach Abzug der für nationale Seeverkehre ermittelten Energiemengen von den in EBZ 6 erfassten Gesamtmengen ergebenden Restmengen werden anschließend vollständig den von deutschen Seehäfen abgehenden *internationalen* Seeverkehren zugewiesen, deren Emissionen jedoch nicht Teil des deutschen Treibhausgas-Inventares sind.

Zum Zeitpunkt der Erstellung der VEdV liegt die Energiebilanz für das Vorjahr noch nicht vor. Deshalb wurde wie folgt vorgegangen:

Binnenschifffahrt:

Für die Fortschreibung des Energieverbrauchs der *Fahrgastschifffahrt* lagen keine Daten für das Jahr 2024 vor. Daher wird angenommen, dass sich der Dieselverbrauch nicht ändert. Für die *Güterschifffahrt* nahmen die Verkehrsleistungen im Zeitraum Januar bis November um ca. 5 % gegenüber 2023 zu (Destatis o.J.). Diese Zunahme wurde vereinfacht auch auf den Dieselverbrauch der Güterschifffahrt übernommen. In Summe ergibt sich für die nationale Binnenschifffahrt eine Zunahme des Dieselverbrauchs um 4% im Jahr 2024 gegenüber 2023.

Nationaler Seeverkehr:

Für den nationalen Seeverkehr wurden keine eigenen Analysen durchgeführt, da dessen Verbräuche für die nationalen Emissionsinventare vom BSH ermittelt werden. Laut Angaben des BSH gab es zum Zeitraum der VEdV keine aktuellen Informationen, weshalb die Verbrauchswerte für 2024 aus 2023 übernommen wurden.

3.4 Schienenverkehr

Die THG-Emissionen des Schienenverkehrs (1.A.3.c) stützen sich in den nationalen Emissionsinventaren auf die in EBZ 61 – *Schienenverkehr* auf die für den Einsatz von Dieselkraftstoff ausgewiesenen Energiemengen.¹¹ Da die Energiebilanz für die VEdV noch nicht vorliegt, wird der Kraftstoffverbrauch aus der Ende Februar 2025 bekannten Verkehrsentwicklung abgeschätzt:

- ▶ Güterverkehr: Leichter Rückgang der Verkehrsleistung um 0,7%
<https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/url/89ba9986>
abgerufen am 11.03.2025
- ▶ Personenfernverkehr: Rückgang der Verkehrsleistung um -2,5% in Quartal 1-3 2024 ggü. 2023
<https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/46181/table/46181-0005>
abgerufen am 04.03.2025
- ▶ Personennahverkehr: Anstieg der Verkehrsleistung um 14,8% in Quartal 1-3 2024 ggü. 2023
<https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/46181/table/46181-0005>
abgerufen am 04.03.2025

¹¹ Emissionen aus der Erzeugung von Bahnstrom werden dagegen der Energiewirtschaft (1.A.1) zugerechnet.

- Schätzung Dieselverbrauch: -4% (2024 ggü. 2023):
beim Personennahverkehr wird angenommen, dass die VL-Zunahme weitgehend durch Erhöhung der Auslastung erreicht wurde und der Traktionswandel von Diesel zu Elektro bei allen Verkehrsbereichen weiter fortschreitet.

3.5 Straßenverkehr

3.5.1 Vorgehen

Die THG-Emissionen des Straßenverkehrs (1.A.3.b) stützen sich in den nationalen Emissionsinventaren auf die in EBZ 62 – *Straßenverkehr* ausgewiesenen Energiemengen (Ottokraftstoffe, Dieselkraftstoffe und Flüssiggas). In den VEdV werden die Energiemengen als Differenz zwischen dem Gesamtabsatz nach der Amtlichen Mineralölstatistik und dem Verbrauch aller übrigen Sektoren abgeleitet. Der Verbrauch für Erdgas und Biogas im Straßenverkehr wird aus vorläufigen Daten der AG Energiebilanzen ermittelt.

Für die VEdV wird eine differenzierte Berechnung mit TREMOD analog dem Vorgehen beim Inventar (siehe Kapitel 2.2) durchgeführt. Da verschiedene Daten zu diesem frühen Zeitpunkt noch nicht vorliegen, müssen verschiedene Daten mit Modellrechnungen oder Schätzungen ergänzt werden. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Datengrundlagen und das Vorgehen für die VEdV 2024.

3.5.2 Neuzulassungen und Bestand

Für die VEdV 2024 lag die Sonderauswertung der Neuzulassungen 2024 des KBA vor. Die Fahrzeugbestände zum 1.1. des aktuellen Jahres 2025 hingegen stehen zu diesem Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung. Die Bestände für das Jahr 2024 werden daher auf Basis der vorliegenden Neuzulassungszahlen und der Überlebenskurven des TREMOD-Trendszenarios berechnet.

Die folgende Tabelle 59 zeigt die Neuzulassungen des Jahres 2024.

Tabelle 59: Anzahl der Neuzulassungen im Jahr 2024

Fahrzeugkategorie	gesamt	davon: Benzin ¹	davon: Diesel ¹	davon: Gas	davon: BEV	davon: PHEV
Pkw	2.817.331	55,5%	23,7%	0,5%	13,5%	6,8%
LNF	273.547	6,5%	88,2%	0,1%	5,1%	0,1%
Lkw	43.381		91,6%	1,49%	6,9%	
Sattelzüge	32.221		97,5%	0,8%	1,6%	
Linienbusse	3.558		79,6%	0,73%	19,7%	
Reisebusse	1.824		99,3%		0,7%	
Krafträder	251.169	97,3%			2,7%	
Kleinkrafträder	40.000	54,0%			46,0%	

Quellen: KBA-Sonderauswertung, Januar 2025; Kleinkrafträder: ifeu-Annahmen. Anmerkung:¹ inkl. HEV.

Mit dem TREMOD-Bestandsumschichtungsmodell ergeben sich daraus die in Tabelle 60 dargestellten Fahrzeugbestände zur Jahresmitte 2024, welche den Daten des Vorjahres 2023 gegenübergestellt sind.

Tabelle 60: Berechnete Fahrzeugbestände 2024 im Vergleich zu 2023 jeweils als Jahresmittelwert nach Antriebsart

Fahrzeug-kategorie	Jahr	Benzin	Diesel	Gas	BEV	PHEV	Gesamt
Pkw	2023	31.646.727	14.780.631	399.371	1.210.845	893.286	48.930.860
	2024	30.851.876	14.169.518	367.682	1.650.801	1.050.673	48.090.551
	Diff	-2,5%	-4,1%	-7,9%	+36,3%	+17,6%	-1,7%
LNF	2023	185.339	2.896.628	11.563	65.728	492	3.159.749
	2024	181.100	2.925.259	10.804	80.089	620	3.197.873
	Diff	-2,3%	+1,0%	-6,6%	+21,8%	+26,2%	+1,2%
SNF	2023		747.853	6.798	4.369		759.019
	2024		741.369	7.174	6.905		755.448
	Diff		-0,9%	+5,5%	+58,1%		-0,5%
Busse	2023		75.786	749	2.268		78.802
	2024		73.430	745	2.996		77.171
	Diff		-3,1%	-0,5%	+32,1%		-2,1%

Quelle: Daten 2024: Neuzulassungen nach KBA und ifeu-Annahmen, Daten 2023: KBA

3.5.3 Effizienzentwicklung

Die Entwicklung der Effizienz bzw. des spezifischen Kraftstoffverbrauchs wird ebenfalls vom KBA, im Rahmen des CO₂-Monitorings für Pkw und LNF, erfasst. Sie beruht auf den mittleren CO₂-Emissionen und Energieverbräuchen je Fahrzeugmodell im WLTP. Diese Daten konnten vom KBA als Sonderauswertung für die Neuzulassungen im Jahr 2024 zur Verfügung gestellt werden (siehe Tabelle 61 und Tabelle 62).

Zusätzlich werden Aufschlagsfaktoren für die Entwicklung des Realverbrauchs gegenüber den Monitoring-Werten verwendet, welche in einem UBA-Projekt (Tietge et al. 2020) erarbeitet wurden. Für das Jahr 2024 wird angenommen, dass der Realverbrauchsaufschlag des Vorjahres 2023 verwendet werden kann. Die für die VEdV verwendete Entwicklung der CO₂-Emissionen der Neuzulassungen sind in Tabelle 61 und Tabelle 62 dargestellt.

Tabelle 61: Entwicklung der mittleren CO₂-Emissionen von Neufahrzeugen in g/km für Pkw im WLTP

Antrieb	2023	2024	Änderung 24/23
Benzin ¹	147	143	-2%
Diesel ¹	164	164	-
BEV	0,0	0,0	-
LPG	120	119	-1%
CNG	108	123	+14%

Antrieb	2023	2024	Änderung 24/23
PHEV Benzin	35	31	-9%
PHEV Diesel	20	15	-24%
Alle Pkw	117	121	+4%

Quelle: KBA-Sonderauswertung 2024. Anmerkung: ¹Inkl. HEV.

Tabelle 62: Entwicklung der mittleren CO₂-Emissionen von Neufahrzeugen in g/km für LNF im WLTP

Antrieb	2023	2024	Änderung 24/23
Benzin ¹	200	193	-4%
Diesel ¹	220	220	-
BEV	0,0	0,0	
CNG	187	192	+3%
PHEV Benzin	99	29	-71%
Alle LNF	202	207	+3%

Quelle: KBA-Sonderauswertung 2024. Anmerkung: ¹Inkl. HEV.

Für die schweren Nutzfahrzeuge existiert ein CO₂-Monitoring erst seit dem Jahr 2019. Die Daten dafür werden von der europäischen Umweltagentur (EEA) in Form einer online verfügbaren Datenbank mit Angaben zu einzelnen Nutzfahrzeugmodellen veröffentlicht. Da diese Daten des vorausgehenden Jahres nicht rechtzeitig für die VEdV vorliegen, können sie nicht berücksichtigt werden (Werte für das Jahr 2022 wurden im März 2024 veröffentlicht).

Für alle Fahrzeugschichten ohne verwendbare Realdaten zur Effizienzsentwicklung werden die Annahmen des TREMOD-Trendszenarios übernommen, welches aufgrund der europäischen CO₂-Flottenzielwert-Gesetzgebung bereits gewisse Effizienzverbesserungen und weitere Annahmen beinhaltet. Bei den schweren Nutzfahrzeugen und Bussen wird eine Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs um 0,5% pro Jahr pauschal für alle Segmente und Straßenkategorien angenommen.

Bei motorisierten Zweirädern bleibt der spezifische Kraftstoffverbrauch konstant.

3.5.4 Fahrleistungen

Güterverkehr

Die Basisquelle für die Berechnung der Fahrleistung des Güterverkehrs sind die Fahrleistungen auf Autobahnen und Bundesstraßen der Mautstatistik. Daten des Verkehrsbarometers liegen zwar vor, aber werden für den Schwerverkehr nicht verwendet, weil die Mautstatistik als die zuverlässigste Quelle erachtet wird (siehe unten). Die Ergebnisse der Mautstatistik 2023 und 2024 sind in Tabelle 63 dargestellt.

Tabelle 63: Fahrleistungen auf Autobahnen und Bundesstraßen 2023 und 2024 in der Mautstatistik (ohne Lkw zwischen 3,5t und 7,5t zGG)

	2023	2024
Fahrleistungen auf Autobahn	32,6 Mrd. km	32,5 Mrd. km
Fahrleistungen auf Bundesstraßen	7,0 Mrd. km	7,0 Mrd. km
Summe	39,7 Mrd. km	39,5 Mrd. km

Quelle: (BALM 2025)

2025 wurden insgesamt 39,5 Milliarden Kilometer von mautpflichtigen Fahrzeugen über 7,5t zurückgelegt. Dies entspricht einem Rückgang von 0,4 % ggü. 2023.

Zur Plausibilisierung können die Fahrleistungsänderung der Mautstatistik mit den Daten vom Verkehrsbarometer verglichen werden. Der Vergleich zeigt eine relative gute Übereinstimmung auf Autobahn aber klare Unterschiede auf Bundesstraßen, die beim nächsten Inventar detaillierter untersucht werden (siehe Tabelle 64). Insgesamt zeigt der Güterverkehr in beiden Datenquellen einen Rückgang.

Tabelle 64: Wachstumsrate der Fahrleistung bzw. der DTV auf Autobahnen und Bundesstraßen laut Mautstatistik und Verkehrsbarometer 2023-2024

FzKat	Verkehrsbarometer		Mautstatistik*	
	Autobahn	Bundesstraße	Autobahn	Bundesstraße
LNF	+5,2%	+1,5%		
Lkw	-1,6%	+0,9%		
LZ	+0,3%	-3,5%		
SZ	-0,1%	-2,4%		
Mautverkehr			-0,3%	-0,6%

*Ohne Lkw zwischen 3,5t und 7,5t zGG

Quellen: (BASt 2025), (BALM 2025), eigene Berechnungen

Die Unterschiede lassen sich durch zwei wesentliche Gründe erklären:

- ▶ Die Fahrleistungen gemäß Verkehrsbarometer basieren auf Rohdaten der DTV der automatischen Verkehrszählungen der BASt für 2024, die auf den durchschnittlichen Kfz-Verkehr 2023 normiert sind. Daher wurden die monatlichen Änderungsfaktoren der Verkehrsmengen von ifeu in DTV-Werte umgerechnet, um daraus die jährlichen Änderungsfaktoren aggregiert oder disaggregiert in Prozent berechnen zu können. Sie sind also nur Orientierungswerte für die Veränderungen, aber noch keine verlässlichen Werte für die absoluten Fahrleistungen.
- ▶ Die Fahrleistung der mautpflichtigen Fahrzeuge sind automatisch durch eine Kombination der Mobilfunktechnologie (GSM) mit dem Satellitenortungssystem GPS basierend auf einer sogenannten *On-Board Unit* (OBU) vom BAG erfasst. Die öffentlichen verfügbaren abgeleiteten Fahrleistungen sind dementsprechend präzise und gelten hier als Referenz. Allerdings enthält die Mautstatistik die Lkw zwischen 3,5t und 7,5t zGG. erst ab dem 1.7.2024. Um einen methodischen Bruch zu den Vorjahren zu vermeiden, wurde die bisherige Methodik beibehalten und die Mautstatistik Fahrleistungen 3,5-7,5t zunächst nicht berücksichtigt¹². Eine methodische Anpassung und Bereinigung der Vergangenheitswerte werden erst bei den nächsten Inventararbeiten erfolgen.

Da keine zuverlässige Quelle für die Fahrleistungen auf den übrigen Straßen vorliegt, werden die relativen Änderungen der Fahrleistung des Güterverkehrs auf den restlichen Straßenkategorien mit den Fahrleistungsänderungen auf den Bundesstraßen gleichgesetzt. Insgesamt ergibt sich so ein Rückgang der Fahrleistung schwerer Nutzfahrzeuge (Lkw, LZ, SZ) in der VEdV 2024 in Höhe von -0,6 % ggü. 2023 (siehe Tabelle 66). Die Fahrleistung der UeKfzs folgt der Änderungsrate der Lkw.

Für die Fortschreibung der leichten Nutzfahrzeuge bleibt das Verkehrsbarometer die einzige verfügbare Statistik, die eine Zunahme der Fahrleistung auf Autobahnen um 5,2 % und auf Bundesstraßen um 1,5 % ausweist (siehe Tabelle 64). Dabei werden die Änderungen der Bundesstraßen 2024 gegenüber 2023 auch für die sonstigen Straßen übernommen. Der Anstieg der Fahrleistung der LNF in TREMOD liegt damit bei +2,5 % (siehe Tabelle 66).

¹² Fahrleistungen der 3,5-7,5t auf Basis der Verkehrsleistung in Kilometern. Ab 2019 ist der Anteil stabil, da die Aktualisierung der Methodik seit 2020 noch nicht abgeschlossen ist.

Motorisierter Individualverkehr

Grundlage für die Ableitung der Fahrleistungsentwicklung des MIV ist das Verkehrsbarometer. Die Änderungsraten der Verkehrsmengen (DTV) je Fahrzeugkategorie für den MIV sind in Tabelle 65 zusammengefasst.

Tabelle 65: Jährliche Änderungsrate 2023-2024 im Verkehrsbarometer

FzKat	Autobahn	Bundesstraße
KR	-4,5%	+0,7%
Pkw	+4,7%	+0,5%

Quelle: (BAST 2025), eigene Berechnungen

Im Jahr 2024 war bei den Pkw ein deutlicher Anstieg der Fahrleistung auf Autobahnen ggü. 2023 zu beobachten, während der Anstieg auf Bundesstraßen sich deutlich geringer erweist. Die gewichtete jährliche Änderungsrate ist damit für die beiden Straßenkategorien +4%.

Die DTV der Krafträder des Verkehrsbarometers im Jahr 2024 gegenüber dem Jahr 2023 gehen um 4,5 % auf der Autobahn zurück, während auf der Bundesstraße ein leichter Anstieg um 0,7 % zu verzeichnen ist. Auch für die KKR wurden weiterhin die Veränderungsraten von KR verwendet.

Ähnlich zu dem Güterverkehr kann keine zuverlässige Quelle für die restlichen Straßenkategorien herangezogen werden. Die Änderungsrate der Fahrleistung auf diesen Straßen wird der Änderungsrate auf Bundesstraßen je Fahrzeugkategorie nach dem Verkehrsbarometer gleichgesetzt. Aktuelle Analysen zur Verwendung der automatischen Straßenverkehrszählungen der Bundesländer zeigen Potentiale aber erfordern mehr Untersuchungen, um für die Ableitung der Fahrleistung benutzt werden zu können, wie im Bericht „Verbesserung der Vorjahresschätzung der Klimagasemissionen des Verkehrssektors“ (Allekotte et al. 2023), Annex A im Detail erläutert.

Die Pkw Fahrleistungen, die ca. 98% der MIV-Fahrleistungen ausmachen, sind im VEdV 2024 mit 580,9 Milliarden Kilometer noch unter dem vor-Corona Niveau von 2019, und weisen ein Wachstum von 1,8% ggü 2023 auf. Die Krafträder (KR) Fahrleistung nimmt um 0,1% zu, während das Wachstum der Kleinkrafträder (KKR) etwas höher ist: +0,7% ggü. 2023, da das Wachstum auf Autobahn die KKR nicht betrifft. Für die übrigen Fahrzeuge „Uekfz“ werden die Veränderungsraten der Pkw aus dem Verkehrsbarometer verwendet.

Die detaillierten Ergebnisse der Fahrleistung MIV sind in Tabelle 66 dargestellt.

Busverkehr

Die Fahrleistungen der Linien- und Fernlinienbusse wurden für 2022 aus Destatis (Destatis 2023a) übernommen. Für 2023 lagen bis Ende Februar 2025 keine aktuellen Fahrleistungsdaten vor. Deshalb wurde auf eine Fahrleistungsschätzung für 2024 verzichtet und die geschätzten Fahrleistungen für 2023 auch für 2024 übernommen.

Spezifische Fahrleistungen nach Fahrzeugsegment und Antrieb

Im Kontext der VEdV ist auch die Aufteilung der Fahrleistung der Pkw auf Benzin- und Dieselfahrzeuge eine sensible Größe. Benzinverbrauch und Fahrleistung der Benzin-Pkw lassen sich gut anhand der Absatzzahlen und dem spezifischen Verbrauch ermitteln und plausibilisieren.

Anders bei den Diesel-Pkw: Der Dieselverbrauch teilt sich auf Pkw, LNF, SNF und Busse auf. Da-her gibt es keine direkte Korrelation zwischen dem Verbrauch der Diesel-Pkw und dem Gesamtverbrauch an Diesel. Am Ende müssen die Fahrleistungen der Benzin- und Diesel-Pkw mit der Gesamtfahrleistung der Pkw übereinstimmen. Hierbei ist die Entwicklung der spezifischen Fahrleistung je Fahrzeug eine wichtige Erklärungsgröße.

Hinweise für veränderte Fahrleistungen der Pkw nach Antrieb liefert (KBA 2020) das „Tankbuch“ des MOP (Ecke et al. 2023). Aus der Quelle lässt sich ein Rückgang der mittleren Fahrleistung der Diesel-Pkw erkennen, damit wurde 2023 das Verhältnis der Fahrleistung je Fahrzeug für Diesel Pkw gegenüber Benzin-Pkw auf 1,7 statt 1,8 im Jahr 2022 verringert. Leider wurde diese Erhebung eingestellt, so dass keine Informationen über die Entwicklung bis 2024 vorliegen. Es wird jedoch angenommen, dass sich die mittlere Jahresfahrleistung der Diesel-Pkw gegenüber Benzin-Pkw 2024 weiter verringert hat, da die Zulassungszahlen bei Benzin-Pkw 2024 weiter zugenommen haben, insbesondere bei den Hybridfahrzeugen mit hoher mittlerer Jahresfahrleistung. Das Verhältnis der Fahrleistung je Fahrzeug für Diesel Pkw gegenüber Benzin-Pkw sinkt daher weiter von 1,7 auf 1,65.

Zusammenfassung Fahrleistungen

Wie in Tabelle 66 zu entnehmen sind die Fahrleistungen 2024 1,6% höher als die Fahrleistungen 2023. Der Fahrleistungsrückgang durch die Corona-Pandemie seit 2019 (Gesamtfahrleistung 2019: 784.380 Mrd.km) ist somit auch 2024 noch sichtbar.

Vor allem die Fahrleistungen der Pkw sind etwas gestiegen, und liegen 1,8% höher als 2023. Die leichten Nutzfahrzeuge haben eine um 2,5 % höhere Fahrleistung als 2023. Der Busverkehr ist unverändert angenommen. Der Güterschwerverkehr ging etwas zurück (-0,6%).

Tabelle 66: Ergebnisse der Fahrleistungen je Fahrzeugkategorie für die Jahre 2023-2024

	2023 (Mio. km)	2024 (Mio. km)	Änderung 2024/2023
KKR	4.171	4.201	+0,7%
KR	8.380	8.385	+0,1%
Pkw	570.620	580.926	+1,8%
UeKfzl	899	925	+2,8%
Bus	4.007	4.007	0,0%
<i>dav. SRBus</i>	1.230	1.230	0,0%
<i>dav. FLBus</i>	72	72	0,0%
<i>dav. LBus</i>	2.704	2.704	0,0%
LNF	55.020	56.405	+2,5%
Lkw+LZ+SZ	60.506	60.165	-0,6%
<i>dav. Lkw</i>	17.645	17.037	-3,4%
<i>dav. LZ</i>	9.958	10.024	+0,7%
<i>dav. SZ</i>	32.903	33.104	+0,6%
UeKfzs	1.490	1.439	-3,4%

	2023 (Mio. km)	2024 (Mio. km)	Änderung 2024/2023
Summe	705.092	716.453	1,6%

Quelle: ifeu-Berechnungen

Unsicherheit bzgl. der Fahrleistungen 2024 besteht aus den folgenden Gründen:

- ▶ Die Unsicherheit bzgl. der Statistik: für den Schwerverkehr wird die Fahrleistung der Lkw<7,5t anhand von (Bäumer et al. 2016) und (Mahmoudi und Frenken 2020) geschätzt. Da sie ab Mitte 2024 mautpflichtig sind, können sie zukünftig berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist das Verkehrsbarometer eine erste Abschätzung der Verkehrsentwicklung, basiert aber auf Rohdaten, die in anderen Veröffentlichungen der BASt, wie z.B. der Straßenverkehrszählung, bereinigt und korrigiert werden und somit in TREMOD von Jahr zu Jahr zu rückwirkenden Änderungen der Daten führen. Diese Unsicherheiten betreffen die Fahrleistungen auf Autobahnen und Bundesstraßen, die 46 % der gesamten Fahrleistungen ausmachen.
- ▶ Die Unsicherheit bzgl. der Fahrleistungen auf den übrigen Straßen aufgrund der nicht vorliegenden Fahrleistungseckwerte für die einzelnen Fahrzeugkategorien. Dies betrifft 2024 53 % der Fahrleistungen, d.h. die Fahrleistungen auf die restlichen Straßenkategorien. Sie ist damit derzeit eine wichtige Variable bei der iterativen Plausibilisierung der Ergebnisse. Zukünftig sollte jedoch angestrebt werden, die Datenlage zur Fahrleistung auf dem nachgeordneten Netz zu verbessern. Dafür besteht ein Bedarf an umfangreicheren Statistiken in der nahen Zukunft.

3.6 Ergebnisse der VEdV 2024

3.6.1 Energieverbrauch und THG-Emissionen nach Kategorien

Die Inlandsablieferungen der Amtlichen Mineralölstatistik (AMS)¹³ für das Jahr 2024 und die Aufteilung auf die Kategorien (Stand 27.02.2025) sind in der nachfolgenden Tabelle 67 dargestellt¹⁴. Bei mehreren Kategorien wurden die Gesamtmengen auf Basis der nationalen Emissionsinventare für das Jahr 2023 mit Annahmen zur Entwicklung bis 2024 fortgeschrieben (siehe Details in Kapitel 3.1 bis 3.5). Biokraftstoffe werden anteilig proportional zu den mineralischen Kraftstoffen auf die Kategorien verteilt, wobei alle Kategorien der Schifffahrt und Marine keine Biokraftstoffe verwenden. Beim Flugverkehr werden die Kraftstoffmengen, die auf den nationalen Verkehr entfallen, mit TREMOD-AV berechnet (siehe Kapitel 3.2). Die Differenz aus Absatz und Verbrauch national wird dem internationalen Verkehr zugeordnet.

Tabelle 67: Energieverbrauch 2024 in PJ gemäß AMS und Aufteilung auf einzelne Quellkategorien

	Diesel total	Diesel fossil	Diesel bio	HEL	Ben- zin total	Ben- zin fossil	Ben- zin bio	Kero- sin	Flug- ben- zin
Inlandsablieferungen gemäß AMS Dez 2024	1.365	1.288	77		750	717	34	386	0,17

¹³ intern zur Verfügung gestellt am 27.02.2025

¹⁴ Die Werte der AMS wurden hier bereits von massebezogenen Einheiten (Tonnen) in physikalische Einheiten (PJ) umgerechnet. Die Umrechnungsfaktoren und detaillierter Mengen sind in Anhang A.1 dargestellt.

	Diesel total	Diesel fossil	Diesel bio	HEL	Benzin total	Benzin fossil	Benzin bio	Kerosin	Flugbenzin
1.A.2.g vii – BauWi	22	21	1,3		6,0	5,7	0,3		
1.A.3.c – Schienenverkehr	10	10	0,6						
1.A.3.d – Binnen-schifffahrt	10	10	0		0,3	0,3	0,01		
1.A.3.d – Seeschifffahrt				7,9					
1.A.4.a ii – GHD	4,3	4,1	0,2						
1.A.4.b ii – Haushalte					3,5	3,4	0,2		
1.A.4.c ii (i) – LaWi	81	76	4,6						
1.A.4.c ii (ii) – FoWi	1,8	1,7	0,1		3,1	2,9	0,1		
1.A.4.c iii – Fischerei				0,23					
1.A.5.b i – Militär: Land	0,4	0,3	0,02		2,1	2,0	0,1		
1.A.5.b ii – Militär: Luft								3,9	
1.A.5.b iii – Militär: Ma-rine				0,14					
ZWISCHENSUMME	130	123	6,9	8,3	15	14	0,7	3,9	
Summe 1.A.3.a und 1.D.1.a – zivile Luftfahrt								383	0,17
davon: 1.A.3.a national								15	0,14
davon: 1.D.1.a internatio-nal								368	0,03
1.A.3.b – Straßenverkehr	1.234	1.164	71		735	702	33		

Quelle: AMS, Dezember 2024 und eigene Annahmen

Neben den Kraftstoffen der AMS werden im Verkehr weitere Energieträger genutzt, die in der THG-Bilanz des Verkehrs zu berücksichtigen sind. Es handelt sich hierbei um Erdgas, Biomethan und LPG. Die Mengen für 2024 werden aus vorläufigen und noch internen Angaben der AG Energiebilanzen entnommen. Die zugrundeliegenden Mengen für den Straßenverkehr sind in Tabelle 69 im nächsten Kapitel dargestellt.

Die Treibhausgasemissionen im Jahr 2024 im Verkehr werden schließlich mit den energieträgerspezifischen CO₂-Emissionsfaktoren und den fahrzeugspezifischen CO_{2eq}-Emissionen von CH₄ und N₂O (aus TREMOD 6.62) berechnet. In der Gesamtbilanz des Verkehrs werden außerdem die CO₂-Emissionen aus in Zweitaktern mitverbrannten Kraftstoffen (2024: 0,005 Mio. t) und die THG-Emissionen aus Festbrennstoffen im Schienenverkehr (2024: 0,031 Mio. t) eingerechnet. Die nachfolgende Tabelle 68 zeigt die Ergebnisse für den Sektor „Verkehr“.

Tabelle 68: Treibhausgasemissionen des Verkehrs 2024 in MT CO₂eq

	Diesel	Benzin	HEL	Gase (LPG, NG)	Kerosin	Flugbenzin	Summe 2024*	Summe 2023*
1.A.3.a – nationale ziv. Luftfahrt					1,09	0,01	1,10	1,09
1.A.3.b – Straßenverkehr	87,7	51,5		0,57			139,8	141,9
1.A.3.c – Schienenverkehr	0,73						0,76	0,78
1.A.3.d – nationale Schifffahrt	0,77	0,02	0,59	0,0005			1,43	1,40
Summe	89,2	51,5	0,57	0,59	1,09	0,01	143,1	145,1

Anmerkungen: *inkl. sonstige Brennstoffe (Schmierstoffe Straße, Festbrennstoffe Schiene, HFO und LNG Seeschifffahrt)

3.6.2 Energieverbrauch und THG-Emissionen im Straßenverkehr

Der Straßenverkehr ist mit rund 98% verantwortlich für den weitaus größten Teil der Emissionen des Verkehrs. Daher werden der Energieverbrauch und die THG-Emissionen des Straßenverkehrs mit TREMOD weiter differenziert nach Fahrzeugkategorien. Die zugrunde liegenden Basisdaten und Annahmen sind in Kapitel 3.5 dargestellt.

Diese Ergebnisse sind Daten- und Annahmen-gestützte Modellierungsergebnisse. Die Unsicherheiten der Eingangsdaten wirken sich dabei auf die Aufteilung der Energiemengen auf verschiedene Verbraucher des Straßenverkehrs aus. Da der Energieverbrauch des Straßenverkehrs aber als Restmenge der abgesetzten Kraftstoffe berechnet wird, haben diese Modellierungsergebnisse nahezu keine Auswirkungen auf die berechneten Gesamtemissionen des Straßenverkehrs.

Tabelle 69 zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs im Straßenverkehr von 2023 bis 2024 nach Energieträgern gemäß den Ergebnissen aus TREMOD 6.62. Gegenüber 2023 hat der Verbrauch von Benzin, Biomethan und Strom zugenommen. Dagegen hat der Verbrauch an Diesel, Erdgas und Flüssiggas abgenommen. Insgesamt ergibt sich daraus ein Rückgang von -1,6 %.

Tabelle 69: Endenergieverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträgern

	2023	2024	2023-2024
	PJ	PJ	Änderung
Benzin	691,9	702,4	+1,5%
Bioethanol	32,7	32,9	+0,7%
Diesel	1.196,0	1.163,6	-2,7%
Biodiesel	88,6	70,6	-20,3%
Erdgas	6,9	2,0	-70,4%
Biogas	5,2	11,2	+114,6%
LPG	7,9	6,7	-15,9%
Strom	17,1	25,1	+46,5%
Gesamt	2.046	2.015	-1,6%

Anmerkungen: Bilanzgrenze: Inlandsabsätze von Kraftstoffen, außer Strom: TREMOD-Ergebnisse

Quelle: AMS, ifeu-Berechnungen mit TREMOD.

Tabelle 70 stellt den Endenergieverbrauch im Straßenverkehr in den Jahren von 2023 bis 2024 in der Differenzierung nach Fahrzeugkategorien dar. Der größte Rückgang fand im Straßengüterverkehr statt.

Tabelle 70: Endenergieverbrauch im Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten

	2023	2024	2023-2024
	PJ	PJ	Änderung
Bus	41	39	-6,1%
LNF	179	181	+0,8%
MZR	17	16	-0,8%
Pkw	1.293	1.296	+0,3%
SNF	504	471	-6,6%
sonstige	12	11	-6,4%
Summe	2.046	2.015	-1,6%

Anmerkungen: Bilanzgrenze: Inlandsabsätze von Kraftstoffen, außer Strom: TREMOD-Ergebnisse

Quelle: AMS, ifeu-Berechnungen mit TREMOD.

Tabelle 71 zeigt schließlich die resultierenden Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs von 2023 bis 2024. Diese nahmen insgesamt um 1,5 % ab.

Tabelle 71: THG-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten

	2023	2024	2023-2024
	Mio. t	Mio. t	Änderung
Bus	2,8	2,6	-6,2%
LNF	12,5	12,7	1,6%
MZR	1,2	1,2	-0,9%
Pkw	89,4	89,6	0,2%
SNF	35,1	32,9	-6,4%
sonstige	0,8	0,8	-5,4%
Summe	141,9	139,8	-1,5%

Anmerkungen: Bilanzgrenze: Inlandsabsätze von Kraftstoffen, TREMOD-Ergebnisse

Quelle: AMS, ifeu-Berechnungen mit TREMOD

Die dargestellten Ergebnisse für den Straßenverkehr sind abgestimmt auf die Kraftstoffabsätze gemäß der AMS. Dabei ergeben sich in jedem Jahr Differenzen zu den mit TREMOD berechneten Ergebnissen, die auf den Fahrleistungen im Inland beruhen (siehe Kapitel 3.5.4). In den letzten Jahren lag der so berechnete Energieverbrauch stets über dem Absatz (siehe Kapitel 2.6.1).

Die aktuellen Ergebnisse für das Jahr 2024 zeigen eine leichte Erhöhung der Differenz zwischen Absatz und Verbrauch bei Benzin und eine stärkere Erhöhung bei Diesel (Tabelle 72). Die Summen, basierend auf den Inlandsfahrleistungen, bleiben nahezu konstant, während der absatzbasierte Verbrauch um 1,6% zurückgeht (Tabelle 69 und Tabelle 70).

Die nachfolgende Tabelle 72 zeigt die Ergebnisse für den Energieverbrauch von 2023 bis 2024 auf Basis der Inlandsfahrleistungen nach Energieträgern und die jeweilige Differenz zwischen dem Absatz gemäß Tabelle 69 und dem in TREMOD ermittelten Inlandsverbrauch.

Tabelle 72: Inlandsfahrleistung-basierter Energieverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträgern

	2023	2024	2023-2024	2023	2024
	PJ	PJ	Änderung	Absatz ggü. Inland	Absatz ggü. Inland
Benzin	746,9	760,2	+1,8%	-7,4%	-7,6%
Bioethanol	35,3	35,6	+0,9%	-7,4%	-7,6%
Diesel	1.359,8	1.357,8	-0,1%	-12,0%	-14,3%
Biodiesel	100,8	82,4	-18,2%	-12,0%	-14,3%
Erdgas	6,6	1,8	-73,1%	5,0%	15,6%
Biogas	5,0	9,7	+95,0%	5,0%	15,6%
LPG	12,2	11,8	-3,5%	-35,0%	-43,4%
Strom	17,1	25,1	+46,5%		
Gesamt	2.284	2.284	0,0%		

Quelle: Verkehrsbarometer, Mautstatistik, ifeu-Berechnungen mit TREMOD

Tabelle 73 zeigt schließlich die Ergebnisse für den Energieverbrauch auf Basis der Fahrleistungen im Inland und die jeweilige Differenz Absatz gemäß Tabelle 70 ggü. dem Inlandsverbrauch.

Tabelle 73: Inlandsfahrleistungs-basierter Energieverbrauch im Straßenverkehr nach Fahrzeugarten

	2023	2024	2023-2024	2023	2024
	PJ	PJ	Änderung	Absatz ggü. Inland	Absatz ggü. Inland
Bus	50	49	-0,9%	-17,2%	-21,6%
LNF	193	195	1,0%	-7,3%	-7,5%
MZR	18	18	-0,5%	-7,4%	-7,6%
Pkw	1.398	1.405	0,5%	-7,5%	-7,7%
SNF	611	603	-1,3%	-17,4%	-21,9%
sonstige	14	14	-2,5%	-15,0%	-18,3%
Summe	2.284	2.284	0,0%		

Quelle: ifeu-Berechnungen mit TREMOD

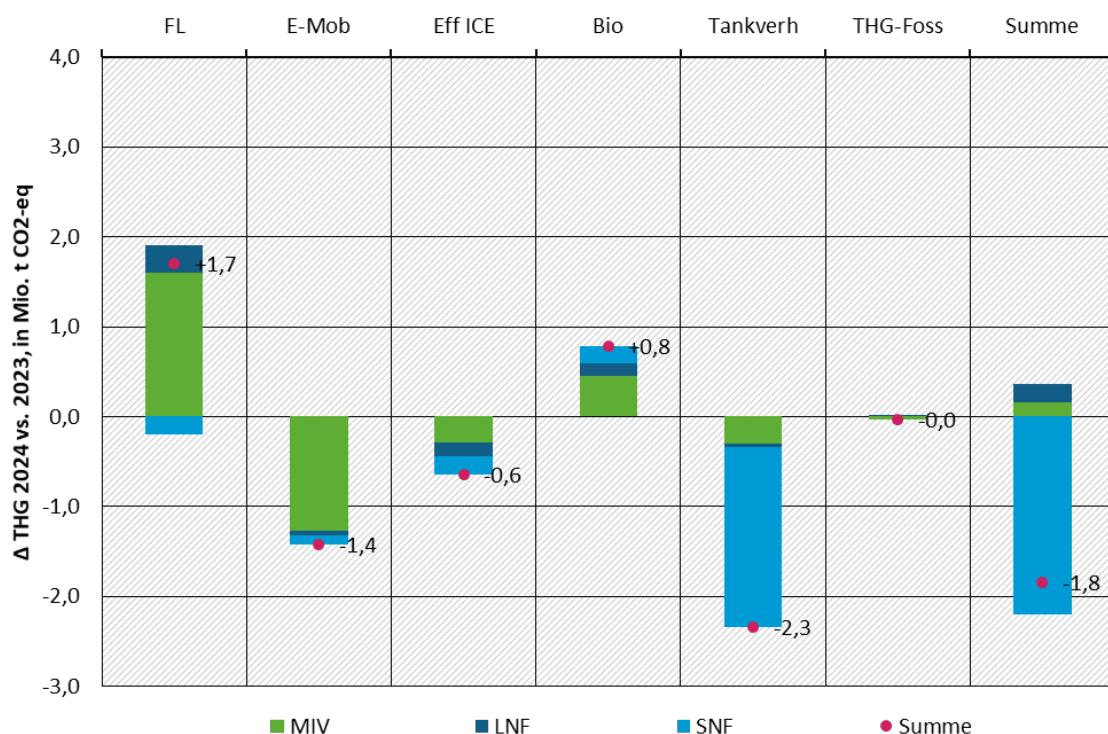
3.7 Ursachenanalyse

Die folgende Ursachenanalyse soll dazu dienen, die Ergebnisse der VEdV zu interpretieren und zu plausibilisieren. Die Methode wurde im Projekt „Verbesserung der Vorjahresschätzung der

Klimagasemissionen des Verkehrssektors“ (Allekotte et al. 2023) entwickelt und hier übernommen. Abbildung 11 stellt die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse für die THG-Emissionen im Straßenverkehr im Jahr 2024 gegenüber dem Jahr 2023 als Balkendiagramm dar.

Die Emissionen des MIV sowie der LNF und SNF sind in 2024 gegenüber dem Jahr 2023 um ca. 1,8 Mt CO₂eq gesunken. Als Ursachen wurden verschiedene mindernde (-) und -erhöhende (+) Effekte untersucht, welche sich zum Teil kompensieren. Der Anstieg der Fahrleistungen im MIV und bei LNF und der Rückgang des Biokraftstoffanteils führte zu Mehremissionen i.H. von ca. 2,5 Mt. Zu einer THG-Minderung führte die Zunahme an Elektrofahrzeugen (-1,4 Mt), insbesondere bei den Pkw, gefolgt von Reduktionen beim spezifischen Kraftstoffverbrauch bei Verbrennerfahrzeugen (ca. -0,6 Mt). Das Verhältnis von inländischem Absatz zum inländischen Kraftstoffverbrauch sank und führte zu einer Reduktion der Emissionen im Inland (-1,8 Mt.).

Abbildung 11: Ergebnisse Dekomposition MIV, LNF, SNF 2024/2023



Quelle: ifeu-Graphik. Erläuterung: FL: Fahrleistung, E-Mob: Elektromobilität, Eff ICE: Effizienz Verbrennerfahrzeuge, Bio: Biokraftstoffanteil, Tankverh: Tankverhalten bzw. Differenz Verbrauch/Absatz, THG-Foss: THG-Intensität fossile Kraftstoffe. Anmerkung: Positive Werte stellen eine THG-Erhöhung und negative Werte eine THG-Reduktion gegenüber Vorjahren dar. In Summe können sich die Effekte Einzeller Komponenten oder Fahrzeugkategorien kompensieren.

Die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse beinhalten jedoch auch Unsicherheiten in den Daten.

- **Minderung durch Elektrofahrzeuge:** Der berechnete Pkw-Bestand im Jahr 2024 liegt ca. 0,9 Mio. Fahrzeuge niedriger als im Jahr 2023. Die vierteiljährlichen Statistiken des KBA (FZ27) zeigen jedoch, dass der Bestand zum Oktober 2024 bei ca. 49,4 Mio. Pkw und damit um ca. 0,5 Mio. Pkw höher lag als Mitte 2023. Die Differenz dürfte sich vor allem bei den Alt-

fahrzeugen ergeben. So steigt der Pkw-Bestand laut KBA in den letzten Jahren trotz sinkender Neuzulassungen weiter an, was sich in der aktuellen Projektion des Fahrzeugbestands, insbesondere dem angenommenen Überlebensverhalten der Fahrzeuge, in TREMOD nicht widerspiegelt. Auch wurde der mithilfe der Neuzulassungen berechnete BEV-Pkw-Bestand in den VEdV gegenüber dem Inventar bisher überschätzt¹⁵. Diese Faktoren könnten zu einer Überschätzung der THG-Reduktion durch Elektro-Pkw führen. Neben dem Bestand spielen auch die angenommenen mittleren Fahrleistungen nach Antrieb und Alter eine Rolle. Eine Überprüfung und Aktualisierung des Überlebensverhaltens und der mittleren Fahrleistungen an aktuelle Erkenntnisse sollte daher zeitnah erfolgen.

- ▶ **Tankverhalten:** Die THG-Minderung durch das Tankverhalten erfolgt durch die gestiegene Differenz vom Dieselverbrauch gegenüber dem Dieselabsatz. Mit dem in (Allekotte et al. 2023) entwickelten Tankmodell wären allerdings ein Rückgang der Auslandsbetankung zu erwarten, da die Preisdifferenz für Diesel in vielen Nachbarländern und damit der Anreiz im Ausland zu tanken im Jahr 2024 geringer war als 2023. Die gestiegene Differenz vom Dieselverbrauch gegenüber dem Dieselabsatz könnte an zu hohen Fahrleistungen der Diesel-Pkw und Lkw oder einer Untererfassung des Dieselabsatzes in der AMS liegen. Inwiefern hierbei illegal in Verkehr gebrachte Dieselmengen eine Rolle spielen könnte, konnte bisher nicht belastbar untersucht werden, auch wenn Recherchen des Zolls zeigen, dass solche Fälle auftraten (Tagesspiegel 2024).

¹⁵ In den VEdV 2023 betrug der Anteil von BEV am PKW-Bestand 2,7% (1,3 Mio Fzg), im Inventar sind es nur ca. 2,5% (1,2 Mio Fzg).

4 Aktualisierung des Trendszenarios bis 2050

4.1 Definition des Trendszenarios

Zur Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklung des verkehrsbedingten Energieverbrauchs und der Emissionen wird in TREMOD ein Trendszenario bis zum Jahr 2050 definiert. Das Trendszenario soll auf aktuellen Verkehrsleistungsprognosen aufbauen und alle umweltrelevanten politischen Vorgaben, deren Umsetzung beschlossen ist, abbilden.

Das Szenario berücksichtigt unter anderem die folgenden Maßnahmen:

- ▶ CO₂-Grenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis 2030 (EU 2019a) bzw. die Änderungsverordnung für die CO₂-Grenzwerte bis 2035 und danach (EU 2023) sowie die Aufweichung im Zeitraum 2025-2027 (Europäische Kommission 2025)
- ▶ CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge bis 2030 (EU 2019b) bzw. bis 2040 aufgrund Änderungsverordnung (EU) 2024/1610
- ▶ Die revidierte Eurovignetten-Richtlinie zur Ausgestaltung der Lkw-Maut (EU 2022)
- ▶ Erneuerbare-Energien-Richtlinie bis 2030 (EU 2018) und das Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungs-Quote (Bundesanzeiger 2021)

Die aufgezählten und weitere Instrumente sind auch im Projektionsbericht 2025 (Wehnemann et al. 2025) der Bundesregierung berücksichtigt, auf welchen in den folgenden Abschnitten, sofern relevant, Bezug genommen wird.

Die Entwicklung der Verkehrs-, Betriebs- und Fahrleistungen wird, aus der „Verkehrsprognose 2040“ (Kluth et al. 2024) abgeleitet und zwischen 2040 und 2050 anhand der Änderungsraten der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“ des BMDV (BMDV 2023) fortgeschrieben. Von 2025 bis 2028 wird die Verkehrsleistungsentwicklung der Gleitenden Mittelfristprognose Winter 2024/25 (Rudolf et al. 2025) herangezogen. Zwischen 2028 und 2040 werden die Verkehrsleistungen interpoliert. Zur Umlegung der Verkehrsleistungen auf die Fahr- und Betriebsleistungen der verschiedenen Fahrzeugkategorien sind weitergehende Annahmen notwendig.

Für die Emissionsberechnung sind schließlich Annahmen zur Entwicklung des Fahrzeugbestands, der Fahr- und Verkehrsleistungen, der Energieeffizienz und des Emissionsverhaltens neuer Fahrzeugkonzepte sowie der zukünftige Anteil der Biokraftstoffe und anderer Energiearten festzulegen. Diese Annahmen wurden an aktuelle Erkenntnisse angepasst.

Die getroffenen Annahmen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Sozioökonomische Annahmen

Die Annahmen zur demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung sind in der „Verkehrsprognose 2040“ vorgegeben. Die Bevölkerung nimmt bis 2040 gegenüber 2019 etwas zu und danach wieder leicht ab. Hierbei sinkt der Anteil der erwerbsfähigen Bevölkerung. Regional ist die Entwicklung sehr unterschiedlich, z.B. Rückgang in den ländlichen Regionen der östlichen Bundesländer, Zunahme im Süden und in Ballungsräumen. Die Bruttowertschöpfung steigt weiter an mit 1,35 % p. a. bis 2040. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Annahmen dargestellt.

Tabelle 74: Sozio-ökonomische Randbedingungen für das TREMOD- Trendszenario

Parameter	Aktuelle Annahmen im TREMOD-Trendszenario
Demografische Entwicklung	2019: 83,2 Mio. Einwohner 2040: 83,9 Mio. Einwohner
Wirtschaftsentwicklung (BWS)	2019-2040: +1,35% p.a. real

Quelle: Verkehrsprognose 2040.

4.2 Entwicklung der Verkehrsleistungen

Die „Verkehrsprognose 2040“ geht vom Jahr 2019 aus und prognostiziert Verkehrsleistungen 2040. Sie macht somit keine Aussagen über die Entwicklung zwischen 2019 und 2040. Das TREMOD-Trendszenario setzt auf vorläufigen Verkehrsleistungsstatistiken und den Trends der „Gleitenden Mittelfristprognose Winter 2024/25“ für 2024 bis 2028 auf. Somit ist im Zeitraum 2019 bis 2024 die reale Entwicklung bereits weitgehend abgebildet. Für die weitere Entwicklung bis 2040 müssen Annahmen getroffen werden, die an das aktuelle Bezugsjahr 2024 anknüpfen:

- ▶ Die Verkehrsleistungen des MIV sind 2040 um 1,1 % niedriger als 2019, jedoch um 10 % höher als 2024. Es wird von einem linearen Wachstum bis 2040 ausgegangen.
- ▶ Für Busse und kommunale Bahnen wird die relative Verkehrsleistungsentwicklung des ÖSPV bzw. – für den Eisenbahnpersonennahverkehr - des Eisenbahnverkehrs aus der „Verkehrsprognose 2040“ angenommen. Bis 2028 findet jedoch gemäß der „Gleitenden Mittelfristprognose Winter 2024/25“ nur eine geringe Zunahme beim ÖSPV statt.
- ▶ Der Schienenpersonenfernverkehr hatte bereits 2024 das Niveau von 2019 erreicht. Bis 2040 wird ein linearer Anstieg angenommen. Die Verkehrsleistung liegt 2040 um 46 % über dem Niveau von 2019. Dabei geht die Verkehrsprognose von einem massiven Ausbau des Schienenpersonenverkehrs aus.
- ▶ Der Güterverkehr auf Straße und Schiene lag 2024 etwas niedriger als 2019. Von 2024 bis 2040 wird ein weiterer Anstieg angenommen. Die Verkehrsleistungen liegen um 34% bzw. 36% über dem Niveau von 2019. Das Wachstum der Schiene wird hierbei gedämpft durch den Rückgang der Massenguttransporte.
- ▶ Die Binnenschifffahrt lag 2024 unter dem Niveau von 2019. Die „Verkehrsprognose 2040“ geht von einer leichten Zunahme bis 2040 aus. Nach Einschätzung der „Gleitenden Mittelfristprognose Winter 2024/25“ geht die Verkehrsleistung bis 2028 zunächst zurück.
- ▶ Der Flugverkehr steigt in der „Verkehrsprognose 2040“ deutlich an und liegt 2040 um 46 % (Personenverkehr) bzw. 76 % (Güterverkehr) über den Werten von 2019

Die weitere Verkehrsleistungsentwicklung 2040 bis 2050 folgt der Entwicklung der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“. Dabei werden die relativen Entwicklungen von 2040 bis 2050 übernommen.

Gegenüber der TREMOD-Version 6.53 ergeben sich damit nur geringfügige Änderungen. Insbesondere der Verkehr mit Bussen und Bahnen und der Flugverkehr steigen nun stärker an als bisher.

Die Verkehrsleistungen des Trendszenarios sind in Tabelle 75 dargestellt.

Tabelle 75: Verkehrsleistungsentwicklung 2019-2050

In Mrd. Pkm (Personenverkehr) bzw. Mrd. tkm (Güterverkehr)

	2019	2024	2025	2030	2040	2050	2019-2040	2040-2050
Personenverkehr davon:	1.129	1.029	1.039	1.083	1.195	1.269	5,8%	6,2%
Straße	1.012	898	908	937	1.011	1.076	0,0%	6,4%
MIV	917,4	825,7	834,0	860,6	907,2	941,8	-1,1%	3,8%
BUS	94,1	71,9	73,9	76,1	104,0	134,2	10,5%	29,0%
Fernlinienbus	4,1	2,4	2,4	2,6	3,8	4,9	-8,0%	29,7%
Nahlinienbus	38,3	36,4	38,6	40,7	50,2	64,1	31,0%	27,6%
Sonst. Busse	51,6	33,1	32,8	32,7	50,0	65,2	-3,2%	30,4%
Schiene	118,0	128,2	131,6	146,6	183,7	193,0	55,7%	5,1%
PNV DB	41,6	40,6	41,4	46,4	59,5	62,3	43,0%	4,7%
PNV NE	14,5	27,0	27,6	30,9	39,6	41,5	173,8%	4,7%
PFV	43,9	43,8	44,7	50,1	64,3	67,3	46,3%	4,7%
SSU-Bahnen	18,0	16,8	17,9	19,1	20,3	21,9	12,9%	7,9%
Güterverkehr davon:	687,8	660,2	662,1	734,2	904,6	1.008,8	31,5%	11,5%
Straße	498,6	480,7	482,6	536,7	668,4	753,3	34,1%	12,7%
Schiene	138,2	136,1	136,8	151,9	188,0	204,7	36,0%	8,9%
Schiene DB	60,7	46,4	46,7	51,8	64,2	69,8	5,7%	8,9%
Schiene NE	77,5	89,6	90,1	100,1	123,8	134,8	59,7%	8,9%
Binnenschifffahrt	50,6	41,7	42,1	44,1	48,2	52,3	-5,3%	8,4%
Abgehender Flugverkehr								
Personenverkehr davon:	256,1	236,0	244,6	287,3	372,8	458,2	45,6%	22,9%
National	10,5	5,4	5,7	6,9	9,4	11,8	-11,0%	26,3%
International	245,5	230,6	238,9	280,4	363,4	446,4	48,0%	22,8%
Güterverkehr davon	12,2	12,4	13,0	15,8	21,4	27,0	75,7%	26,1%

	2019	2024	2025	2030	2040	2050	2019-2040	2040-2050
National	0,0490	0,0424	0,0426	0,0436	0,0456	0,0476	-7,0%	4,4%
International	12,1	12,4	13,0	15,7	21,3	26,9	76,0%	26,2%

Quellen: Verkehrsprognose 2040, eigene Annahmen.

4.3 Straßenverkehr

4.3.1 Annahmen zur Fahrleistungsentwicklung im Straßenverkehr

Die Fahrleistungsentwicklung orientiert sich an der Verkehrsleistungsentwicklung und den Fahrleistungen der „Verkehrsprognose 2040“ mit prozentualer Fortschreibung bis 2050 entsprechend der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“. Die Zwischenjahre bis 2040 und von 2040 bis 2050 werden interpoliert. Für die einzelnen Fahrzeugkategorien werden folgende Annahmen getroffen:

- ▶ Pkw und motorisierte Zweiräder: Die Fahrleistungen werden für 2040 aus der Verkehrsprognose 2040 übernommen und bis 2050 gemäß der Verkehrsleistungsentwicklung des MIV der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“ prozentual fortgeschrieben.
- ▶ Busse: Die Fahrleistungen werden für 2040 aus der Verkehrsprognose 2040 übernommen und bis 2050 gemäß der Verkehrsleistungsentwicklung des ÖSPV der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“ prozentual fortgeschrieben.
- ▶ Leichte Nutzfahrzeuge: Die „Verkehrsprognose 2040“ geht von einem deutlichen Anstieg der Fahrleistungen bis 2040 aus (+48 % gegenüber 2019). Diese Annahmen werden im Trendszenario übernommen. Ab 2040 Zunahme entsprechend der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“.
- ▶ Schwere Nutzfahrzeuge: Die Fahrleistungen nehmen in der „Verkehrsprognose 2040“ etwas weniger zu als die Transportleistungen. Diese Annahme wird im Trendszenario übernommen. Die mittlere Auslastung pro Fahrzeug steigt daher leicht an. Ab 2040 Zunahme entsprechend der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022“
- ▶ Die übrigen Kfz orientieren sich bei den leichten Fahrzeugen (<3,5t zul. GG) an der Fahrleistungsentwicklung der Pkw, bei den größeren Fahrzeugen an der Fahrleistungsentwicklung der Lkw.

Die angenommenen Fahrleistungen sind in Tabelle 76 dargestellt.

Tabelle 76: Entwicklung der Fahrleistungen 2019-2050

	FL gesamt (Mrd. km)	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2019	784,4	644,8	14,8	4,6	53,7	63,8	2,6
2022	699,8	561,6	14,1	3,7	54,8	63,2	2,4
2023	705,1	570,6	12,6	4,0	55,0	60,5	2,4
2024	716,5	580,9	12,6	4,0	56,4	60,2	2,4

	FL gesamt (Mrd. km)	PKW	MZR	BUS	LNF	SNF	Sonstige
2025	724,5	587,4	13,0	4,1	57,2	60,4	2,4
2030	762,9	609,9	14,7	4,2	64,6	67,0	2,6
2040	840,4	650,7	18,9	5,3	79,4	83,0	3,0
2050	888,0	675,5	19,6	6,8	89,6	93,1	3,3
2019-2040	+7,1%	+0,9%	+27,3%	+15,0%	+48,0%	+30,1%	+13,4%
2040-2050	+5,7%	+3,8%	+3,8%	+28,6%	+12,8%	+12,2%	+9,3%

Quelle: Verkehrsprognose 2040, Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2022, eigene Annahmen.

4.3.2 Entwicklung der Fahrzeugflotten

Das folgende Kapitel beschreibt die Annahmen zur Entwicklung der Fahrzeugflotten des Trendszenarios. Im Fokus steht die Entwicklung der Anteile der verschiedenen Antriebsarten bei den einzelnen Fahrzeugkategorien an den Neuzulassungen, welche anhand bisheriger Trends, relevanter politischer Instrumente und sonstiger Marktbeobachtungen abgeleitet wird. Die Entwicklung in TREMOD folgt hierbei eigenen Annahmen, die nachfolgend beschrieben werden, und nicht der Verkehrsprognose 2040.

Der zukünftige Fahrzeugbestand wird in TREMOD mithilfe eines Flottenmodells berechnet, welches auf Neuzulassungen und Überlebenskurven basiert. Letztere wurden in TREMOD 6.23 aktualisiert (Allekotte et al. 2020) und in dieser Version nicht angepasst. Aktuell führt das in TREMOD zu niedrigeren Pkw-Beständen 2040 als in der VP 2040.

4.3.2.1 Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge

Personenkraftwagen

Die Pkw-Neuzulassungen bis einschließlich 2024 sind durch die KBA-Statistik gegeben und liegen im Jahr 2024 bei knapp 2,8 Millionen Pkw. Rund 20 % der Neuzulassungen hatten einen Plug-In- oder batterieelektrischen Antrieb (Tabelle 79).

Für den Zeitraum 2024-2050 liegen die Neuzulassungszahlen im Bereich von 2,7-3,2 Mio. Pkw pro Jahr für das gesamte Szenario. Dies liegt im Bereich der absoluten Neuzulassungen der letzten 10 Jahre. Die Anteile der Antriebsarten an den Pkw-Neuzulassungen (insbesondere BEV) wird anhand der CO₂-Regulierung der EU (Verordnung 2019/631) mit ihren Anpassungen 2023/851 und 2025/0070 (COD) hergeleitet, siehe (EU 2019a), (Europäische Kommission 2023), (EU 2023) sowie (Europäische Kommission 2025). Die Technologieanteile werden so angesetzt, dass die Flottengrenzwerte herstellerübergreifend unter Berücksichtigung vom durchschnittlichen Fahrzeuggewicht und möglichen Gutschriften für Übererfüllung eingehalten werden. Die CO₂-Werte liegen für Deutschland über die KBA-Statistik vor, allerdings gelten die Grenzwerte für die EU. Anhand der Werte für Deutschland werden die EU-Werte hergeleitet unter der Annahme, dass Verbrennerfahrzeuge in Deutschland im Schnitt 12,9 g/km mehr emittieren als im EU-Durchschnitt (entspricht dem Mittelwert der Jahre 2010-2023). Die im Anschluss für die EU hergeleiteten Antriebsanteile (insb. BEV) werden wiederum für Deutschland angesetzt. Demnach wird implizit angenommen, dass in Deutschland der BEV-Anteil genauso hoch ist wie in der EU.

Ab dem Jahr 2035 werden im Szenario aufgrund der Flottengrenzwerte lediglich BEV neu zugelassen. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zum ausschließlichen Betrieb mit synthetischen oder biogenen Kraftstoffen werden im Szenario nicht berücksichtigt.

Der Hochlauf von BEV erfolgt im aktualisierten Trendszenario langsamer als im vorherigen Szenario. Die CO₂-Flottengrenzwerte werden in jedem Szenarienjahr eingehalten, siehe Abschnitt 4.3.3.1. Die angenommenen Anteile an den Neuzulassungen sind in der folgenden Tabelle gegeben.

Tabelle 77: Anteil der Neuzulassungen der Pkw im Trendszenario nach Antriebsart

Jahr	Otto (inkl. HEV)	Diesel (inkl. HEV)	CNG & LPG (inkl. HEV)	PHEV	BEV
2021	48 %	25 %	1 %	12 %	14 %
2022	44 %	24 %	1 %	14 %	18 %
2023	50 %	24 %	1 %	6 %	18 %
2024	55 %	24 %	<1 %	7 %	14 %
2025	51 %	21 %	<1 %	10 %	25 %
2026	47 %	20 %	<1 %	9 %	31 %
2027	43 %	18 %	<1 %	8 %	37 %
2028	37 %	15 %	<1 %	7 %	44 %
2029	30 %	13 %	<1 %	6 %	50 %
2030	24 %	10 %	<1 %	5 %	62 %
2031	20 %	8 %	<1 %	4 %	68 %
2032	16 %	7 %	<1 %	3 %	75 %
2033	12 %	5 %	<1 %	2 %	81 %
2034	8 %	3 %	<1 %	2 %	87 %
≥2035	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %

Quellen: bis 2024 nach KBA-Statistik; nach 2025 Annahmen, 2025 anhand des ersten Halbjahrs nach KBA abgeleitet. Anmerkung: Werte gerundet, Zahlenwerte kleiner 0,5 % werden mit <1% gekennzeichnet.

Aus dem steigenden Anteil der elektrischen Fahrzeuge resultiert eine Verdrängung der konventionellen Antriebe. Hierbei wird angenommen, dass Otto- und Dieselmotoren im selben Maße hiervon betroffen sind und somit deren Verhältnis an den Neuzulassungsanteilen konstant auf dem Niveau von 2024 gehalten wird (ca. 2,4 zu 1 Otto/Diesel). Der Anteil von CNG- und LPG-Pkw ist bereits im Jahr 2024 vernachlässigbar klein (<1 %) und wird rückläufig angenommen. Indes werden Wasserstofffahrzeuge weiterhin keine nennenswerten Anteile verbuchen. Hintergrund sind die aktuell und in den nächsten Jahren fehlende Infrastruktur, das mangelnde Fahrzeugangebot sowie die hohen Betriebskosten und der im Verhältnis zu BEV hohe Primärenergieeinsatz.

Anhand der Neuzulassungszahlen und der technologiespezifischen Überlebenskurven können die Anteile der Technologien am Pkw-Bestand über den gesamten Zeitraum des Szenarios ermittelt werden. Der gesamte Pkw-Bestand stagniert im Szenario. Zwar werden ab dem Jahr 2035

keine Pkw mit Verbrennungsmotor neu zugelassen, jedoch weisen sie in diesem Jahr immer noch einen Anteil am Bestand von 58 % (ohne PHEV) auf. Der Bestand an BEV und PHEV liegt im Jahr 2025 bei ca. 3,4 Mio. und im Jahr 2030 bei ca. 9,5 Mio. Fahrzeugen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 78 dargestellt.

Tabelle 78: Entwicklung der Pkw-Bestände im Trendszenario bis 2050

Jahr	Otto (inkl. HEV)	Diesel (inkl. HEV)	CNG & LPG (inkl. HEV)	PHEV	BEV	Pkw gesamt
2020	31,9 Mio.	15,2 Mio.	0,4 Mio.	0,2 Mio.	0,2 Mio.	48,0 Mio.
2025	30,4 Mio.	13,6 Mio.	0,3 Mio.	1,3 Mio.	2,1 Mio.	47,8 Mio.
2030	27,2 Mio.	10,4 Mio.	0,2 Mio.	2,1 Mio.	7,4 Mio.	47,3 Mio.
2035	20,8 Mio.	6,7 Mio.	0,1 Mio.	1,8 Mio.	18,1 Mio.	47,6 Mio.
2040	13,3 Mio.	3,5 Mio.	0,1 Mio.	1,1 Mio.	30,2 Mio.	48,1 Mio.
2045	7,3 Mio.	1,6 Mio.	<0,1 Mio.	0,6 Mio.	39,2 Mio.	48,6 Mio.
2050	3,3 Mio.	0,6 Mio.	<0,1 Mio.	0,2 Mio.	44,9 Mio.	49,1 Mio.

Quelle: eigene Berechnung mit TREMOD 6.63.

Leichte Nutzfahrzeuge

Die absoluten LNF-Neuzulassungen im 2024 lagen laut KBA-Statistik bei gut 270.000 Fahrzeugen. Für den Zeitraum 2025-2050 werden jährliche Neuzulassungszahlen in Höhe von 242.000-339.000 Fahrzeugen angenommen. Für die Anteile der Antriebsarten an den LNF-Neuzulassungen wird – wie bei den Pkw – die CO₂-Regulierung der EU herangezogen, um die Neuzulassungsanteile herzuleiten. Im Szenario werden ab dem Jahr 2035 lediglich BEV neu zugelassen. Sowohl die Anteile von BEV als auch von Hybridfahrzeugen (inkl. PHEV) sind bei LNF bis 2024 deutlich niedriger als bei den Pkw. Damit erfolgt bei LNF im Szenario ein steilerer Hochlauf von BEV als bei Pkw. PHEV weisen im Jahr 2024 lediglich einen geringen Anteil von unter einem Prozent auf; zum Vergleich lag der Wert bei Pkw bei 7 %. Demnach werden bei LNF keine nennenswerten Anteile im Szenario angenommen. Die CO₂-Flottengrenzwerte werden in jedem Szenarienjahr eingehalten, siehe Abschnitt 4.3.3.1. Die angenommenen Anteile an den Neuzulassungen sind in der folgenden Tabelle gegeben.

Tabelle 79: Anteil der Neuzulassungen der LNF im Trendszenario nach Antriebsart

Jahr	Otto* (inkl. HEV)	Diesel (inkl. HEV)	CNG (inkl. HEV)	PHEV	BEV
2021	5 %	90 %	<1 %	<1 %	5 %
2022	6 %	86 %	<1 %	<1 %	8 %
2023	7 %	85 %	<1 %	<1 %	8 %
2024	6 %	89 %	<1 %	<1 %	5 %
2025	5 %	82 %	<1 %	<1 %	13 %
2026	5 %	78 %	<1 %	<1 %	17 %
2027	5 %	74 %	<1 %	<1 %	21 %

Jahr	Otto* (inkl. HEV)	Diesel (inkl. HEV)	CNG (inkl. HEV)	PHEV	BEV
2028	4 %	64 %	<1 %	<1 %	32 %
2029	4 %	54 %	<1 %	<1 %	43 %
2030	3 %	44 %	<1 %	<1 %	53 %
2031	2 %	36 %	<1 %	<1 %	61 %
2032	2 %	29 %	<1 %	<1 %	69 %
2033	1 %	22 %	<1 %	<1 %	77 %
2034	1 %	15 %	<1 %	<1 %	84 %
≥2035	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %

Quellen: bis 2024 nach KBA-Statistik; danach Annahmen Trendszenario. Anmerkungen: Werte gerundet, Zahlenwerte kleiner 0,5 % werden mit <1% gekennzeichnet. *LPG-Fahrzeuge werden den Otto-Fahrzeugen zugewiesen.

Aus dem steigenden Anteil der elektrischen Fahrzeuge resultiert eine Verdrängung der sonstigen Antriebe. Das Verhältnis der sonstigen Antriebe zueinander wird konstant gelassen. Wasserstofffahrzeuge werden analog zu den Pkw-Annahmen keine nennenswerten Anteile verbuchen.

Anhand der Neuzulassungszahlen und der technologiespezifischen Überlebenskurven können die Anteile der Technologien am LNF-Bestand über den gesamten Zeitraum des Szenarios ermittelt werden. Der absolute Bestand steigt im Szenario an. Zwar werden ab dem Jahr 2035 keine LNF mit Verbrennungsmotor zugelassen, jedoch weisen sie in diesem Jahr immer noch einen Anteil am Bestand von 61 % (ohne PHEV) auf. Der Bestand an BEV und PHEV liegt im Jahr 2025 bei ca. 101.000 und im Jahr 2030 bei ca. 421.000 Fahrzeugen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 80 dargestellt.

Tabelle 80: Entwicklung der LNF-Bestände im Trendszenario bis 2050

Jahr	Otto* (inkl. HEV)	Diesel (inkl. HEV)	CNG (inkl. HEV)	PHEV	BEV	LNF gesamt
2020	161.000	2.612.000	13.000	<1.000	27.000	2.812.000
2025	179.000	2.955.000	10.000	1.000	100.000	3.246.000
2030	165.000	2.754.000	7.000	1.000	420.000	3.347.000
2035	128.000	2.099.000	4.000	1.000	1.347.000	3.579.000
2040	78.000	1.271.000	2.000	<1.000	2.572.000	3.923.000
2045	43.000	690.000	1.000	<1.000	3.468.000	4.202.000
2050	21.000	337.000	<1.000	<1.000	4.039.000	4.397.000

Quelle: eigene Berechnung. Anmerkungen: Werte auf 1.000er-Stelle gerundet. *Inkl. LPG.

4.3.2.2 Schwere Nutzfahrzeuge und Busse

Im Jahr 2024 wurden laut KBA Neuzulassungen 43.381 Lkw mit einem Gesamtgewicht >3,5 t und 32.221 Sattelzugmaschinen zugelassen. Für die Folgejahre wird in Kopplung an die zunehmende Fahrleistung auch eine Zunahme der jährlichen SNF-Neuzulassungen angenommen. Im Jahr 2050 werden für Lkw >3,5 t 59.000, für Sattelzüge 48.100 Neuzulassungen angenommen.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist Diesel aktuell immer noch die dominierende Antriebsart. Dennoch stieg insbesondere der Neuzulassungsanteil von BEV-Lkw in den letzten Jahren, vor allem bei den Fahrzeugen im Bereich 3,5-12t zGG, wo er laut KBA im Jahr 2024 etwa 15 % an den Neuzulassungen ausmachte. Bei größeren Fahrzeugen war der Anteil von Elektroantrieben hingegen deutlich geringer (siehe Tabelle 81). Das Fahrzeugangebot hat sich jedoch in den letzten Jahren stark ausgeweitet, wie aus Analysen des ifeu für das Tool my-e-roads hervorgeht (My eRoads 2022). Während es vor dem Jahr 2018 elektrische Lkw in Deutschland lediglich als Prototypen oder Kleinserien gab, waren zum Oktober 2022 bereits über 60 Modelle verschiedener Hersteller und zum Oktober 2024 bereits 133 BEV- und 31 FCEV-Lkw-Modelle verfügbar bzw. angekündigt. Die BEV-Modelle haben meist Reichweiten im Bereich bis etwa 300 km (tendenziell Verteilerverkehre), teilweise auch bis 700 km, während die FCEV-Modelle auch Reichweiten über 700 km schaffen. Zentrale Instrumente, welche die Einführung von ZEV-Lkw unterstützen sind beispielsweise die europäischen CO₂- Flottengrenzwerte und die LKW-Maut. Das im Jahr 2021 ins Leben gerufene Förderprogramm des Bundesverkehrsministeriums (BMDV) für Klimaschonende Nutzfahrzeuge und ihre Infrastruktur (KsNI-Programm) wurde im Jahr 2024 aufgrund von Haushaltskürzungen gestoppt (Krenzer 2024).

Die Entwicklung der SNF-Flotte nach Antriebsarten für das Trendszenario wurde mithilfe des ifeu-Modells INGRID (Integrated Model for Green Trucking and Infrastructure Deployment) bestimmt. INGRID ermittelt auf Basis von bundesweiten Fahrzeug-, Verkehrs- und Infrastrukturdaten, welcher Antrieb für welche SNF-Klassen und Transportrelationen technisch umsetzbar und aus TCO¹⁶-Sicht am kostengünstigsten ist (ifeu 2025). Für die Energiekosten wurden die Rahmenbedingungen des Projektionsberichts 2025 (Kemmler et al. 2025) und die bereits beschlossenen Instrumente zugrunde gelegt¹⁷. Aufgrund des Kostenvorteils gegenüber Dieselfahrzeugen machen BEV bei den SNF bis zum Jahr 2030 zwischen 46 % (Lkw >12 t und Sattelzüge) und 62% (Lkw <=12 t) der Neuzulassungen aus. Bis 2040 steigen die Anteile deutlich und es kommen insbesondere bei den Sattelzugmaschinen auch FCEV dazu (siehe Tabelle 81). Der Projektionsbericht 2025 geht im MMS (Mit-Maßnahmen-Szenario) bis 2030 für alle Lkw insgesamt von 55 % ZEVs (davon 9 % FCEV) und bis 2040 von 99 % (davon 13 % FCEV) aus und kommt damit zu vergleichbaren Ergebnissen (UBA 2025). Die (NOW GmbH 2023) prognostizierte ausgehend von Gesprächen mit den Fahrzeugherstellern bis zum Jahr 2030 bei den Lkw >12 t einen Neuzulassungsanteil von ZEVs von 74% (davon 57% BEV, 17% FCEV). Allerdings basieren diese Prognosen auf Ankündigungen, deren Umsetzung auf freiwilliger Basis erfolgt.

Tabelle 81: Anteil der Neuzulassungen der SNF im Trendszenario nach Antriebsart

Baujahr	Diesel	CNG/LNG	BEV	FCEV
Lkw <= 12 t				
2023	90%	0,5%	9%	0,0%
2024	85%	0,4%	15%	0,0%
2025	83%	0,3%	17%	0,0%
2030	38%	0,0%	62%	0,0%
2040	0,9%	0,0%	97%	2,6%

¹⁶ Total Cost of Ownership

¹⁷ Anmerkung: Die Annahmen des Projektionsbericht 2025 wurden verwendet, da es sich um die offizielle Referenz der Bundesregierung handelt. Es existieren jedoch auch Argumente für weniger kostengünstige Entwicklungen der H₂-Preispfade, siehe https://www.my-e-roads.de/fileadmin/user_upload/My_eRoads_Broschüre.pdf

Baujahr	Diesel	CNG/LNG	BEV	FCEV
2050	0,0%	0,0%	97%	3,5%
Lkw > 12 t				
2023	97%	2,2%	0,8%	0,0%
2024	96%	2,3%	1,4%	0,0%
2025	94%	1,9%	4,4%	0,0%
2030	54%	0,0%	46%	0,0%
2040	2,1%	0,0%	93%	4,5%
2050	0,0%	0,0%	94%	6,0%
Sattelzüge				
2023	98%	1,3%	1%	0,0%
2024	98%	0,8%	2%	0,0%
2025	95%	0,7%	4%	0,0%
2030	54%	0,0%	46%	0,0%
2040	0,6%	0,0%	76%	23%
2050	0,0%	0,0%	77%	23%

Quellen: 2024 KBA-Daten, danach eigenen Annahmen.

Bei den Bussen wurden im Jahr 2024 laut KBA 5.382 Busse neu zugelassen. Aufgrund des Anstiegs der Fahrleistung wird zukünftig eine stetige Zunahme der Neuzulassungen auf ca. 6.400 Neuzulassungen im Jahr 2050 angenommen.

Wie bei den SNF zeigt sich bei den Bussen in den letzten Jahren ein starker Trend zu alternativen Antrieben und insbesondere hin zur Elektromobilität. Am höchsten ist die Durchdringung bei den Linienbussen, welche einen Anteil von 24 % BEV im Jahr 2024 aufwiesen. Laut dem „E-Bus Radar“ dürfte der E-Busbestand alleine aufgrund der aktuellen Bestellungen der Verkehrsunternehmen bis zum Jahr 2030 von den im Jahr 2024 3290 Elektrobussen (davon 340 Wasserstoffbusse) um weitere 5.950 Elektrobusse steigen (PwC 2025).

Verschiedene Instrumente unterstützen diese Entwicklung, darunter z.B. das „Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz vom 9. Juni 2021 (SaubFahrzeugBeschG)“ (Umsetzung der europäischen Clean Vehicle Directive, kurz CVD) und die europäischen CO₂-Flottengrenzwerte. Das E-Bus-Förderprogramm des Bundes zur Anschaffung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr wurde im Jahr 2024 eingestellt.

Für TREMOD wird angenommen, dass die BEV-Neuzulassungsanteile für alle Linienbusse in den Folgejahren ab 2025 weiter steigen. Inwiefern die Mindestanforderungen der CVD von 22,5% ab August 2021 erfüllt werden, ließ sich nicht überprüfen¹⁸. Bis 2030 steigt der NZL-Anteil aufgrund der CO₂-Flottengrenzwerte auf 64%, ab 2040 werden fast nur noch ZEV-Busse zugelassen. In Anlehnung zum E-Bus-Radar wird angenommen, dass ein Teil davon FCEV sind, der Großteil

¹⁸ Da laut E-Bus-Radar nur ein Teil der ÖPNV-Busse unter die CVD fallen, könnten die Neuzulassungsanteile von Elektrobussen an diesen Bussen auch höher sein als an der Gesamtflotte, welche TREMOD abbildet.

jedoch BEV. Entsprechend geht der Anteil von Diesel- und Gas-Bussen zukünftig weiter zurück. Plug-In-Hybrid und Wasserstoffbusse werden bisher nicht in TREMOD berücksichtigt, machen jedoch bei den aktuellen Zulassungen und Bestellungen einen geringen Anteil der alternativen Antriebe aus.

Für die Reise- und Fernlinienbusse wird mangels konkreter Daten dieselbe Entwicklung wie bei den Sattelzugmaschinen angenommen.

Tabelle 82: Anteil der Neuzulassungen der Linien- und Reisebusse im Trendszenario nach Antriebsart

Baujahr	Diesel	Diesel HEV	CNG	BEV	FCEV
Nahlinienbusse					
2023	52%	29%	0,8%	18%	0,0%
2024	45%	30%	0,7%	24%	0,0%
2025	38%	30%	0,6%	26%	5,0%
2030	3%	33%	0%	57%	7,5%
2040	0%	3%	0%	87%	10%
2050	0%	0%	0%	90%	10%
Fernlinien- und Reisebusse					
2023	99%	N/A	N/A	1%	0,0%
2024	98%	N/A	N/A	2%	0,0%
2025	96%	N/A	N/A	4%	0,0%
2030	54%	N/A	N/A	46%	0,0%
2040	1%	N/A	N/A	76%	23%
2050	0%	N/A	N/A	77%	23%

Quellen: 2024 KBA-Daten, danach eigenen Annahmen. Anmerkung: FCEV werden erstmal ab dem Jahr 2025 berücksichtigt.

4.3.2.3 Motorisierte Zweiräder und sonstige Fahrzeugkategorien

Im Jahr 2024 wurden laut KBA 251.169 Krafträder neuzugelassen. Die Neuzulassungen von Kleinkrafträdern nach Antrieben werden vom KBA nicht erfasst, laut dem europäische Verband ACEM wurden jedoch im Zeitraum Januar bis Dezember 2023 ca. 18.000 Mopeds in Deutschland zugelassen (im Jahr 2022 ca. 30.000), wobei aus der Statistik nicht hervorgeht ob elektrische Mopeds auch erfasst werden. Da die Vollständigkeit der ACEM-Daten nicht überprüft werden konnte, werden wie in der vorigen TREMOD-Version zukünftig jährliche Neuzulassungen von 40.000 Kleinkrafträdern angenommen. Dieser Wert sollte jedoch beim nächsten Update überprüft werden.

Die Neuzulassungen von Krafträdern und Kleinkrafträdern umfassen neben Benzin zunehmend batterieelektrische Fahrzeuge. Bei den Krafträdern waren im Jahr 2024 ca. 12% der Neuzulassungen batterieelektrisch und verzeichneten damit einen Anstieg gegenüber dem Jahr 2023. Die Neuzulassungen von Mopeds nach Antrieben wird zwar vom KBA nicht erfasst, jedoch zeigen

Zulassungsdaten des europäischen Verbandes ACEM, dass der Elektroanteil der Länder Belgien, Frankreich, Niederlande und Spanien im Zeitraum Januar bis Dezember 2024 insgesamt bei 28 % lag und damit gegenüber dem Jahr 2023 leicht gesunken ist (ACEM 2025).

Im TREMOD-Trendszenario wird angenommen, dass der Anteil elektrischer Zweiräder aufgrund der steigenden Preise für fossile Kraftstoffe zukünftig ansteigt. Da bei den MZR keine CO₂-Regulierung besteht, wird jedoch ein langsamerer BEV-Hochlauf als bei Pkw und SNF angenommen. Bei den Kleinkrafträder werden ab 2040 und bei den Krafträder ab 2050 nur noch e-Fahrzeuge verkauft (Tabelle 83).

Tabelle 83: Anteil der Neuzulassungen motorisierter Zweiräder im Trendszenario nach Antriebsart

Baujahr	Otto	BEV	Otto	BEV
	Krafträder		Kleinkrafträder	
2023	92%	7,6%	68%	32%
2024	88%	12%	72%	28%
2025	80%	20%	70%	30%
2030	50%	50%	25%	75%
2040	25%	75%	0%	100%
2050	0%	100%	0%	100%

Quelle: Bis 2024 für Krafträder KBA, für sonstige Werte eigene Annahmen

Bei den übrigen Kfz wurden im Jahr 2024 7.475 Fahrzeuge $\leq 3,5$ t (UeKfzl) mit einem BEV-Anteil von 13% und 12.694 Fahrzeuge mit $>3,5$ t (UeKfzs) zugelassen und einem BEV-Anteil von 9% zugelassen. Bei den restlichen Fahrzeugen handelt es sich Dieselfahrzeuge. Die Entwicklung im Trendszenario lehnt sich für Uekfzl an LNF und bei den Uekfzs an die Lkw an.

4.3.3 Entwicklung der Energieeffizienz

4.3.3.1 Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge

Personenkraftwagen

Gemäß den Daten des CO₂-Monitorings (im NEFZ) sind die durchschnittlichen CO₂-Emissionen von Neufahrzeugen in Deutschland seit 1990 deutlich gesunken. Seit 2015 stagniert jedoch der NEFZ- bzw. WLTP-Wert bei reinen Otto- und Diesel-Pkw. Dies ist in erster Linie auf den gestiegenen Anteil leistungsstarker Fahrzeuge (insb. SUV) zurückzuführen. Durch den steigenden Anteil an HEV, PHEV und BEV konnten trotz der zuletzt ausgebliebenen Verbrauchsverbesserungen (im Testzyklus) bei den Otto- und Diesel-Pkw die Flottengrenzwerte der Pkw eingehalten werden.

Im Trendszenario wird die künftige Effizienzsentwicklung von Otto- und Diesel-Pkw (ohne HEV) anhand der Entwicklung der Jahre 2013-2024 abgeleitet. Aufgrund der steigenden Fahrzeugmaße und einem höheren Gewicht steigt der Verbrauch von Diesel-Pkw tendenziell. Bei Otto- und Diesel-Pkw wird von einem steigenden Anteil von HEV ausgegangen. In TREMOD wird die Hybridisierung, sofern keine externe Lademöglichkeit vorliegt (PHEV), lediglich als Effizienzverbesserung definiert. HEV werden somit den konventionellen Otto- und Diesel-Fahrzeugen zugeordnet. Dies führt zu Verbrauchsminderungen durch HEV bei den definierten Fahrzeugkategorien

Otto-Pkw (inkl. HEV) und Diesel-Pkw (inkl. HEV). Die Steigerung der HEV-Anteile wird anhand der Entwicklung der letzten Jahre hergeleitet.

Sowohl beim WLTP als auch im Realbetrieb von HEV wird ein Verbrauchsvorteil von 9 % bei Otto und 4 % bei Diesel ggü. Verbrenner-Fahrzeugen ohne Hybridantrieb angenommen. Dieser Vorteil deckt sich mit den Angaben einer internen KBA-Auswertung für NEFZ/WLTP für Realverbrauch.

Die folgende Tabelle fasst die CO₂-Emissionen nach NEFZ bis 2020 und danach WLTP sowie die HEV-Anteile (ohne PHEV) an den Otto- bzw. Diesel-Pkw zusammen. Angegeben werden nur die Verbesserungen bis 2035, da danach im Szenario keine Pkw mit Verbrennungsmotor zugelassen werden, siehe Abschnitt 4.3.2.1.

Tabelle 84: CO₂-Emissionen nach NEFZ/WLTP und Hybridanteile für Otto- und Diesel-Pkw 2005-2035

Jahr	Otto ohne HEV	Otto-HEV	Otto HEV-Anteil	Otto inkl. HEV	Diesel ohne HEV	Diesel-HEV	Diesel HEV-Anteil	Diesel inkl. HEV
2005	175 g/km	-	-	175 g/km	162 g/km	-	-	162 g/km
2010	151 g/km	-	-	151 g/km	147 g/km	-	-	147 g/km
2015	129 g/km	92 g/km	1%	129 g/km	132 g/km	106 g/km	<1%	132 g/km
2020	129 g/km	117 g/km	14%	127 g/km	140 g/km	135 g/km	12%	139 g/km
2021	149 g/km	138 g/km	23%	146 g/km	174 g/km	161 g/km	22%	171 g/km
2022	151 g/km	139 g/km	27%	148 g/km	169 g/km	161 g/km	25%	167 g/km
2023	150 g/km	140 g/km	32%	147 g/km	166 g/km	158 g/km	30%	164 g/km
2024	147 g/km	138 g/km	37%	143 g/km	166 g/km	160 g/km	28%	164 g/km
2025	142 g/km	136 g/km	43%	137 g/km	172 g/km	161 g/km	33%	170 g/km
2030	146 g/km	135 g/km	74%	138 g/km	173 g/km	166 g/km	55%	169 g/km
2035	145 g/km	133 g/km	100%	133 g/km	177 g/km	170 g/km	78%	172 g/km

Quellen: bis 2024 Sonderauswertung KBA, nach 2024 eigene Ermittlung, für 2025 wurde die Angaben des KBA für das erste Halbjahr verwendet. Anmerkung: 2005-2020 nach NEFZ und 2021-2035 nach WLTP.

Die Verbräuche von PHEV werden konstant angenommen. LPG- und CNG-Fahrzeuge werden analog zu der oben beschriebenen Methode für Otto und Diesel abgeleitet.

Werden nun die Neuzulassungsanteile pro Fahrzeugtechnologie (siehe Abschnitt 4.3.2.1) herangezogen und mit den CO₂-Emissionen nach WLTP gewichtet, erhält man die CO₂-Flottenemissionen für Deutschland. Die Anteile wurden so gewählt, dass die EU-Flottengrenzwerte für den Zeitraum 2025-2027 und das Jahr 2030 unter den o. g. Effizienzentwicklungen und der Annahme, dass deutsche Pkw mit Verbrennungsmotor im Schnitt 12,9 g/km mehr emittieren, genau eingehalten werden (vgl. Abschnitt 4.3.2.1). Die folgende Tabelle stellt die CO₂-Flottengrenzwerte mitsamt der prozentualen Verbesserung ggü. 2021 dar.

Tabelle 85: CO₂-Flottenwerte bzw. -Flottengrenzwert für Pkw nach WLTP 2021-2035

Jahre	Deutschland	EU	Flottengrenzwert
2025	112 g/km ¹	103 g/km ²	
2026	106 g/km ¹	97 g/km ²	97 g/km ³ (-15%)
2027	99 g/km ¹	91 g/km ²	
2030	54 g/km	49 g/km	49 g/km (-55%)
≥2035	0 g/km	0 g/km	0 g/km (-100%)

Anmerkungen: ¹Verbrennerfahrzeuge in Deutschland emittieren 12,9 g/km mehr als der EU-Durchschnitt. ²der Mittelwert der Jahre 2025-2027 entspricht dem Grenzwert für diesen Zeitraum. ³Mittelwert für 2025-2027. Quellen: Eigene Berechnung anhand (EU 2019a), (Europäische Kommission 2023), (EU 2023) sowie (Europäische Kommission 2025).

Um die Realemissionen aus den WLTP-Werten abzuleiten, werden Zuschlagsfaktoren auf die Werte multipliziert. Diese wurden im Projekt (Tietge et al. 2020) abgeleitet.

Der reale Stromverbrauch von BEV wird konstant gelassen. Zwar sind Effizienzgewinne zu erwarten, jedoch stehen diese einem wahrscheinlichen Anstieg der Fahrzeuggewichte entgegen. Die folgende Tabelle fasst die angenommenen realen CO₂-Emissionen bzw. Stromverbräuche im elektrischen Betrieb von Pkw pro Neuzulassungsjahr zusammen. Bei PHEV resultiert eine Minderung durch den steigenden elektrischen Fahranteil. Die Verbräuche pro Betriebsmodus bleiben konstant.

Tabelle 86: Reale CO₂-Emissionen und Stromverbrauch bei Pkw-Neuzulassungen im Szenario

Jahr	Otto ¹	Diesel ¹	LPG	CNG	PHEV Otto ²	PHEV Diesel ²	BEV ³
2020	175 g/km	201 g/km	157 g/km	113 g/km	166 g/km & 201 Wh/km	206 g/km & 254 Wh/km	208 Wh/km
2021	172 g/km	204 g/km	153 g/km	106 g/km	165 g/km & 202 Wh/km	210 g/km & 256 Wh/km	228 Wh/km
2022	171 g/km	201 g/km	166 g/km	94 g/km	154 g/km & 202 Wh/km	192 g/km & 256 Wh/km	227 Wh/km
2023	167 g/km	194 g/km	167 g/km	93 g/km	154 g/km & 202 Wh/km	192 g/km & 256 Wh/km	230 Wh/km
2024	164 g/km	192 g/km	166 g/km	94 g/km	153 g/km & 202 Wh/km	191 g/km & 256 Wh/km	230 Wh/km
2025	163 g/km	194 g/km	164 g/km	103 g/km	153 g/km & 202 Wh/km	191 g/km & 256 Wh/km	230 Wh/km
2030	158 g/km	198 g/km	150 g/km	105 g/km	153 g/km & 202 Wh/km	191 g/km & 256 Wh/km	230 Wh/km
2035	152 g/km	201 g/km	135 g/km	103 g/km	153 g/km & 202 Wh/km	191 g/km & 256 Wh/km	230 Wh/km

Anmerkungen: bis 2024 real, nach 2024 Szenario. Emissionen bei Verwendung von fossilen Brennstoffen (bei Beimischung von Biokraftstoffen weichen die Werte gering ab). Stromverbrauch BEV und PHEV inkl. Ladeverluste. ¹Inkl. HEV. ²Angegeben werden die realen spezifischen CO₂-Emissionen im Verbrennermodus sowie der Stromverbrauch im Strommodus. ³Wie HBFEA 4.2.

Leichte Nutzfahrzeuge

Gemäß den Daten des CO₂-Monitorings (im NEFZ) sind die durchschnittlichen CO₂-Emissionen in Deutschland seit 2013 gesunken. Die Annahmen im Trendszenario für LNF folgen den Annahmen für Pkw. Der Hochlauf von HEV erfolgt hierbei deutlich zeitverzögert verglichen mit dem Hybridanteil bei Pkw. HEV weisen analog zu den Annahmen bei den Pkw einen Verbrauchsvorteil von 9 % bei Otto bzw. 2 % bei Diesel ggü. konventionellen Verbrennern auf. Die folgende Tabelle fasst die CO₂-Emissionen nach NEFZ und WLTP sowie die HEV-Anteile (ohne PHEV) an den Otto- bzw. Diesel-LNF zusammen. Angegeben werden nur die Verbesserungen bis 2035, da danach im Szenario keine LNF mit Verbrennungsmotor zugelassen werden, siehe Abschnitt 4.3.2.1.

Tabelle 87: CO₂-Emissionen nach NEFZ/WLTP und Hybridanteile für Otto- und Diesel-LNF 2015-2035

Jahr	Otto ohne HEV	Otto-HEV*	Otto HEV-Anteil	Otto inkl. HEV	Diesel ohne HEV	Diesel-HEV*	Diesel HEV-Anteil	Diesel inkl. HEV
2015	189 g/km	107 g/km	2%	188 g/km	188 g/km	108 g/km	<1%	188 g/km
2020	176 g/km	325 g/km	2%	178 g/km	178 g/km	162 g/km	<1%	178 g/km
2021	189 g/km	306 g/km	1%	191 g/km	221 g/km	226 g/km	<1%	221 g/km
2022	194 g/km	308 g/km	2%	196 g/km	217 g/km	218 g/km	<1%	217 g/km
2023	199 g/km	330 g/km	1%	200 g/km	220 g/km	225 g/km	<1%	220 g/km
2024	191 g/km	335 g/km	1%	193 g/km	220 g/km	234 g/km	<1%	220 g/km
2025	188 g/km	170 g/km	2%	188 g/km	216 g/km	212 g/km	<1%	216 g/km
2030	177 g/km	160 g/km	23%	173 g/km	202 g/km	199 g/km	22%	201 g/km
2035	168 g/km	152 g/km	49%	160 g/km	190 g/km	187 g/km	37%	189 g/km

Quellen: bis 2024 Sonderauswertung KBA, nach 2024 eigene Ermittlung. Anmerkungen: *Die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge ist sehr gering, dadurch können große Sprünge entstehen; zudem können die zugelassenen HEV größer sein als die reinen Verbrennerfahrzeuge, sodass die Verbräuche höher sind. 2005-2020 nach NEFZ und 2021-2035 nach WLTP.

CNG-Fahrzeuge werden analog zu der oben beschriebenen Methode für Otto und Diesel abgeleitet. Für Otto-PHEV werden keine Verbesserung nach dem Jahr 2024 angenommen. LPG- und Diesel-PHEV-LNF sind im Szenario nicht definiert. Allgemein sind die Anteile der drei genannten Segmente vernachlässigbar klein, siehe Abschnitt 4.3.2.1.

Werden nun die Neuzulassungsanteile pro Fahrzeugtechnologie (siehe Abschnitt 4.3.2.1) herangezogen und mit den CO₂-Emissionen nach WLTP gewichtet, erhält man die CO₂-Flottenemissionen. Die Anteile wurden so gewählt, dass die EU-Flottengrenzwerte für den Zeitraum 2025-2027 und das Jahr 2030 unter den o. g. Effizienzentwicklungen und der Annahme, dass deutsche LNF mit Verbrennungsmotor im Schnitt 11 % mehr emittieren, genau eingehalten werden (vgl. Abschnitt 4.3.2.1). Die folgende Tabelle stellt die CO₂-Flottengrenzwerte mitsamt der prozentualen Verbesserung ggü. 2021 dar.

Tabelle 88: CO₂-Frottengrenzwert für LNF nach WLTP 2021-2035

Jahre	Deutschland	EU	Frottengrenzwert
2025	187 g/km ¹	168 g/km ²	
2026	176 g/km ¹	158 g/km ²	158 g/km ³ (-15%)
2027	165 g/km ¹	148 g/km ²	
2030	93 g/km	84 g/km	84 g/km (-50%)
≥2035	0 g/km	0 g/km	0 g/km (-100%)

Anmerkungen: ¹Verbrennerfahrzeuge in Deutschland emittieren 11 % mehr als der EU-Durchschnitt. ²der Mittelwert der Jahre 2025-2027 entspricht dem Grenzwert für diesen Zeitraum. ³Mittelwert für 2025-2027. Quellen: (EU 2019a), (Europäische Kommission 2023), (EU 2023) sowie (Europäische Kommission 2025).

Um die Realemissionen aus den WLTP-Werten abzuleiten, werden Zuschlagsfaktoren auf die Werte multipliziert. Diese wurden im Projekt (Tietge et al. 2020) abgeleitet. Für CNG-LNF werden die Faktoren von Otto-LNF übernommen.

Der Verbrauch von BEV wird nach dem Jahr 2024 wie bei Pkw konstant gelassen. Zwar sind auch hier Effizienzgewinne zu erwarten, jedoch stehen diese einem wahrscheinlichen Anstieg der Fahrzeuggewichte entgegen. Die folgende Tabelle fasst die angenommenen realen CO₂-Emissionen bzw. Verbräuche im elektrischen Betrieb von LNF pro Neuzulassungsjahr zusammen. Zu beachten ist, dass bei der Fahrzeugkategorie LNF drei unterschiedliche Größenklassen (M+N1-I, N1-II und N1-III) zusammengefasst sind. Dies kann insb. bei Antriebstechnologien mit sehr geringen Anteilen zu großen Sprüngen zwischen den Jahren führen.

Tabelle 89: Reale CO₂-Emissionen und Stromverbrauch bei LNF-Neuzulassungen im Szenario

Jahr	Otto ¹	Diesel ¹	CNG	Otto-PHEV ²	BEV ³
2020	232 g/km	261 g/km	200 g/km	226 g/km & 402 Wh/km	422 Wh/km
2021	207 g/km	253 g/km	171 g/km	215 g/km & 355 Wh/km	425 Wh/km
2022	158 g/km	231 g/km	202 g/km	196 g/km & 355 Wh/km	432 Wh/km
2023	175 g/km	237 g/km	200 g/km	196 g/km & 385 Wh/km	434 Wh/km
2024	184 g/km	236 g/km	204 g/km	195 g/km & 385 Wh/km	433 Wh/km
2025	179 g/km	232 g/km	204 g/km	195 g/km & 385 Wh/km	429 Wh/km
2030	166 g/km	217 g/km	204 g/km	195 g/km & 385 Wh/km	430 Wh/km
2035	153 g/km	203 g/km	204 g/km	190 g/km & 385 Wh/km	430 Wh/km

Anmerkungen: bis 2024 real, nach 2024 Szenario. Stromverbrauch BEV und PHEV inkl. Ladeverluste. Emissionen bei Verwendung von fossilen Brennstoffen (bei Beimischung von Biokraftstoffen weichen die Werte gering ab). In TREMOD sind

keine Diesel-PHEV- und LPG-LNF hinterlegt. ¹Inkl. HEV. ²Angegeben werden die realen spezifischen CO₂-Emissionen im Verbrennermodus sowie der Stromverbrauch im Strommodus. ³Wie HBEFA 4.2.

4.3.3.2 Schwere Nutzfahrzeuge und Busse

Mit der am 20. Juni 2019 veröffentlichten Verordnung (EU) 2019/1242 lag erstmals eine CO₂-Grenzwertgesetzgebung für neue SNF vor (EU 2019b), welche am 26. Juni 2024 angepasst wurde. Neu zugelassene schwere Nutzfahrzeuge müssen dabei gegenüber dem Jahr 2019 die folgenden Minderungen der spezifischen CO₂-Emissionen (g CO₂/tkm) erbringen:

- ▶ 15 % bis 2025
- ▶ 45 % bis 2030
- ▶ 65 % bis 2035
- ▶ 90 % bis 2040

Die CO₂-Emissionen von neuen Sattelaufiegern müssen ab dem Jahr 2030 um 10 % und für alle anderen neuen Anhänger/Auflieger um 7,5% reduziert werden. Weiterhin müssen bis 2030 90% und bis 2035 100% der neuzugelassenen Stadtbusse ZEVs sein.

Ein entscheidender Faktor zur Einhaltung der CO₂-Gesetzgebung ist neben der Entwicklung der Energieeffizienz der Verbrenner der Anteil von ZLEVs (Zero- and Low-Emission Vehicles), u.a. BEV, FCEV, oder PHEV, an den Neuzulassungen. Aufgrund der hohen Neuzulassungsanteile von ZEVs im Trendszenario von über 46 % im Jahr 2030, welche bis 2040 auf über 98 % ansteigen (vgl. 4.3.2.2) werden die CO₂-Grenzwerte gemäß Verordnung (EU) 2019/1242 überwiegend durch den steigenden Anteil von E-Lkw eingehalten. Der spezifische Energieverbrauch der Verbrenner-Lkw sinkt zukünftig um ca. 0,5% p.a. Dies entspricht in etwa den Verbesserungen in der Vergangenheit, siehe (Heidt et al. 2019). Für den Zeitraum nach 2030 wird wie bisher ebenfalls eine Verbesserung um 0,5% p.a. angenommen, wobei neben Verbesserungen des Wirkungsgrades auf die Grenzwerte für Anhänger und Auflieger einen Einfluss haben dürften. Vereinfacht bezieht sich diese Minderung auf die Fzg.-km pauschal für alle SNF-Klassen. Für Elektrofahrzeuge wird bisher keine Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs angenommen, da eine Zunahme des Fahrzeuggewichtes aufgrund größerer Batterien die sonstigen Effizienzpotenziale kompensieren könnten¹⁹.

Für die Busse wird vereinfacht dieselbe Verbesserung bei Verbrennern wie bei den SNF übernommen, d.h. 0,5 % p.a. für Linien-, Fernlinien- und Reisebusse.

4.3.3.3 Motorisierte Zweiräder und sonstige Fahrzeugkategorien

Für die motorisierten Zweiräder wird keine Effizienzverbesserung angenommen.

Für die leichten übrigen Kfz werden dieselben Verbesserungsraten wie für LNF, für schwere übrige Kfz dieselben Verbesserungsraten wie für Lkw angenommen.

4.3.4 Entwicklung der spezifischen Emissionen

Die Entwicklung der spezifischen Emissionen im Trendszenario ergibt sich aus den Emissionsfaktoren des HBEFA 4.2 und der Emissionsgesetzgebung für Straßenfahrzeuge bis Euro 6/VI. Ab dem Jahr 2024 neuzugelassene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge entsprechen dem Emissionsstandard Euro 6-d, Busse und SNF der Norm Euro VI D-E.

¹⁹ Dieser Annahmen liegen interne Analysen aus dem Projekt My eRoads zugrunde (Jöhrens et al. 2023)

Mit der Verordnung (EU) 2024/1257 vom April 2024 liegt auch ein Beschluss für die Einführung der Euro 7-Norm vor. Die Auswirkung der Euro 7-Norm auf die Emissionsfaktoren im Realen Betrieb ist Gegenstand der laufenden Entwicklung für das HBEFA 5.1. Da diese Daten zum Zeitpunkt der TREMOD-Aktualisierung noch nicht vorlagen, wird die Euro 7-Norm nach Möglichkeit in der nächsten TREMOD-Version berücksichtigt.

4.4 Schienenverkehr

4.4.1 Betriebsleistung und Auslastung

Die Auslastungsgrade des Personenverkehrs der DB AG nahm bis 2019 zu. Nach dem pandemiebedingten Einbruch im Jahr 2020 stieg die Auslastung bis 2024 wieder deutlich an und lag im Personennahverkehr über, im Fernverkehr unter dem Niveau von 2019. Es wird angenommen, dass das Niveau des Personenfernverkehrs von 2019 bis 2030 wieder erreicht wird. Bis 2040 wird eine weitere Zunahme von 3,6% angenommen, danach bleiben die Auslastungen konstant. Beim Personennahverkehr wird keine weitere Zunahme nach 2024 angenommen, d.h. es wird das höhere Niveau, das durch die Einführung des Deutschlandtickets erreicht wurde, fortgeschrieben.

Beim Güterverkehr gibt es in einzelnen Jahren Schwankungen nach oben und unten. So lag der Wert 2024 etwas niedriger als 2019. Im Szenario wird aufgrund der Änderungen der Güterstruktur in der Verkehrsprognose 2040 (weniger Massengüter, mehr Fertigwaren und Container) keine Änderung der mittleren Auslastung angenommen, d.h. Verbesserungen in Technik und Logistik werden durch den Güterstruktureffekt kompensiert. Die Auslastungsgrade der DB AG wurden mangels eigener Daten auch für den Eisenbahnverkehr der NE-Bahnen übernommen.

Tabelle 90: Entwicklung der Auslastungsgrade im Güter-, Personenfern- und Personennahverkehr

Zuggattung	2019	2024	2025	2030	2040	2050	2019-2030	2030-2050
GV	57,3%	54,0%	54,0%	54,0%	54,0%	54,0%	-5,8%	-0,0%
PFV	56,3%	47,0%	49,0%	56,0%	58,0%	58,0%	-0,5%	+3,6%
PNV	28,1%	30,1%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	6,6%	0,0%

Quelle: DB AG, Verkehrsprognose 2040²⁰, eigene Annahmen

Bei den Anteilen der Betriebsarten Diesel- und Elektrotraktion wurde unterstellt, dass sich die Zunahme des Anteils elektrisch betriebener Züge fortsetzt. Die DB AG verfolgt das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2040 gegenüber 2019 um 90% zu senken (DB AG 2025a). Neben der Elektrifizierung bzw. des Neubaus weiterer Strecken wird erwartet, dass auch auf nicht-elektrifizierten Strecken zukünftig andere Antriebsarten zum Zuge kommen. So werden im Pfalznetz ab 2025 Neufahrzeuge mit batterie-elektrischem Antrieb (BEMU) eingesetzt (DB AG 2025b). Andere Antriebsformen wie Brennstoffzellen (HEMU) werden im Probefahrzeug eingesetzt.²⁰ Aus diesem Grund wurde gegenüber TREMOD 6.53 die Zunahme des Anteils der Elektrotraktion bis 2050 bei allen Verkehrsarten heraufgesetzt. Brennstoffzellenbetrieb wird nicht

²⁰ <https://www.dw.com/de/der-erste-ohne-emissionen-brennstoffzellen-zug-startet/a-45516725>

explizit berücksichtigt, da die reguläre Einführung im größeren Umfang noch unsicher ist. Außerdem wurde angenommen, dass auch das Rangieren von Dieseltraktion auf Elektrotraktion umgestellt wird.

Auf Unternehmensebene will die DB AG die Ziele zusätzlich u.a. durch Umstellung von Dieselkraftstoffen auf HVO und Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am DB-Bahnstrommix auf 100 % im Jahr 2038 erreichen. Diese Ziele werden in TREMOD nicht direkt abgebildet, da für das Trendszenario die Entwicklung auf nationaler Ebene insgesamt relevant ist, wie die Entwicklung des nationalen Strommixes (siehe Kapitel 1.4.2) und die Einhaltung der gesetzlichen THG-Quoten (siehe Anhang A.1). Somit werden unternehmensspezifische Entwicklungen nicht separat berücksichtigt.

Beim Eisenbahnverkehr der NE-Bahnen wird ebenfalls eine Abnahme des Anteils der Dieseltraktion angenommen. Andere Antriebsarten werden vorerst nicht berücksichtigt.

Die angenommenen Anteile der Dieseltraktion an den Betriebsleistungen sind in Tabelle 91 zusammengefasst.

Tabelle 91: Entwicklung des Dieselanteils an den Betriebsleistungen im Güter-, Personenfern- und Personennahverkehr

Bereich	2019	2024	2025	2030	2040	2050	2019-2040	2040-2050
GV DB	4,0%	6,2%	5,8%	4,0%	2,0%	0,5%	-51%	-75%
PFV DB	1,6%	0,8%	0,8%	1,0%	0,8%	0,6%	-49%	-25%
PNV DB	13,0%	15,1%	14,0%	8,0%	5,0%	3,0%	-61%	-40%
GV NE	6,2%	4,1%	4,0%	3,5%	2,1%	0,5%	-65%	-75%
PNV NE	33,5%	27,8%	25,4%	13,4%	8,4%	3,4%	-75%	-60%
Rangieren	100%			50%	20%	10%	-80%	-50%

Quelle: DB AG, eigene Annahmen

4.4.2 Entwicklung der Energieeffizienz

Durch die Einführung neuer Fahrzeuge (z. B.: ICE 3, ICE 4, moderne Triebwagen im Personennahverkehr) wurden im Schienenverkehr in den vergangenen Jahren Effizienzverbesserungen erreicht, v.a. durch Gewichtseinsparung und Stromrückspeisung. Es wird angenommen, dass künftig weitere Effizienzsteigerungen erzielt werden können

Diese Annahmen werden für das Trendszenario wie folgt übernommen:

- ▶ Absenkung des spezifischen Energieverbrauchs je Platz-km bis 2050 um 0,5 % pro Jahr.
- ▶ Im Güterverkehr: Minderung des spezifischen Energieverbrauchs je angebotenen Tonnenkilometer um 0,5 % pro Jahr.

4.4.3 Entwicklung der spezifischen Emissionen

Die für den Schienenverkehr eingeführten Grenzwerte der Stufe IIIa sind seit Anfang 2009 vollständig in Kraft getreten. Die nächste Stufe IIIb folgte im Jahr 2012. Im Jahr 2021 erfolgt die Einführung einer weiteren Grenzwertstufe, die eine Verschärfung bei den Partikelemissionen der

Triebwagen vorsieht. Im Trendszenario wird angenommen, dass diese Grenzwerte im Realbetrieb umgesetzt werden. Dabei werden folgende Zeithorizonte angenommen:

- ▶ Personenverkehr: Bis 2040 verkehren nur noch Triebwagen der Stufe V und keine lokbespannten Züge mehr. Es werden dadurch bis 2040 Emissionswerte von 10 g NO_x /kg Kraftstoff und 0,08 g Partikel/kg Kraftstoff für die mittlere Flotte erreicht.
- ▶ Güterverkehr: Die Grenzwerte der Stufe V werden bis 2040 vollständig in der Flotte umgesetzt. Daraus ergeben sich bis 2040 Emissionswerte von 20 g NO_x/kg Kraftstoff und 0,12 g Partikel/kg Kraftstoff.
- ▶ Rangierlokomotiven erreichen aufgrund der früheren Verschärfung bereits mit Stufe IIIa ab 2007 die Zielwerte für die mittlere Flotte bereits 2030. Sie entsprechen in ihrer Höhe dann denjenigen im Güterverkehr.

Tabelle 92: Emissionsgrenzwerte Schienenverkehr (g/kWh)

Stufe	Gültig ab*	Leist.-kl. (kW)	CO	HC	NO _x	PM
Triebwagen						
IIIa	1/06	Alle	3,5		4,0 (HC+NO _x)	0,2
III b	1/12	Alle	3,5	0,19	2,0	0,025
V	2021	Alle	3,5	0,19	2,0	0,015
Lokomotiven						
IIIa	1/07	≤560	3,5		4,0 (HC+NO _x)	0,2
IIIa	1/09	>560	3,5	0,5	6,0	0,2
IIIa	1/09	>2000	3,5	0,4	7,4	0,2
IIIb	1/12	Alle	3,5		4,0 (HC+NO _x)	0,025
V	2021	Alle	3,5		4,0 (HC+NO _x)	0,025

Bemerkungen: *Gültig für neue Fahrzeuge; neue Typen 6-12 Monate später; Quelle: EU 2002a

Diese Annahmen wurden gegenüber der TREMOD-Version 6.23 nicht verändert.

4.5 Binnenschifffahrt

4.5.1 Auslastung und zurückgelegte Schiffskilometer

Die Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt werden über die Größenklassenverteilung (Tragfähigkeitsklassen) der Schiffe und die mittlere Auslastung der Tragfähigkeit in die zurückgelegten Schiffskilometer umgerechnet. Die Annahmen aus (Heidt et al. 2016) zur Zunahme der mittleren Tragfähigkeit werden beibehalten. Die durchschnittliche Auslastung ändert sich hingegen nicht und orientiert sich an Werten vergangener Jahre (2010-2019). Für das Jahr 2023 war die mittlere Beladung pro Schiff mit 967 t wie bereits im Jahr 2022 niedriger als in den Vorjahren. Für das Jahr 2024 lagen noch keine Daten zur Auslastung vor, daher wird die Auslastung aus 2022 übernommen. In den Folgejahren wird angenommen, dass die mittlere Beladung wieder ähnlich zu den Vorjahren bei knapp unter 1.200 t liegt und bis zum Jahr 2030 auf 1.270 t ansteigt. Danach bleibt die Beladung konstant.

4.5.2 Entwicklung der Energieeffizienz und Antriebsarten

Die Annahmen für die Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs wurden ebenfalls aus (Heidt et al. 2016) übernommen. Aus einer Kombination aus technischen und betrieblichen Verbesserungsmaßnahmen ergibt sich im Trendszenario eine durchschnittliche Reduktion des Energieverbrauchs pro Tonnenkilometer von ca. 1% p.a. Es wird angenommen, dass diese Maßnahmen ohne politische Vorgaben umgesetzt werden, da derzeit noch keine Regulierungen zur Energieeffizienz der Binnenschifffahrt existieren.

Die Durchdringung mit alternativen Antrieben in der Binnenschifffahrt ist derzeit noch vernachlässigbar. Laut Marktanalysen der ZKR waren bis 2023 lediglich 34 Schiffe bzw. 0,2 % der europäischen Binnenschiffsflotte mit sog. innovativen Antrieben ausgestattet. Im Bereich der Güterschiffe sind dies vor allem LNG-Schiffe (davon 26 Tankschiffe), jedoch waren auch batterieelektrische und weitere Schiffe auf den Markt (ZKR 2024).

Konkrete Maßnahmen, um die Dekarbonisierung der Schifffahrt (sowohl See- als auch Binnenschifffahrt) voranzutreiben existieren bisher vereinzelt, wie beispielsweise das Förderprogramm zur nachhaltigen Modernisierung der Küsten- bzw. der Binnenschifffahrt (BMVI 2021). Weitere Maßnahmen sollen in dem vom BMDV und BMWK im Jahr 2024 ins Leben gerufenen Nationalen Aktionsplan klimafreundliche Schifffahrt (NAPS) erarbeitet werden. Zum Zeitpunkt dieses Berichts lagen jedoch noch keine konkreten Pläne vor.

Als Kraftstoff wird für Binnenschiffe im TREMOD-Trendszenario neben Diesel LNG betrachtet, dessen Anteil am gesamten Energieverbrauch der Binnenschifffahrt jedoch weniger als 0,1 % ausmacht. Eine zukünftige Zunahme von LNG im Trendszenario wird im Gegensatz zu früheren Versionen bis TREMOD 6.53 nicht angenommen. Der Einsatz anderer alternativer Antriebe, z. B. BEV, FCEV, oder synthetischer Kraftstoffe wird für Binnenschiffe in TREMOD bisher nicht berücksichtigt.

Alle weiteren Annahmen zur Flottenstruktur, z. B. zu Schiffs-, Ladungsarten und Tragfähigkeitsklassen werden aus (Heidt et al. 2016) beibehalten.

4.5.3 Entwicklung der spezifischen Emissionen

Die Berechnungsmethodik der Binnenschifffahrt im Modul TREMOD-NA berücksichtigt die spezifischen Emissionen der Binnenschiffsmotoren nach Baujahren. In der zukünftigen Entwicklung wird über Überlebensfunktionen eine Umschichtung des Motorenbestands in der Binnenschifffahrt modelliert.

Folgende Maßnahmen sind für Binnenschiffe von Relevanz:

- ▶ Die Emissionsgesetzgebung für Binnenschiffsmotoren (Verordnung 2016/628) wird über die Altersverteilung der Binnenschiffsmotoren in TREMOD berücksichtigt. Diese betrifft für das Trendszenario insbesondere die ab dem Jahr 2019 eingeführte Abgasstufe V. Aufgrund der geltenden Übergangsfristen für das Inverkehrbringen von Motoren und deren durch die COVID 19 bedingte Verlängerung wird angenommen, dass erst ab dem Jahr 2022 ausschließlich Stufe V-Motoren neu in Verkehr gebracht wurden.
- ▶ Das Programm zur Förderung zur Modernisierung von Binnenschiffen des BMDV wurde bis 2021 verlängert und stellt Zuschüsse zur Anschaffung moderner Binnenschiffsantriebe zur Verfügung. Jedoch ist laut Einschätzung des VDMA, siehe in (Heidt et al. 2016), unklar ob die Modernisierungsrate der Motoren mit dem Inkrafttreten der Stufe V kurzfristig abnimmt. Die Einbaurate neuer Motoren wird daher in TREMOD auf einem etwas geringeren Niveau als in den letzten Jahren, in welchen das Förderprogramm schon bestand, fortgeführt.

Durch die getroffenen Annahmen zur Flottenerneuerung und Einführung der Stufe V gehen die spezifischen Emissionen zukünftig weiter zurück (Tabelle 93).

Tabelle 93: Mittlere Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt (in g/kg Dieselkraftstoff) im Trendszenario

Komponente	2025	2030	2035	2040	2050
CO	8,3	7,5	6,8	6,2	5,6
HC	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4
NO _x	43,1	35,7	28,6	23,0	17,4
PM	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2

Quelle: (Heidt et al. 2016; Knörr et al. 2013, 2020); eigene Berechnungen

4.6 Flugverkehr

4.6.1 Entwicklungen der Verkehrsleistung und Flugzeugkilometer

Für das Jahr 2024 liegen bereits die Daten (Verkehrsleistungen und Flugzeugkilometer) des gewerblichen Flugverkehrs auf den Hauptverkehrsflughäfen (HVF) vor. Für den sonstigen Flugverkehr werden als Schätzung die Verkehrsmengen aus dem Vorjahr übernommen.

Für das Jahr 2040 sind über die „Verkehrsprognose 2040“ die relativen Entwicklungen gegenüber 2019 aus Tabelle 94 gegeben.

Tabelle 94: Relative Entwicklung der Verkehrsleistung des Flugverkehrs 2019-2040

	National	International
Personenverkehr	-11%	+48%
Güterverkehr	-7%	+76%

Quelle: Verkehrsprognose 2040.

Zusätzlich werden auch die Änderungsraten des Verkehrsaufkommens differenziert nach nationalen, europäischen (ohne national) und internationalen (ohne Europa) Flügen angegeben, siehe Tabelle 95.

Tabelle 95: Jährliche rel. Entwicklung des Verkehrsaufkommens des Flugverkehrs 2019-2040

	National	Europa (ohne nationale Flüge)	International (ohne europäische Flüge)
Personenverkehr	-0,5% p.a.	+1,6% p.a.	+1,9% p.a.
Güterverkehr	-0,3% p.a.	+2,3% p.a.	+3,0% p.a.

Quelle: Verkehrsprognose 2040 – Band 5.1 E: Luftverkehrsprognose Prognosefall 1 „Basisprognose 2040“ (Ergebnisse) Abbildung 4-15.

Für das Szenario nach 2024 werden folgende Schritte durchgeführt:

- Fortschreibung des Trends der Jahre 2000 bis 2024 für die Größen „Starts“, „Passagieraufkommen“ und „Güteraufkommen (Post, sonstige Güter)“ differenziert nach Betriebsart und

Relation.²¹ Die Trendfortschreibung wird über eine jährliche Änderungsrate abgebildet und wird auf 2040 übertragen. Der erste Schritt dient der Abschätzung der Auslastungsänderung, die nicht gänzlich über die „Verkehrsprognose 2040“ abgeleitet werden kann. Die abgeleiteten Entwicklungen sind in Tabelle 96 zu finden.

- b) Die Zwischenergebnisse aus dem ersten Schritt werden auf die Werte der „Verkehrsprognose 2040“ aus Tabelle 95 skaliert. Die Auslastung der Flugzeuge wird hierbei gegenüber dem ersten Schritt nicht verändert.
- c) Im Anschluss erfolgt die Skalierung auf die Angaben aus Tabelle 94, sodass TREMOD dieselben relativen Entwicklungen der Verkehrsleistungen aufweist wie die „Verkehrsprognose 2040“.
- d) Für die Jahre zwischen 2024 und 2040 wird eine lineare Interpolation vorgenommen. Nach 2040 wird diese Entwicklung linear fortgeschrieben.

Tabelle 96: Jährliche rel. Entwicklung des Flugverkehrs zwischen 2000-2024

	Starts		Passagiere		Fracht (ohne Post)	
	National	Internat.	National	Internat.	National	Internat.
Gewerbliche Starts auf HVF	-3,09% p.a.	0,85% p.a.	-2,60% p.a.	2,67% p.a.	0,54% p.a.	3,16% p.a.
Gewerbl. Starts auf sonst. Flugplätzen	-1,10% p.a.	-2,37% p.a.	-6,11% p.a.	-7,60% p.a.	-3,36% p.a.	-8,40% p.a.
Nicht-gewerbliche Starts	-1,51% p.a.	-0,99% p.a.	-0,68% p.a.	-0,26% p.a.	/	/

Quelle: Eigene Berechnung anhand TREMOD-AV_2024_1.

Folgende Tabelle zeigt die Anzahl Starts sowie die Verkehrsleistungen für gewerbliche und nicht-gewerbliche Flüge. Für die Gesamtemissionen sind die gewerblichen Flüge von den Hauptverkehrsflughäfen maßgeblich. Beim nationalen Flugverkehr sind die gewerblichen Starts trotz der steigenden Verkehrsleistung rückläufig, da von einem Anstieg der Plätze pro Flug und einer Auslastungserhöhung ausgegangen wird. Zwar weisen die gewerblichen Flüge von den sonstigen Flugplätzen und insbesondere der nicht-gewerbliche Flugverkehr eine hohe Anzahl an Starts auf, jedoch sind zum einen die Flugdistanzen im Schnitt deutlich kürzer und zum anderen werden kleinere Flugzeuge (z. B. Propellermaschinen zwischen den Ostfriesischen Inseln) eingesetzt.

Tabelle 97: Anzahl Starts

Jahr	Starts [Mio.]		Personenverkehr [Mrd. Pkm]		Güterverkehr [Mrd. tkm]	
	National	Internat.	National	Internat.	National	Internat.
2019	1,73	0,88	10,5	245,5	0,049	12,1
2020	1,47	0,38	2,9	60,9	0,046	11,0
2021	1,57	0,45	2,4	78,3	0,051	13,2

²¹ Betriebsart: gewerbliche Flüge auf den Hauptverkehrsflughäfen, gewerbliche Flüge auf den sonstigen Flughäfen, nicht-gewerbliche Flüge. Relation: national, international.

Jahr	Starts [Mio.]		Personenverkehr [Mrd. Pkm]		Güterverkehr [Mrd. tkm]	
2022	1,60	0,68	4,4	173,8	0,049	13,2
2023	1,60	0,74	5,2	212,8	0,046	12,6
2024	1,48	0,77	5,4	230,6	0,042	12,4
2025	1,47	0,78	5,7	238,9	0,043	13,0
2030	1,43	0,81	6,9	280,4	0,044	15,7
2035	1,40	0,84	8,1	321,9	0,045	18,5
2040	1,37	0,87	9,4	363,4	0,046	21,3
2045	1,33	0,90	10,6	404,9	0,047	24,1
2050	1,30	0,93	11,8	446,4	0,048	26,9

Quellen: Eigene Berechnung anhand TREMOD-AV_2024_1. Anmerkung: 2019-2023: Realjahre, 2024: Realjahr für den gewerblichen Verkehr auf HVF, sonstiger Flugverkehr abgeschätzt. 2025-2050: Szenario. Tabelle enthält den gewerblichen sowie nicht-gewerblichen Flugverkehr.

4.6.2 Entwicklungen der spezifischen Emissionen

Der spezifische Verbrauch (Effizienzgewinn pro Pkm) ist in der „Verkehrsprognose 2040“ für 2040 mit 26 % gegenüber 2019 gegeben. Dieser Wert wird für TREMOD übernommen. Dies entspricht einer jährlichen Verbesserungsrate von 1,4 %.

Bei den NO_x-Emissionen werden Verbesserungen pro Flugzeug-km (CCD) und Start (LTO) in Höhe von 2,0 % p. a. und bei den PM-Emissionen 1,1 % p. a. angenommen (Fleming et al. 2022). Für die sonstigen Schadstoffemissionen liegen keine Zielwerte vor, sodass hier vereinfachend von keinen Verbesserungen pro Flugzeug-km ausgegangen wird (Verbesserungen pro Pkm erfolgen jedoch aus Auslastungserhöhungen).

4.7 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden ausgewählte Ergebnisse des Verkehrs in Deutschland im Trendszenario dargestellt. Schwerpunkt sind die Ergebnisse für den Inlandsverkehr, wie sie mit TREMOD berechnet wurden. Eine Sonderstellung hat hierbei der Luftverkehr, welcher alle von Deutschland abgehenden und damit auch internationale Flüge beinhaltet. Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen wird außerdem in der Abgrenzung des Bundesklimaschutzgesetzes (KSG) gezeigt. Damit kann ein Vergleich der Ergebnisse mit den Zielen des KSG gezogen werden.

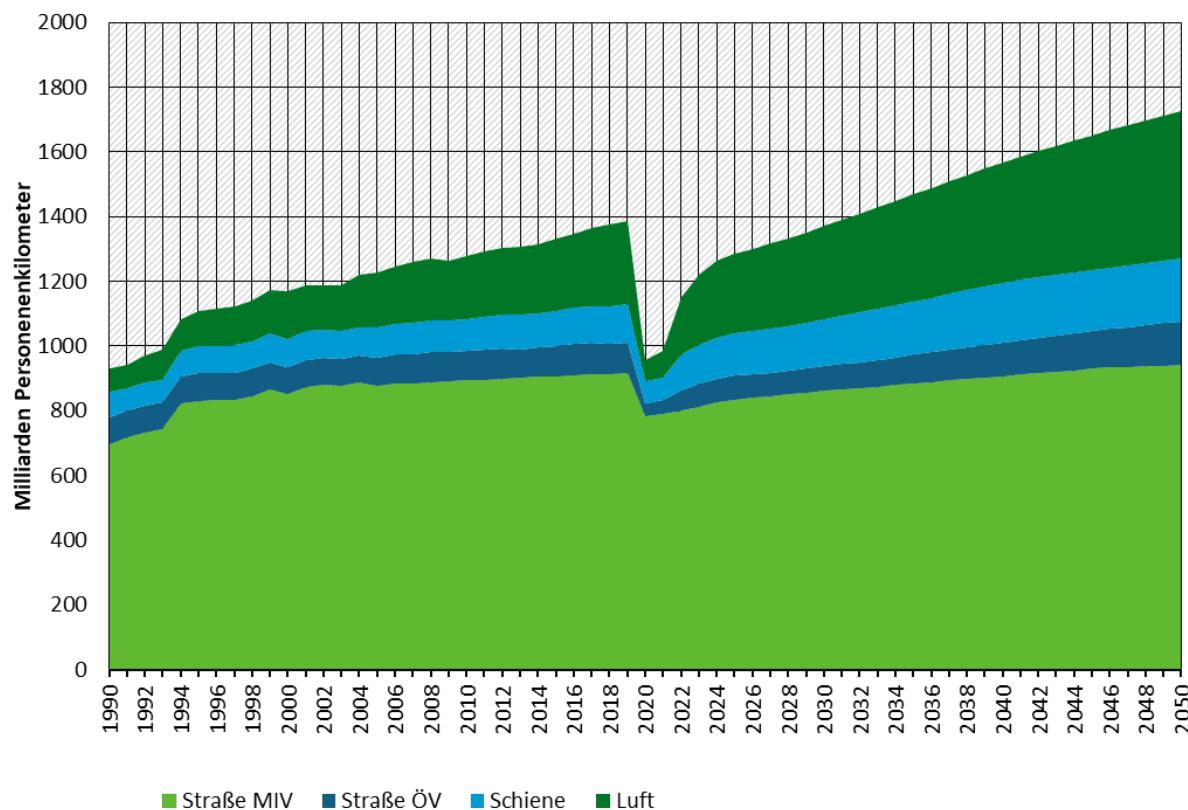
Die Ergebnisse für die Verkehrs- und Fahrleistungen werden ab 1990, Energieverbrauch und Emissionen ab 2020 dargestellt (Ergebnisse der Vorjahre siehe Kapitel 2.7.1). Alle Ergebnisse bis 2023 beruhen auf Realdaten (siehe Kapitel 2), die Ergebnisse für 2024 sind vorläufige Werte, die für die Emissionsbilanz nach Bundesklimaschutzgesetz zum 14.03.2025 erstellt wurden und so als Startjahr im Trendszenario verwendet werden können. Relative Entwicklungen werden auf das letzte Realjahr (2023) oder das letzte Jahr vor der Pandemie (2019) bezogen.

4.7.1 Verkehrs- und Fahrleistungen

Die Verkehrsleistungen des Personenverkehrs sind in Abbildung 12 in der Zeitreihe 1990 bis 2050 dargestellt. Sie steigen in der „Verkehrsprognose 2040“ des BMDV nach dem Einbruch in der Pandemie 2020 bis 2040 wieder an. Besonders auffällig ist der geringe Anstieg beim MIV,

der im Jahr 2040 mit 907 Mrd. Pkm noch leicht unter dem Niveau des Vorpandemiejahrs 2019 liegt. Der öffentliche Verkehr mit Bussen und Bahnen nimmt weiter zu. Insbesondere der Schienenverkehr steigt bis 2050 noch deutlich an, gefolgt vom Flugverkehr. 2050 ist die Verkehrsleistung des Schienenverkehrs um 64 % über dem Niveau von 2019 (Flugverkehr: 79 %, Busverkehr: 43 %, MIV: 2,7%).

Abbildung 12: Verkehrsleistungen des Personenverkehrs in Deutschland nach Verkehrsträgern von 1990 bis 2023 und im Trendszenario bis 2050

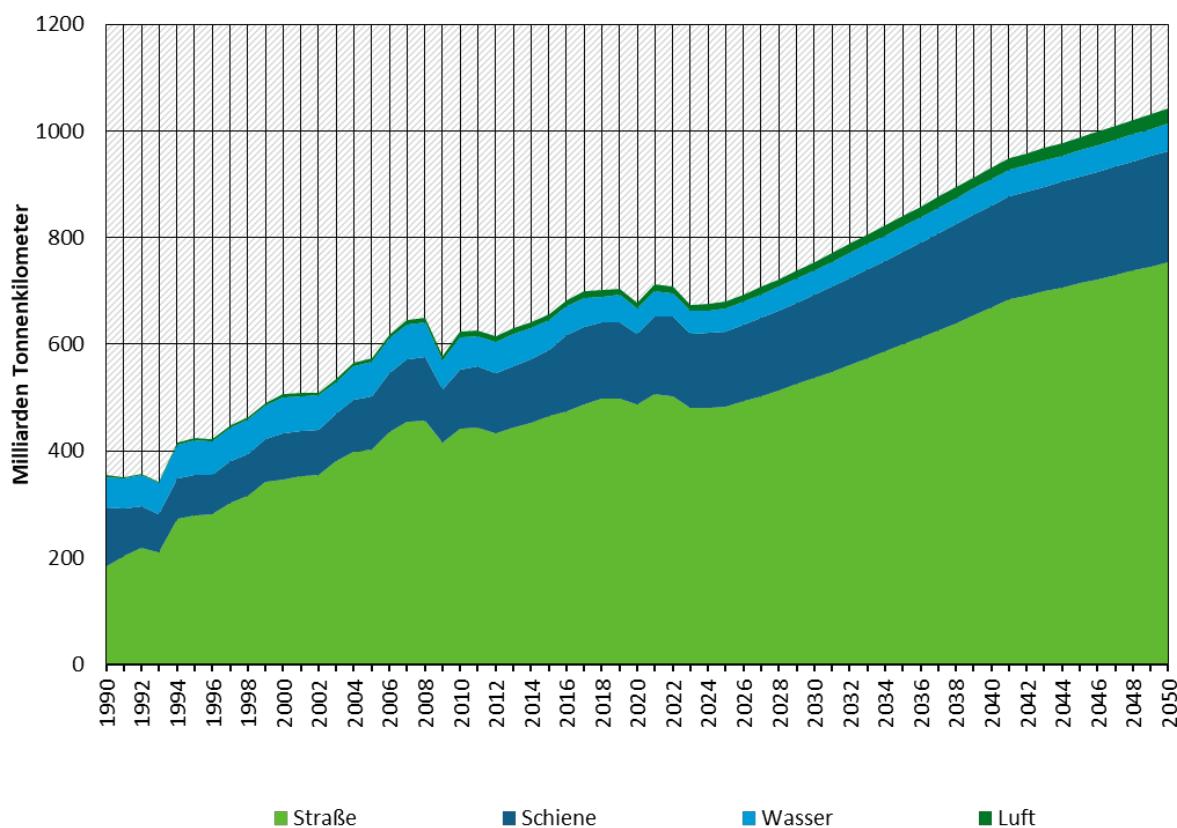


Anmerkungen: Verkehrsleistungen im Inland für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw und Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung); bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario.

Quelle: BMDV, Verkehrsprognose 2040; eigene Berechnungen in TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

Die Verkehrsleistungen des Güterverkehrs sind in Abbildung 13 in der Zeitreihe 1990 bis 2050 dargestellt. Sie steigen in der „Verkehrsprognose 2040“ des BMDV dem langjährigen Trend der Vergangenheit folgend weiter an. Die Pandemie im Jahr 2020 hat sich kaum auf die Entwicklung ausgewirkt, wobei 2023 und 2024 Rückgänge zu verzeichnen sind. Der Straßenverkehr nimmt nach dem Flugverkehr am stärksten zu, gefolgt von der Eisenbahn. Dagegen stagniert die Binnenschifffahrt und der Flugverkehr geht zurück. 2050 ist die Verkehrsleistung des Straßenverkehrs um 51 % über dem Niveau von 2019 (Eisenbahn: +47%, Binnenschifffahrt: 0 %, Flugverkehr: +122 %).

Abbildung 13: Verkehrsleistungen des Güterverkehrs in Deutschland nach Verkehrsträgern von 1990 bis 2023 und im Trendszenario bis 2050

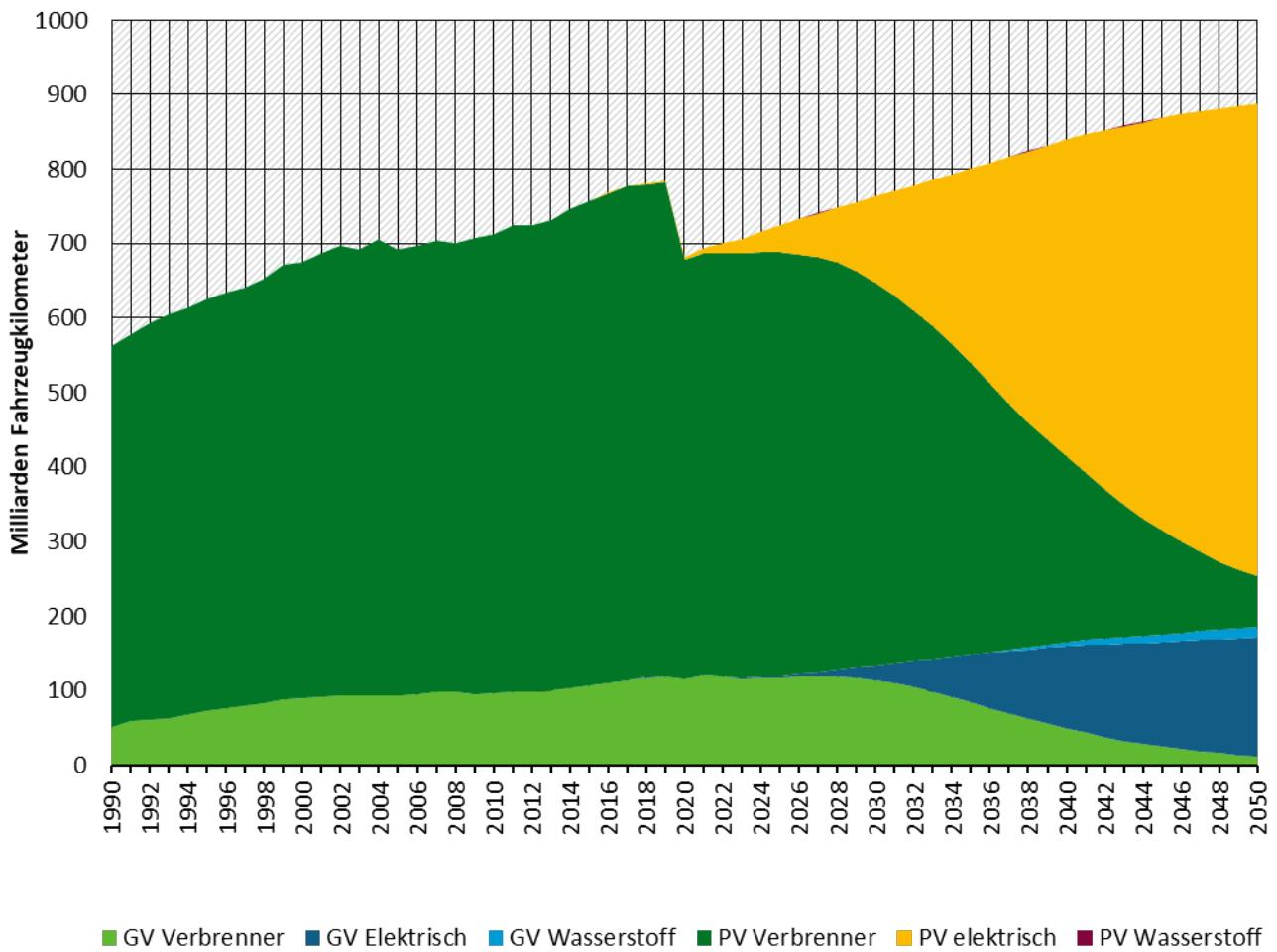


Anmerkungen: Verkehrsleistungen im Inland für Straße (Straßenverkehr mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung), bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario. Quelle: Verkehrsprognose 2040, TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs sind in Abbildung 14 in der Zeitreihe 1990 bis 2050 dargestellt. Die Fahrleistungsentwicklung im Straßenpersonenverkehr folgt im Wesentlichen der Verkehrsleistungsentwicklung. Bis 2050 liegt die Zunahme gegenüber 2019 bei 13 %. Beim Güterverkehr steigen die Fahrleistungen im gleichen Zeitraum um 55 % an. Diese Erhöhung liegt über der Zunahme der Verkehrsleistung und wird verursacht durch den überproportionalen Anstieg der Fahrleistungen der leichten Nutzfahrzeuge (+67 %).

Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs wird nach 2021 deutlich sichtbar. Der Personenverkehr hatte den elektrischen Fahrleistungsanteil von 3,2 % im Jahr 2023 erreicht, beim Güterverkehr waren es 0,8 %. Die 10 %-Marke überschreitet der Personenverkehr im Trendszenario im Jahr 2028, der Güterverkehr im Jahr 2030. 50 % werden im Jahr 2037 (PV und GV) erreicht oder überschritten. Im Jahr 2050 liegt der Anteil im Personenverkehr bei 90 %, im Güterverkehr bei 87 %. Wasserstoff hat 2050 einen Anteil von 7 % an der Fahrleistung des Güterverkehrs, beim Personenverkehr bleibt der Anteil für wenige Wasserstoffbusse sehr gering.

Abbildung 14: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Deutschland nach Verkehrsarten und Antrieben von 1990 bis 2023 und im Trendszenario bis 2050



Anmerkungen: Fahrleistungen im Inland; PV: motorisierten Zweiräder, Pkw und Busse; GV: leichte und schwere Nutzfahrzeuge auf inländischem Territorium, bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario. Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

4.7.2 Energieverbrauch und Emissionen

4.7.2.1 Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs nach Energieträgern

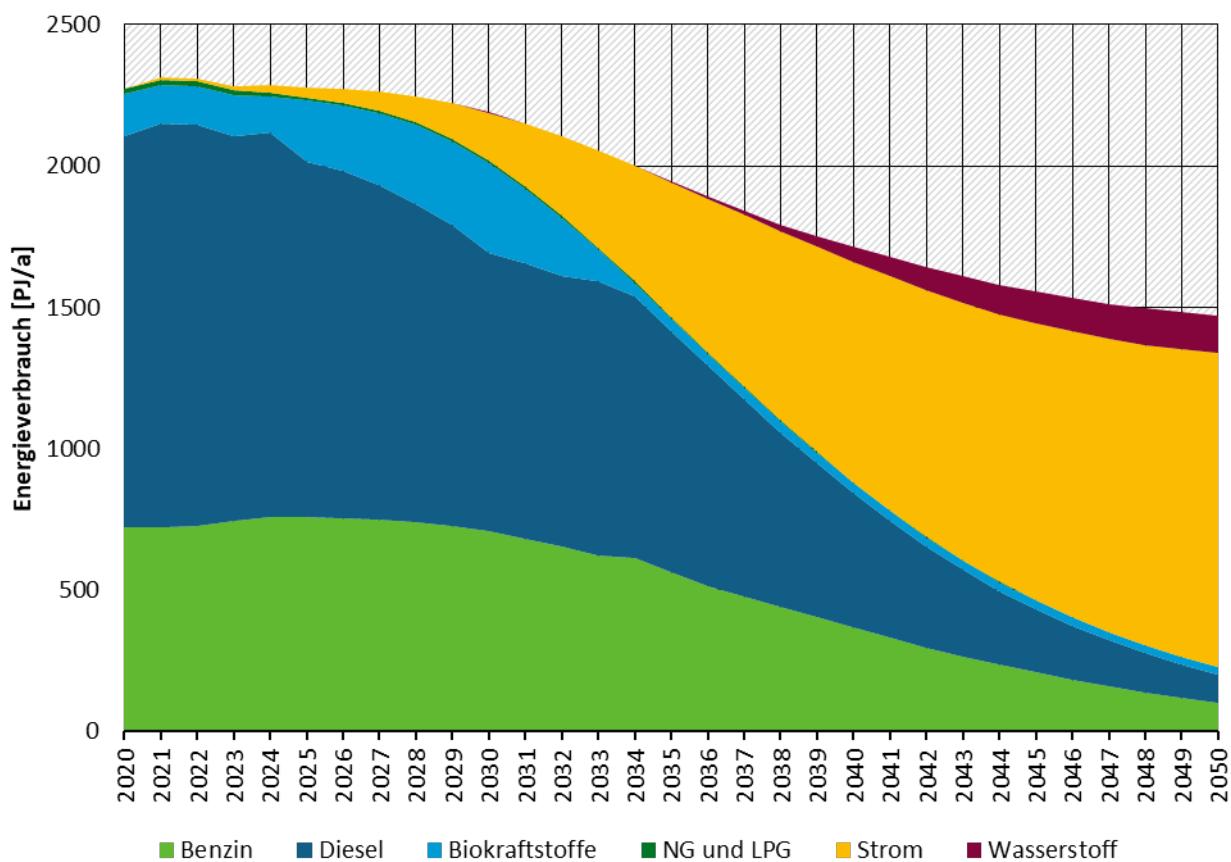
Abbildung 15 zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs des Straßenverkehrs in Deutschland auf inländischem Territorium unterschieden nach den Energieträgern Benzin (ohne Beimischung Bioethanol), Diesel (ohne Beimischung Biodiesel), Biokraftstoffe (Biodiesel, Bioethanol und Biogas), Erdgas (NG) und Flüssiggas (LPG) sowie Strom (Kraftfahrzeuge ohne Pedelecs) und Wasserstoff. Danach zeigen sich bei den Energieträgern folgende Entwicklungen:

- ▶ Im Jahr 2023 dominierte der Verbrauch von Diesel, gefolgt von Benzin. Durch die zunehmende Zulassung von elektrischen Fahrzeugen geht der Verbrauch von Benzin und Diesel nach 2023 zurück und liegt im Jahr 2030 um 20 % unter dem Niveau von 2023. Bis 2050 liegt der Rückgang bei 90 %.
- ▶ Der Anteil der Biokraftstoffe nimmt kurzfristig noch auf 14 % im Jahr 2030 zu und nimmt nach 2030 langsam ab.

- NG und LPG haben über die gesamte Zeitreihe nur geringe Anteile am Energieverbrauch.
- Der Stromverbrauch im Straßenverkehr nimmt deutlich zu. 2030 liegt der Anteil des Stromverbrauchs am Gesamtverbrauch bei 8 %, 2050 sind es 75 %.
- Hinzu kommt 2050 ein Anteil von 9% Wasserstoff, der ab 2035 bei den schweren Nutzfahrzeugen eingeführt wird.

Insgesamt nimmt der Energieverbrauch des Straßenverkehrs ab 2023 ab und liegt 2030 um 4 % und 2050 um 36 % unter dem Wert von 2023.

Abbildung 15: Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland nach Energieträgern - Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario bis 2050



Anmerkungen: Endenergieverbrauch im Inland, bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario.

Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

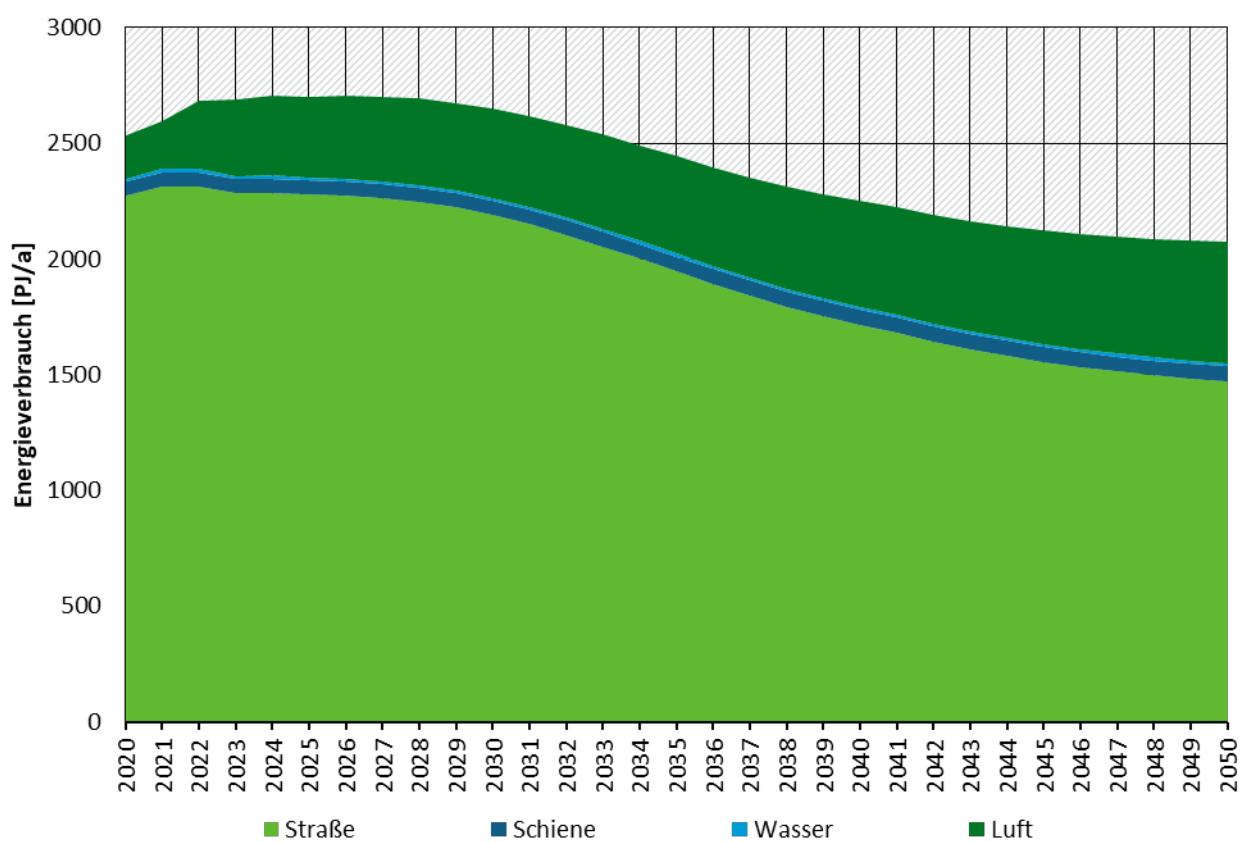
4.7.2.2 Endenergieverbrauch aller Verkehrsträger

Abbildung 16 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrs in Deutschland von 2020 bis 2050 für die Verkehrsträger Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung). Der Endenergieverbrauch pro Verkehrsträger entwickelt sich dabei wie folgt:

- Der Straßenverkehr hat über die gesamte Zeitreihe den größten Anteil am Energieverbrauch (85 % im Jahr 2023 bis 71 % im Jahr 2050), gefolgt vom Flugverkehr. Der Energieverbrauch des Straßenverkehrs nimmt von 2023 bis 2030 um 4 % bzw. bis 2050 um 36 % ab.
- Der Energieverbrauch des Flugverkehrs steigt von 2023 bis 2030 um 17 % und bis 2050 um 59 %.
- Bei der Bahn liegt der Energieverbrauch im Jahr 2030 um 0,6 % höher und im Jahr 2050 um 10 % höher als 2023.
- Bei der Binnenschifffahrt geht der Energieverbrauch von 2023 bis 2050 um 15 % zurück.

Der Energieverbrauch nimmt insgesamt für alle betrachteten Verkehrsträger von 2023 bis 2030 um 1,5 % ab. 2050 liegt der Verbrauch um 23 % unter dem Wert von 2023.

Abbildung 16: Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario bis 2050



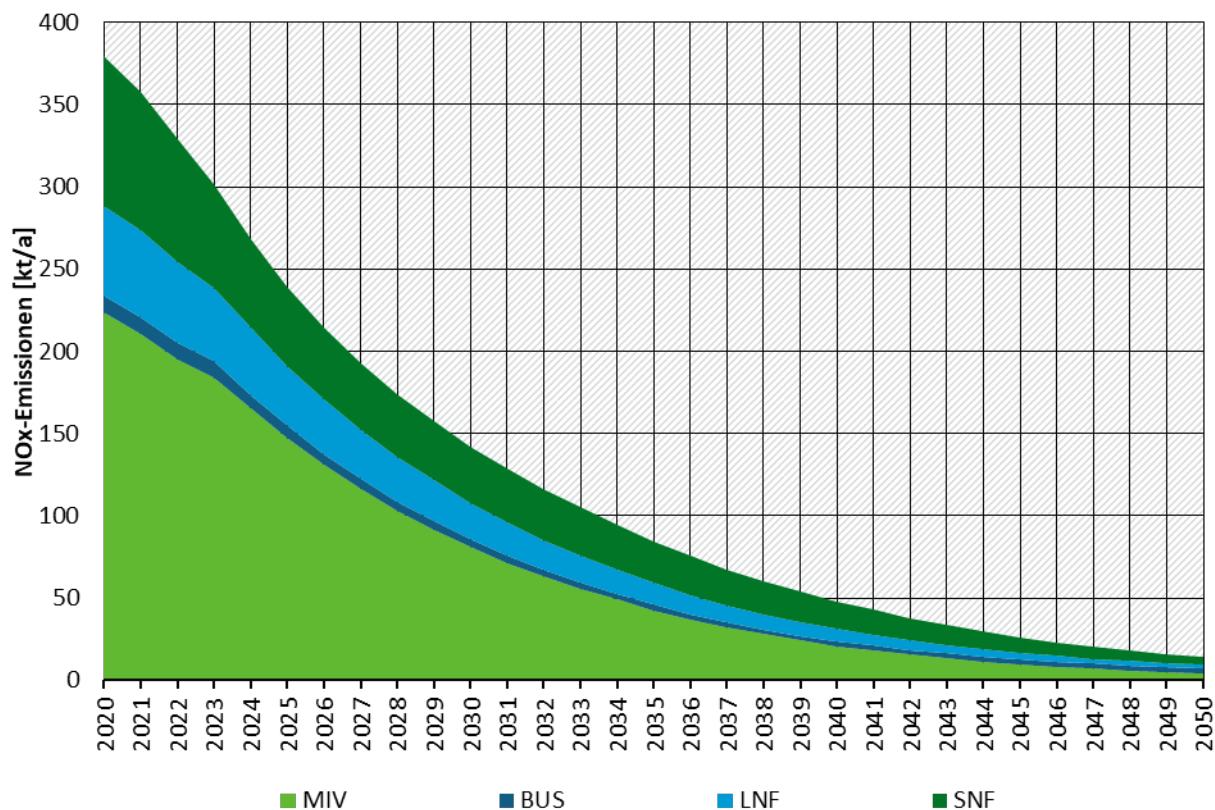
Anmerkungen: Endenergieverbrauch im Inland für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung); bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario.
Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

4.7.2.3 Direkte Abgasemissionen des Straßenverkehrs

Abbildung 17 zeigt die Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland auf inländischem Territorium unterschieden nach den Fahrzeugarten MIV (Pkw

und motorisierte Zweiräder), BUS (Linien- und Reisebusse), LNF (leichte Nutzfahrzeuge) und SNF (schwere Nutzfahrzeuge). Insgesamt nehmen die Stickstoffoxidemissionen von 2023 bis 2030 um 53 % und bis 2050 um 95 % ab. Den stärksten Rückgang hat der MIV (-98 % bis 2050), gefolgt von den LNF (-96 %), SNF (-93 %) und Bussen (-68 %).

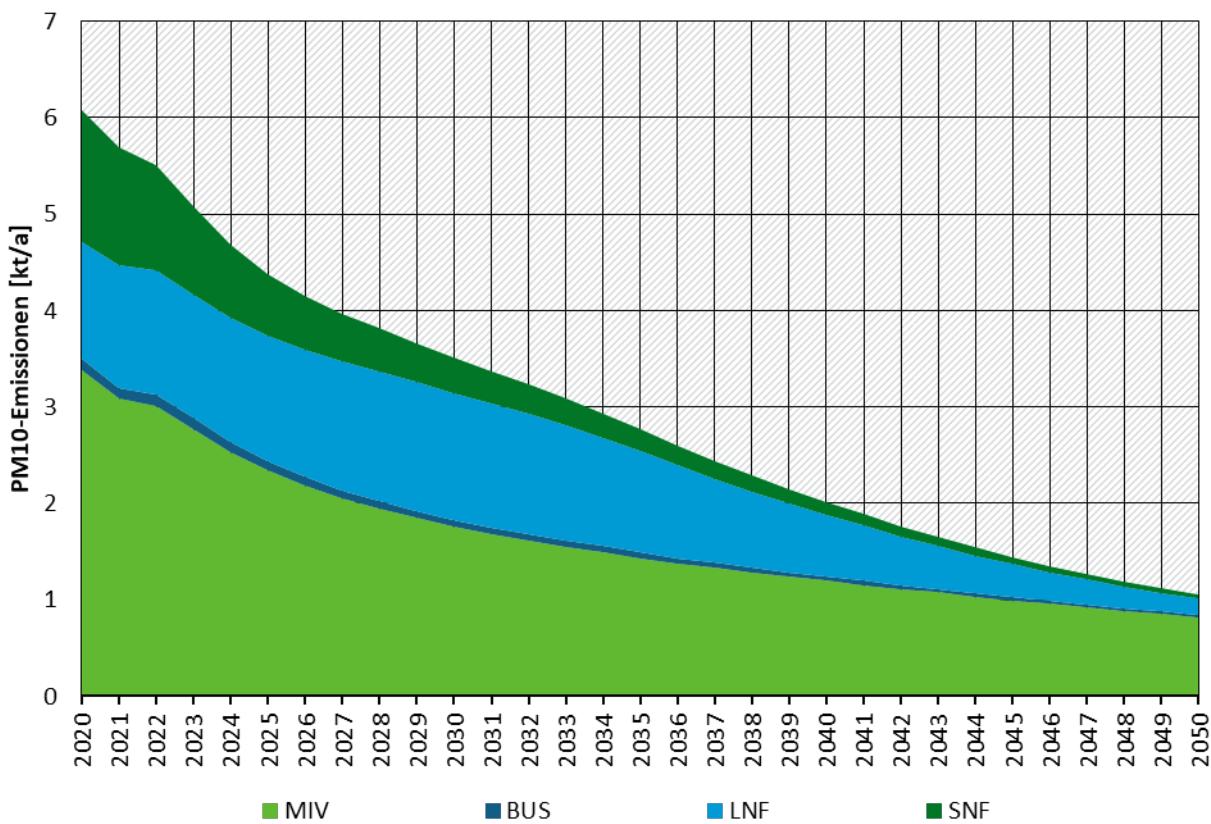
Abbildung 17: Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen im Trendszenario bis 2050



Anmerkungen: Direkte Abgasemissionen im Inland;); bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario.
Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

Abbildung 18 zeigt die Entwicklung der Abgaspartikelemissionen. Diese gehen bis 2050 gegenüber 2023 insgesamt um 79 % zurück.

Abbildung 18: Abgaspartikelemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland - Entwicklung der direkten Emissionen im Trendszenario bis 2050



Anmerkungen: Direkte Abgasemissionen im Inland; bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario.

Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

4.7.2.4 Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Territorialprinzip

Abbildung 19 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland von 2020 bis 2050 einschließlich der Emissionen für die Bereitstellung der Energieträger für die Verkehrsträger Straße PV (Straßenpersonenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw und Bussen auf inländischem Territorium), Straße GV (Straßengüterverkehr mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung, einschließlich der zusätzlichen Klimawirkung in Reiseflughöhe). Pro Verkehrsträger zeichnet sich folgende Entwicklung ab:

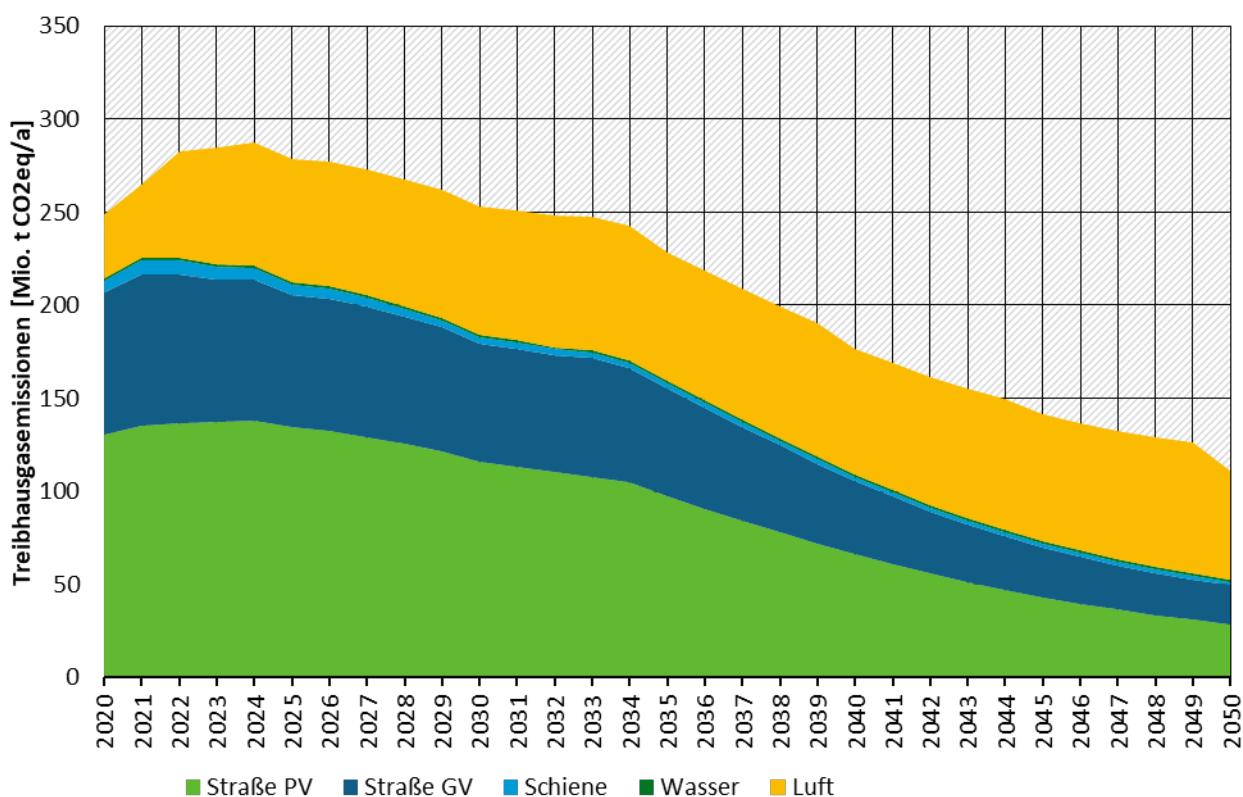
- ▶ Der Straßenverkehr hat über die gesamte Zeitreihe den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen (75 % im Jahr 2023 bis 45 % Anteil im Jahr 2050), gefolgt vom Flugverkehr. Die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs gehen von 2023 bis 2030 um 16 % und bis 2050 um 77 % zurück. Der größte Rückgang ist beim Personenverkehr (MIV und Bus) festzustellen (-79 %). Beim Güterverkehr (LNF+SNF) liegt der Rückgang bei 72 %.
- ▶ Beim Flugverkehr ist die Entwicklung uneinheitlich, da sich die Verkehrsleistungszunahme, Effizienzverbesserungen und die Einführung nachhaltiger Flugkraftstoffe (siehe Anhang A.1.3) gegenläufig wirken. Durch die Erreichung der jeweiligen Zielvorgaben im jeweiligen

Zieljahr sind Sprünge gegenüber dem Vorjahr sichtbar. Deshalb liegen die THG-Emissionen im Jahr 2030 um 10 % höher, im Jahr 2050 um 7 % niedriger als 2023.

- Bei der Bahn gehen die Treibhausgasemissionen von 2023 bis 2030 um 55 % und bis 2050 um 73 % zurück.
- Bei der Binnenschifffahrt gehen die Treibhausgasemissionen von 2023 bis 2030 um 13 % zurück und sinkt danach weiter kontinuierlich. 2050 liegen sie um 15 % niedriger als 2023.

Die Treibhausgasemissionen gehen insgesamt für alle betrachteten Verkehrsträger von 2023 bis 2030 um 11 % und bis 2050 um 61 % zurück.

Abbildung 19: Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung der Gesamtemissionen im Trendszenario bis 2050



Anmerkungen: Gesamtemissionen einschließlich der Emissionen für die Energiebereitstellung für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen auf inländischem Territorium), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auf inländischem Territorium), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen auf inländischem Territorium) und Luft (von Deutschland abgehender Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung, einschließlich der zusätzlichen Klimawirkung in Reiseflughöhe); bis 2023 real, 2024 vorläufig, ab 2025 Szenario.

Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025.

4.7.2.5 Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Bundesklimaschutzgesetz (KSG)

Im Rahmen des Bundesklimaschutzgesetzes werden, wie bei den internationalen Berichtspflichten (siehe Kapitel 2.7.1.5), die Treibhausgasemissionen des Verkehrs ermittelt. Der Unterschied besteht darin, dass beim KSG die Emissionen von Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen des Transportnetzes nicht im Bereich „Verkehr“ erfasst werden. Diese Abgrenzung wurde hier gewählt, da das Trendszenario auf der im März 2025 aktualisierten Treibhausgasbilanz bis zum Jahr 2024 (Umweltbundesamt 2025a) aufsetzt.

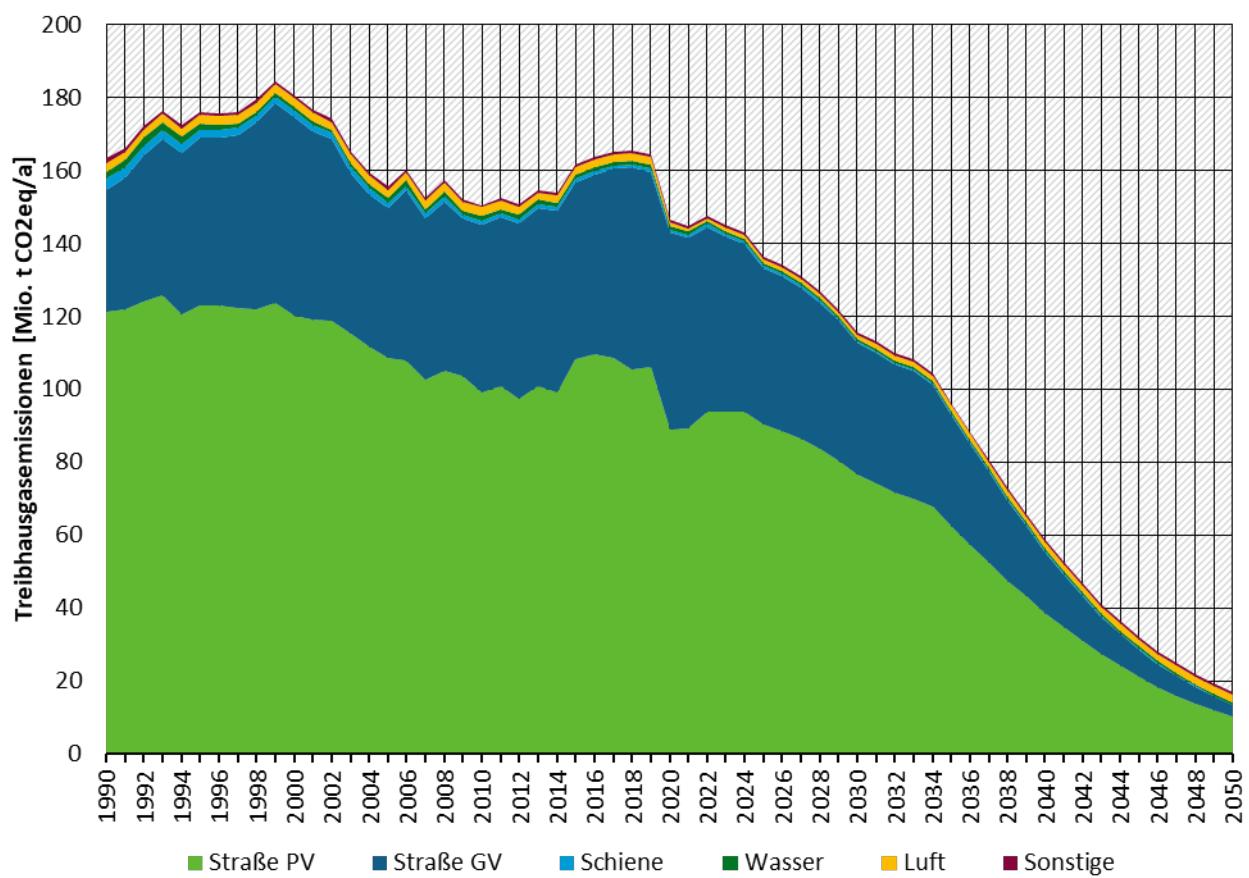
Mit dieser Abgrenzung unterscheiden sich die berichteten Emissionen in der Höhe und im Verlauf von den im Kapitel 4.7.2.4 dargestellten TREMOD-Ergebnissen.

Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland von 1990 bis 2050 für die Verkehrsträger Straße PV (Straßenpersonenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw und Bussen), Straße GV (Straßengüterverkehr mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen), Schiene (Eisenbahn, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen), Luft (Flugverkehr im Inland bzw. nationaler Flugverkehr) und sonstige nicht in TREMOD erfassten Emittenten (Schmier- und Motoröle, Festbrennstoffe im Schienenverkehr, nationale Seeschifffahrt) in der Abgrenzung des KSG:

- ▶ Der Straßenverkehr hat über die gesamte Zeitreihe den größten Anteil an den Emissionen (98 % im Jahr 2024 bis 97 % Anteil im Jahr 2030 und 79 % im Jahr 2050). Insgesamt liegen die THG-Emissionen des Straßenverkehrs im Jahr 2030 um 19 % niedriger als 2024 und 2050 um 90 % unter dem Niveau von 2024.
- ▶ Der Schienen-, Schiffs- und inländische Flugverkehr haben im nationalen Inventar nur einen geringen Anteil. Die THG-Emissionen des Bahnverkehrs nehmen bis 2050 um 79 % ab, die Binnenschifffahrt um 18 %.

In der Folge gehen die Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland im nationalen Inventar von 2024 bis 2030 um 19 % und bis 2050 um 88 % zurück. Das im KSG festgelegte Sektorziel von 85 Millionen Tonnen in 2030 wird im Trendszenario nicht erreicht. Der berechnete Wert für 2030 liegt mit 115 Mio. Tonnen um 30 Mio. Tonnen und damit um 36 % über dem Zielwert. Die 85 Mio. Tonnen werden im Trendszenario erst 7 Jahre später unterschritten. Ebenso wenig werden die Nullemissionen im Jahr 2045 (32 Mio. t) und 2050 (17 Mio. t) erreicht.

Abbildung 20: Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland - Entwicklung im Trendszenario bis 2050 in der Abgrenzung des Bundesklimaschutzgesetzes (KSG)



Anmerkungen: Direkte Emissionen für Straße (Straßenverkehr mit motorisierten Zweirädern, Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen in der Abgrenzung der Energiebilanz), Schiene (Eisenbahn in der Abgrenzung der Energiebilanz), Wasser (Güterverkehr mit Binnenschiffen in der Abgrenzung der Energiebilanz), Luft (Inlandsverkehr) und Sonstige (Inländische Seeschifffahrt, Festbrennstoffe im Schienenverkehr, Schmier- und Motoröl im Straßenverkehr); ab 2024 Trendszenario.

Quelle: TREMOD 6.63 vom 15.08.2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990 - 2024; Stand: 14.03.2025.

5 Quellenverzeichnis

ACEM (2025): The Motorcycle Industry in Europe. Registration in key European markets 2024. <https://www.acem.eu/registrations/> (14.05.2025).

AG Energiebilanzen (2023): Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von natürlichen Einheiten in Energieeinheiten zur Energiebilanz 2021 (Stand:08.02.2023). https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/04/Heizwerte_2005-2021.pdf (08.02.2023).

AG Energiebilanzen (o.J.): Bilanzen 1990 bis 2030. https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030&wpv_aux_current_post_id=45&wpv_aux_parent_post_id=45&wpv_view_count=2753-CATTRe4257049c177cf191052746afc46d0a3 (10.10.2023).

Allekotte, M.; Biemann, K.; Colson, M.; Heidt, C.; Kräck, J.; Knörr, W. (2024a): Aktualisierung TREMOD/TREM-MM und Ermittlung der Emissionsdaten des Verkehrs nach KSG im Jahr 2023. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremodtremod-mm-ermittlung-der> (17.10.2024).

Allekotte, M.; Biemann, K.; Heidt, C.; Colson, M.; Knörr, W. (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREM-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018) Berichtsteil „TREM“. ifeu im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/aktualisierung-tremod-2019> (31.10.2022).

Allekotte, M.; Colson, M.; Heidt, C.; Knörr, W.; Kräck, J. (2023): Verbesserung der Vorjahresschätzung der Klimagasemissionen des Verkehrssektors. ifeu im Auftrag des Umweltbundesamts, Heidelberg. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/165_2023_klimagasemissionen_des_verkehrssektors_0.pdf (05.02.2024).

Allekotte, M.; Kräck, J.; Knörr, W.; Wozny, F. (2024b): Weiterentwicklung TREMOD – Clustermodell Flugverkehr. Texte | 153/2024 ifeu, DLR im Auftrag des Umweltbundesamts, Heidelberg, Köln. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/153_2024_texte_clustermodell_flugverkehr.pdf (06.03.2025).

BAFA (o.J.): Amtliche Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). https://www.bafa.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Infothek/Infothek_Formular.html?nn=8064038&submit=Senden&resultsPerPage=100&documentType=_type_statistic&templateQueryString=Amtliche+Daten+Mineral%C3%B6ldaten&sortOrder=dateOfIssue_dt+desc (10.10.2023).

BALM (2024): Mautdaten Tabellenwerk. https://www.balm.bund.de/DE/Themen/Lkw-Maut/Mautstatistik/mautstatistik_node.html (16.10.2024).

BALM (2025): Mautdaten Tabellenwerk. https://www.balm.bund.de/DE/Service/Open-Data/Mautdaten-Tabellenwerk/Tabellenwerk_inhalt.html?nn=541380 (25.02.2025).

BASt (2024): Verkehrsbarometer - normierte Werte. <https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer.html> (28.02.2024).

BASt (2025): Verkehrsbarometer - normierte Werte. <https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Verkehrsbarometer.html> (25.02.2025).

Bäumer, M.; Hautzinger, H.; Pfeiffer, M.; Stock, W.; Lenz, B.; Kuhnimhof, T.; Köhler, K. (2016): Fahrleistungserhebung 2014: Begleitung und Auswertung - Schlussbericht zur Inlandsfahrleistung. Verkehrstechnik Heft V 291 Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, m Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mannheim, Berlin. https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1775/file/BAST_V_291_barrierefreies_Internet_PDF.pdf (19.09.2023).

BAZL (2017): Anleitung zur Abschätzung von Helikopteremissionen - Helicopter Emissions Table. Bundesamt für Zivilluftfahrt der Schweiz. <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/themen/umwelt/schadstoffe/triebwerkemissionen/anleitung-zur-abschaetzung-von-helikopteremissionen.html> (19.09.2023).

BLE (2021): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2020. BLE. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Klima-Energie/Nachhaltige-Biomasseherstellung/Evaluationsbericht_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (10.02.2022).

BLE (2024): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2023. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Klima-Energie/Nachhaltige-Biomasseherstellung/Evaluationsbericht_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (02.07.2025).

BMDV (2023): „Prognose 2022“ Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022. BMDV.

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile (19.09.2023).

BMVI (2021): Richtlinie zur Förderung der nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen Vom 24. Juni 2021. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. https://www.elwis.de/DE/Service/Foerderprogramme/Nachhaltige-Modernisierung-von-Binnenschiffen/Foerderrichtlinie.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (09.12.2022).

Bundesanzeiger (2021): Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungs-Quote.

http://www.bgblerichtsarchiv.de/xaver/bgblerichtsarchiv/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgblerichtsarchiv/121s4458.pdf (16.11.2021).

DB AG (2025a): Deutsche Bahn Integrierter Bericht 2024. <https://www.dbcargo.com/resource/blob/13326644/f4ea281784168650aa2dc30c2cab1b33/Integrierter-Bericht-2024-data.pdf> (29.04.2025).

DB AG (2025b): Akkuzug Pfalznetz. <https://www.akkuzug-pfalznetz.de/> (29.04.2025).

Destatis (2019a): Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen 2018. Wiesbaden. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00042646/2080610187004.pdf (11.12.2020).

Destatis (2019b): Niedrigwasser beschert Binnenschifffahrt Rekordminus. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/03/PD19_112_463.html (17.01.2020).

DESTATIS (2024): Personenverkehr mit Bussen und Bahnen, Abgerufen über die GENESIS-Online-Datenbank. <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=46181-0005&bypass=true&levelindex=1&levelid=1699276587764#abreadcrumb> (10.08.2024).

DESTATIS (2025): Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen ausgewählter Anbaukulturen im Zeitvergleich. In: *Statistisches Bundesamt*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/liste-feldfruechte-zeitreihe.html>. (13.03.2025).

Destatis (o.J.): Güterstatistik der Binnenschifffahrt (Fachserie 8, Reihe 4). Abgerufen über die GENESIS-Online-Datenbank. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selection-name=46321#abreadcrumb> (27.02.2023).

Deutsche Lufthansa AG (2024): Sustainability 2023 - Fact Sheet. Köln. <https://www.lufthansagroup.com/media/downloads/en/responsibility/LH-Factsheet-Sustainability-2023.pdf> (21.10.2024).

Ecke, L.; Vallee, J.; Chlond, B.; Vortisch, P. (2023): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2022/2023: Alltagsmobilität und Fahrleistung. [object Object]. DOI: [10.5445/IR/1000164704](https://doi.org/10.5445/IR/1000164704) <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000164704> (14.03.2024).

EEA (2019): 1.A.3.a Aviation 1 Master emissions calculator 2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-1/view>. (11.03.2021).

EU (2018): Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001> (16.11.2023).

EU (2019a): Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011. In: *Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0631>. (25.02.2021).

EU (2019b): Regulation of the European Parliament and of the Council setting CO2 emission performance standards for new heavy-duty vehicles and amending Regulations (EC) No 595/2009 and (EU)2018/956 of the European Parliament and of the Council and Council Directive 96/53/EC. European Parliament Brüssel. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-60-2019-INIT/en/pdf> (17.02.2021).

EU (2022): Richtlinie (EU) 2022/362 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Februar 2022 zur Änderung der Richtlinien 1999/62/EG, 1999/37/EG und (EU) 2019/520 hinsichtlich der Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch Fahrzeuge. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L0362> (26.03.2024).

EU (2023): Verordnung (EU) 2023/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. April 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO2- Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimaziel der Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0851&qid=1710487132271> (15.03.2024).

EU (2024): Durchführungsbeschluss (EU) 2024/2666. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402666 (07.08.2025).

Europäische Kommission (2023): Determination of parameters for the definition of 2025/2030 CO2 emission targets. Joint Research Centre. C4 - European Commission. <https://circabc.europa.eu/ui/group/4cf23472-88e0-4a52-9dfb-544e8c4c7631/library/c2445223-7ca6-4775-8e7e-3014f87573c9/details> (15.03.2024).

Europäische Kommission (2025): Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Regulation (EU) 2019/631 to include an additional flexibility as regards the calculation of manufacturers' compliance with CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles for the calendar years 2025 to 2027. Straßburg. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7727-2025-INIT/en/pdf> (08.07.2025).

Fehrenbach, H.; Köppen, S.; Markwardt, S.; Vogt, R. (2016): Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspfade (BioEm). UBA Texte 09/2016 Im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_09_2016_aktualisierung_der_eingangsdaten_und_emissionsbilanzen_wesentlicher_biogener_energienutzungspfade_1.pdf (11.10.2023).

Fehrenbach, H.; Köppen, S.; Wehrle, A. (2025): Report on typical GHG emission values for the cultivation of agricultural raw materials for NUTS 2 regions or a more disaggregated level in Germany according to RED II. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/report-on-typical-ghg-emission-values-for-the> (07.08.2025).

Finnair (2024): Annual Report 2023. Sustainability 2023. <https://investors.finnair.com/~/media/Files/F/Finnair-IR-V2/documents/en/reports-and-presentation/2024/finnair-annual-report-2023.pdf> (21.10.2024).

Fleming, G. G.; de Lépinay, I.; Schaufele, R. (2022): Environmental Trends in Aviation to 2050. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/EN-VReport2022_Art7.pdf (19.09.2023).

Heidt, C.; Biemann, K.; Dünnebeil, F.; Jamet, M.; Lambrecht, U.; Althaus, H.-J.; Wüthrich, P.; Hausberger, S. (2019): Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von CO2-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen. TEXTE 12/2019 im Auftrag des Umweltbundesamtes. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-bewertung-von-massnahmen-zur> (19.09.2023).

Heidt, C.; Knörr, W.; Biemann, K.; Notter, B. (2016): Weiterentwicklung des TREMOD-Binnenschiffmoduls (Teilbericht des Forschungsprojekts „Ermittlung von Emissionsfaktoren von Kraftfahrzeugen unter Berücksichtigung zukünftiger Antriebskonzepte und der Vorkette von Kraftstoffen“ FKZ 3713 47 100). Erhältlich als Druckversion in UBA-Bibliothek, Nr 002617.

ICAO (2019): Aircraft Engine Emissions Databank. International Civil Aviation Organization. <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank> (29.04.2019).

Icha, P.; Lauf, T. (2024): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2023. Climate Change <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-treibhausgas-10> (18.10.2024).

ifeu (2025): InGRID. In: *InGRID*. <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/ingrid>. (13.05.2025).

Intraplan (2022): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr - Mittelfristprognose Sommer 2022. https://www.balm.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Mittelfristprognose_Sommer_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (03.11.2023).

Jöhrens, J.; Allekotte, M.; Heining, F.; Helms, H.; Klimke, J.; Pelzeter, J.; Räder, D. (2023): My eRoads - Der Weg zu einem klimaneutralen Lkw-Verkehr. Ergebnisse des BMWK-geförderten Forschungsvorhabens My eRoads. Heidelberg, 2023. ifeu, Heidelberg. https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Leitf%C3%A4den_und_Brosch%C3%BCren/My_eRoads_Broschuere.pdf.

KBA (2020): Verkehr in Kilometern 2014-2019. KBA. https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/vk_inlaenderfahrleistung_inhalt.html?nn=2351604 (28.04.2021).

KBA (2023): Inländerfahrleistung 2023. KBA. https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/vk_inlaenderfahrleistung_node.html (18.07.2024).

Kemmler, A.; Kreidelmeyer, S.; Limbers, J.; Lübbbers, S.; Muralter, F. (2025): Rahmendaten für die Treibhausgas-Projektionen 2025. Umweltbundesamt. DOI: 10.60810/OPENUMWELT-7765 <https://openumwelt.de/handle/123456789/10685> (13.05.2025).

Kluth, T.; Rudolf, A.; Nebauer, G.; Kotzagiorgis, S.; Bräuninger, Prof. Dr. M.; Makait, Dr. M. (2024): verkehrsprognose-2040-band-6-1-e-verkehrsentwicklungsprognose-prognosefall-1-basisprognose-2040-ergebnisse.pdf. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/verkehrsprognose-2040-band-6-1-e-verkehrsentwicklungsprognose-prognosefall-1-basisprognose-2040-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile (23.04.2025).

Knörr, W.; Borken, J. (2003): Erarbeitung von Basisemissionsdaten des dieselbetriebenen Schienenverkehrs unter Einbeziehung möglicher Schadstoffminderungstechnologien – Weiterführung und Auswertung des UBA-FuE-Vorhabens 299 43 111. ifeu im Auftrag der Deutschen Bahn AG, Heidelberg. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3275.pdf> (22.09.2023).

Knörr, W.; Heidt, C.; Allekotte, M.; Biemann, K.; Colson, M.; Gores, S. (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018) - Berichtsteil „TREMOD“. Umweltbundesamt, Dessau -Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/aktualisierung-tremod-2019> (19.02.2021).

Knörr, W.; Heidt, C.; Gores, S.; Bergk, F. (2016): „Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035“ (TREMOD) für die Emissionsberichterstattung 2016 (Berichtsperiode 1990-2014). im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Endbericht_TREMOD_2016_160701.pdf (22.09.2023).

Knörr, W.; Heidt, C.; Schmied, M.; Notter, B. (2013): Aktualisierung der Emissionsberechnung für die Binnenschifffahrt und Übertragung der Daten in TREMOD. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/IFEU-INFRAS-2013-Aktualisierung-der-Emissionsberechnung-f%C3%BCr-die-Binnenschifffahrt-und-%C3%9Cbertragung-der-Daten-in-TREMOD3.pdf>.

Krenzer, D. (2024): Förderstopp: Keine Subvention mehr für E-Lkw und E-Busse. <https://www.elektroauto-news.net/news/foerderstopp-e-lkw-und-busse> (25.03.2024).

Lijsterink, N. E.; van Gijlswijk, R. N.; Kadijk, G.; Vermeulen, R. J.; Indrajuana, A. P.; Elstgeest, M.; van Mensch, P.; de Ruiter, J. M.; Verbeek, R. P.; Hulskotte, J. H. J.; Geilenkirchen, G.; Traa, M. (2019): Emissiefactoren wegverkeer - Actualisatie 2019. TNO, PBL. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/tno_2019_emissiefactoren_wegverkeer_-_actualisaties_2019.pdf (16.01.2020).

Mahmoudi, S.; Frenken, T. (2020): Straßenverkehrszählung 2015 - Ergebnisse. Berichte der BASt, Heft V 327 Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. S. 72. <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2353/file/V327.pdf> (18.07.2024).

Matzer, C.; Weller, K.; Dippolt, M.; Lipp, S.; Röck, M.; Rexeis, M.; Hausberger, S. (2019): Update of Emission Factors for HBEFA Version 4.1. https://cdn.prod.website-files.com/6207922a2acc01004530a67e/625e8d14b70af84fba1ef10c_HBEFA41_Report_TUG_09092019.pdf (23.07.2024).

My eRoads (2022): My eRoads Webseite. Elektro-Lkw-Modelle. <https://www.my-e-roads.de/de-DE/export/fahrzeuge> (22.12.2022).

Notter, B.; Cox, B.; Hausberger, S.; Matzer, C.; Weller, K.; Dippold, M.; Politschnig, N.; Lipp, S.; Allekotte, M.; Knörr, W.; André, M.; Gagnepain, L.; Hult, C.; Jerksjö, M. (2022): HBEFA 4.2 Documentation of Updates. Bern/Graz/Heidelberg/Lyon/Göteborg. https://cdn.prod.website-files.com/6207922a2acc01004530a67e/6217584903e9f9b63093c8c0_HBEFA42_Update_Documentation.pdf (03.02.2022).

NOW GmbH (2023): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr. Auswertung der Cleanroom-Gespräche 2022 mit Nutzfahrzeugherstellern. <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2023/02/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Straessengueterverkehr.pdf> (28.02.2023).

Prussi, M.; Yugo, M.; De Prada, L.; Padella, M.; Edwards, R.; Lonza, L. (2020): JEC Well-to-Tank report v5, EUR 30269 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-19926-7 (online), doi:10.2760/959137 (online), JRC119036.

PwC (2025): E-Bus-Radar-2025. <https://www.pwc.de/de/branchen-und-markte/oeffentlicher-sektor/pwc-e-bus-radar-2025.pdf> (12.05.2025).

Rudolf, A.; Ratzenberger, R.; Kluth, T. (2025): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr - Mittelfristprognose Winter 2024/25. Bundesamt für Logistik und Mobilität (BALM).

https://www.balm.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Mittelfristprognose_Winter_2024_2025.html?nn=542030 (23.04.2025).

Schneider, C.; Pelzer, M.; Dick, P.; Gallus, E. (2023): Straßenverkehrszählung 2021 Ergebnisse. BASt. https://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten/2021/Ergebnisbericht-SVZ-2021.pdf?__blob=publication-File&v=2 (22.07.2024).

Tagesspiegel (2024): Millionenschaden befürchtet: Zoll ermittelt wegen Betrugsverdachts im Dieselhandel. <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/millionenschaden-befürchtet-zoll-ermittelt-wegen-betrugsverdachts-im-dieselhandel-11942396.html> (13.03.2025).

Tietge, U.; Dornoff, J.; Diaz, S.; Mock, P.; Allekotte, M.; Heidt, C.; Knörr, W.; Althaus, H.-J.; Notter, B.; Oberpiller, Q.; Läderach, A.; Hausberger, S.; Matzer, C.; Eisenmann, C.; Kuhnimhof, T. (2020): Erarbeitung einer Methode zur Ermittlung und Modellierung der CO2-Emissionen des Kfz-Verkehrs. im Auftrag des Umweltbundesamtes. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-einer-methode-zur-ermittlung> (19.09.2023).

UBA (2025): Datentabelle zu den Treibhausgas-Projektionen 2025 (ehemals Kernindikatoren). Text, Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datentabelle-zu-den-treibhausgas-projektionen-2025> (13.05.2025).

Umweltbundesamt (2024a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Übereinkommen von Paris 2024 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-9> (18.10.2024).

Umweltbundesamt (2024b): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2022. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_01_15_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx (26.04.2024).

Umweltbundesamt (2024c): Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990-2023. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx (20.04.2024).

Umweltbundesamt (2025a): Datentabelle zu den Treibhausgas Emissionen_2024.xlsx. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/datentabelle_zu_den_treibhausgas-emissionen_2024.xlsx (17.04.2025).

Umweltbundesamt (2025b): Klimaziele bis 2030 erreichbar. <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimaziele-bis-2030-erreichbar> (21.03.2025).

Wehnemann, K.; Koßmann, M.; Purr, K.; Pagel, M.; Steinbrenner, J.; Voß-Stemping, J. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 – Ergebnisse kompakt. Umweltbundesamt. S. 38. DOI: 10.60810/OPENUMWELT-7821 <https://openumwelt.de/handle/123456789/10763> (23.04.2025).

zdf heute (2025): Klimaschädliches Palmöl im Tank. <https://www.zdfheute.de/wirtschaft/biodiesel-hvo-palmoel-umdeklaration-betrugsverdacht-100.html> (18.07.2025).

ZIV (2024): ZIV - Die Fahrradindustrie Marktdaten Fahrräder und E-Bikes für 2023. https://www.ziv-zweirad.de/wp-content/uploads/2024/03/ZIV_Marktdatenpraesentation_2024_fuer_GJ_2023.pdf (28.08.2024).

ZKR (2024): Europäische Binnenschifffahrt Marktbeobachtung 2024. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt. https://www.ccr-zkr.org/files/documents/om/om24_II_de.pdf (16.05.2025).

A Zusatzinformationen

A.1 Erfüllung der gesetzlichen Biokraftstoffe Vorgaben zur THG-Minderung

A.1.1 Gesetzgebung

Die RED II (Renewable Energy Directive) wurde in nationales Recht über die Anpassung des so genannten „Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungsquote“ umgesetzt (Bundesanzeiger 2021). Das Gesetz ist am 01.10.2021 in Kraft getreten. Die Zielvorgaben der THG-Quote (aus dem Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) u.a. 37. BImSchV und 38. BImSchV) sind in Tabelle 98 dargestellt.

Tabelle 98: Geltende Regulatorik des Bundesimmissionsschutzgesetzes und der Bundesimmissionsschutzverordnungen mit Bezug auf die THG-Quote

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
THG-Quote Minderungsziele *	8%	9,35%	10,6%	12,1%	14,6%	17,6%	21,1%	25,1%
Fortschrittliche Biokraftstoffe (Mindestanteil, energetisch) *	0,3%	0,4%	0,7%	1%	1%	1,7%	1,7%	2,6%
Luftverkehr SAF -Sustainable Aviation Fuel (Mindestanteil, energetisch)	-	-	-	0,5%	0,5%	1%	1%	2%

* gegenüber einem Referenzwert, wie definiert in BImSchG.37a Abs 4. und Zielerhöhung durch das BImSchG.37h.

	2023-2030
Nahrungs- und Futtermittelpflanzen (Obergrenze energetisch)	4,4%
Altspeiseöle und tierische Fette (Obergrenze energetisch)	1,9%
RFNBOs** Renewable fuels of non-biological origin	Mengen werden mit dem Faktor 2 angerechnet. Laut der Entscheidung des Bundestages vom 14. März 2024, der Neufassung der 37. BImSchV werden RFNBOs mit einem Anrechnungsfaktor für Straßen- und Schienenverkehr (sowie in Raffinerieprozesse) von 3 zukünftig anzurechnen
UER-Maßnahmen ²²	In UERV ²³ -Teil 2 §3 steht, dass die Anrechnung von UER bis einschließlich 2024 möglich ist. Ab 2025 ist eine Anrechnung nur nach Antrag beim UBA und unter der Voraussetzung möglich, dass bestimmte Anforderungen erfüllt sind (siehe UERV § 10 Teil 3). Ab 2026 ist eine Anrechnung nicht mehr möglich.
Sonstiges	Obergrenze für die Anrechenbarkeit von Biokraftstoffen aus Rohstoffen mit hohem Risiko indirekter Landnutzungsänderung nach § 13b der 38. BImSchV (ab dem Verpflichtungsjahr 2022) ist 0,9% ab 2022 und 0% ab 2023 (darunter Palmöl)

²² Reduktion von CO2-Emissionen bei der Erdölgewinnung durch Abfackeln (Flaring) und Ablassen (Venting) sowie unkontrolliertes Entweichen von Begleitgasen der Erdölförderung)

²³ Verordnung zur Anrechnung von Upstream-Emissionsminderungen auf die Treibhausgasquote

2023-2030

Ein Antriebseffizienzfaktor von 0,4 für batterieelektrische und Brennstoffzellen-Fahrzeuge ist zur Abbildung der Antriebseffizienz vorgesehen.

* Mengen oberhalb der Mindestanteils werden mit dem Faktor 2 angerechnet

**Wichtig für die Anrechenbarkeit auf die THG-Quote ist zudem, dass der zur Herstellung des Wasserstoffs verwendete Strom direkt aus erneuerbaren Quellen stammt und nicht einfach dem Stromnetz entnommen wurde.

Quelle: Darstellung von ifeu, basierend auf 36.BImSchV, 37. BimSchV, 38. BImSchG §37 und UERV (Verordnung zur Anrechnung von Upstream-Emissionsminderungen auf die Treibhausgasquote).

Die aktuelle Überarbeitung der THG-Quote im Kontext der dritten europäischen Richtlinie für erneuerbare Energien, die sogenannte RED III, wird für das TREMOD-Trendszenario nicht übernommen, da sie von der Bundesregierung noch nicht beschlossen wurde. Es ist aber zu erwarten, dass die THG-Quote vor Ende 2025 angepasst wird.

A.1.2 Biomassemix und Emissionsfaktoren

Der Biomassemix bis 2023 wurde anhand der BLE-Daten (BLE 2024) aktualisiert. Das Szenario bis 2050 wurde angepasst, um die Einhaltung der THG-Quote zu erzielen.

Die Emissionsfaktoren für Ethanol, Biodiesel und Biogas in TREMOD werden aus den Anteilen des jeweiligen Biomassemixes und den spezifischen Emissionsfaktoren von ifeu pro Biomasse-typ errechnet. Dabei erfolgt ebenfalls ein Update gegenüber den bisherigen Daten, welches insbesondere die Entwicklungen der Emissionen beim Anbau von Biomasse nach dem offiziellen Bericht der Bundesregierung an die EU-Kommission (EU 2024) berücksichtigt (Fehrenbach et al. 2025). Im Trendszenario wird eine jährliche Veränderung des durchschnittlichen Biomassemixes und der Produktionsverfahren für den Straßen- und Schienenverkehr unterstellt. Damit werden die politischen Vorgaben des Gesetzes für die THG-Quote berücksichtigt. Das Modell basiert auf der Annahme, dass das Gesamtziel der THG-Quote und das Subziel für fortschrittliche Kraftstoffe erreicht werden. Die beiden Ziele werden genau erfüllt, es sei denn eine Übererfüllung ist zur Erfüllung des jeweils anderen Ziels notwendig. Darüber hinaus wird angenommen, dass in allen Jahren fossile Kraftstoffe am günstigsten sind, gefolgt von Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermitteln, Biokraftstoffen aus Altspeiseölen und tierischen Fetten und fortschrittlichen Biokraftstoffen. Am höchsten sind die Kosten für erneuerbare Kraftstoffe nicht-biologischen Ursprungs (RFNBO). Aus diesen Annahmen folgt folgendes Vorgehen:

- ▶ Die Energiemengen für die Erfüllungsoptionen Strom und Wasserstoff (FCEV) sind durch die Bestands- und Fahrleistungsentwicklung vorgegeben. Beim Strom wird nur ein Anteil von etwa 60% der gesamten Strommenge berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass nicht alle Strommengen gemeldet und entsprechend angerechnet werden.
- ▶ Es werden so viele fortschrittliche Biokraftstoffe (Annex IX Part A) eingesetzt, dass der Mindestanteil an fortschrittlichen Biokraftstoffen genau erreicht wird.
- ▶ Sofern das Gesamtziel der THG-Quote noch nicht erreicht ist, werden Biokraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen eingesetzt, bis das Gesamtziel oder die Obergrenze für Biokraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen erreicht wird.

- Sofern das Gesamtziel der THG-Quote noch nicht erreicht ist, werden Biokraftstoffe aus Altspeiseölen und tierischen Fetten (Annex IX Part B) eingesetzt, bis das Gesamtziel oder die Obergrenze für Part B-Biokraftstoffe erreicht wird.
- Sofern das Gesamtziel der THG-Quote noch nicht erreicht ist, wird der Anteil fortschrittlicher Biokraftstoffe (Annex IX Part A) erhöht, bis das Gesamtziel erreicht wird.

Andere Kraftstoffarten werden nicht als Erfüllungsoptionen berücksichtigt, da dafür keine bzw. keine ausreichenden Anreize in der aktuellen Fassung der THG-Quote vorgesehen sind. Die sich ergebenden prozentualen Anteile der jeweiligen Biokraftstoffmixe sind in Tabelle 99 dargestellt. Bis zum Jahr 2030 erfolgt dabei eine Verlagerung von Biomasse aus Nahrungs- und Futterpflanzen hin zu fortschrittlichen Biokraftstoffen, z. B. aus Reststoffen.

In den letzten Jahren wurden Part A Biokraftstoffe vor allem in Form von Bioethanol und Biometan eingesetzt. Aufgrund des niedrigen Anteils an Gasfahrzeugen wird Biometan nur begrenzt zur Quotenerfüllung beitragen. 2022 und 2023 wurden erstmals Mengen an Biodiesel Part A von der BLE berichtet (BLE 2024). Die Mengen bestehen zu großen Teilen aus Biomasse aus Industrieabfällen (sog. Brown Grease) sowie Abwässern aus Palmölmühlen und leeren Palmfruchtbündeln (POME, engl. „Palmoil Mill Effluent“), wie aus Tabelle 23 Punkt 4 und 7 in (BLE 2024) zu entnehmen ist. Der Verdacht auf Betrug in Anbetracht der großen Mengen (13 und 12 PJ in 2022 bzw. 2023) ist hoch und wurde durch die Presse verbreitet (zdf heute 2025). Um solche Fälle zu vermeiden, werden höchstwahrscheinlich in der baldigen Aktualisierung der THG-Quote Regulierungen getroffen. Nichtsdestotrotz kann die THG-Quote kurzfristig nur mit relativ hohen Mengen an fortschrittlichen (und aktuell betrugsanfälligen) Biokraftstoffen erreicht werden, da die Strommengen und RFNBO-Mengen technisch jeweils durch die Erneuerung der Fahrzeugflotte und die Produktionskapazitäten begrenzt sind.

Tabelle 99: Biomassemix (Anteile gerundet) der Biokraftstoffe im Trendszenario

Kraftstoff	Kategorie	Biomassetyp	2024	2030	2035
Ethanol	Nahrungs- und Futterpflanzen	Mais, Weizen, Zuckerrohr, Zuckerrübe, andere Getreide	92%	81%	0%
	Fortschrittliche Biokraftstoffe	Ligno-Zellulose	8%	19%	100%
Biodiesel/ HVO	Nahrungs- und Futterpflanzen	FAME (Raps-, Soja-, Sonnenblumen- und Palmöl)	25%	22%	0%
	Altspeiseöl und tierische Fette	Altöl/Tierfette	19%	15%	0%
Biogas	Fortschrittliche Biokraftstoffe	Brown grease, POME	57%	63%	100%
	Nahrungs- und Futterpflanzen	Mais	0%	0%	0%
	Fortschrittliche Biokraftstoffe	Gülle/Mist- Bioabfall	100%	100%	100%

Quelle: ifeu/TREMOT 6.63

Da der Anteil an Ethanol in der Beimischung zu Benzin technisch und rechtlich begrenzt ist, wird die THG-Quote im Szenario zu großen Teilen durch Biodiesel erfüllt (insbesondere um 2030). Ab 2035 ist der Elektroanteil hoch genug, sodass die THG-Quote im Szenario ohne Biokraftstoffe erfüllt werden kann. Dann wird nur noch die Mindestquote für fortschrittliche Biokraftstoffe erfüllt, während weder Part B- noch konventionelle Biokraftstoffe benötigt werden, und die Situation bleibt bis 2050 gleich. Darüber hinaus ist Palmöl in Deutschland ab 2023 von der Ober-

grenze für die Anrechenbarkeit von Biokraftstoffen aus Rohstoffen wegen hohem Risiko indirekter Landnutzungsänderung (38.BImSchV § 13b) betroffen. Entsprechend wird Palmöl in TREMOD ab Ende 2022 nicht mehr eingesetzt.

Tabelle 100 stellt die sich ergebenden mittleren THG-Emissionsfaktoren der Biokraftstoffe im Trendszenario dar. Bei der Festlegung der Emissionsfaktoren wurde wie folgt vorgegangen: zunächst wurden verschiedene Datengrundlagen auf Aktualität und Plausibilität geprüft. Dazu zählen neben den bisher in TREMOD verwendeten Daten aus dem Projekt BioEm (Fehrenbach et al. 2016), die Standardwerte der RED II, sowie die damit verbundenen Werte aus dem JEC Well-To-Wheels report v5 (Prussi et al. 2020) und die seitens der BLE evaluierten Werte im NaBiSy²⁴. Dabei wurden die Werte von BioEm als plausible Ausgangslage für das Basisjahr 2019 identifiziert. Die Datengrundlage wurde zwischenzeitlich auf Aktualität geprüft und angepasst. Wesentliche Grundlage waren dabei die Neuberechnungen der typischen THG-Emissionen aus dem Anbau von agrarischen Rohstoffen für Biokraftstoffe auf der sogenannten NUTS2-Ebene (Fehrenbach et al. 2025). Die aktuellen Daten wurden offiziell von der EU-Kommission im Durchführungsbeschluss (EU) 2024/2666 (EU 2024) veröffentlicht. Für die Zeitreihe bis 2030 wurden weitere Rückgänge der Emissionen aufgrund von technischen Verbesserungen der Herstellungsprozesse und Optimierungen über die gesamte Produktionskette angenommen. Dabei wird unterschieden zwischen den Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse, für deren Produktion bis 2030 eine Reduktion von knapp 20 % angesetzt wird und den Biokraftstoffen aus Abfällen und Reststoffen, für die eine Reduktion von knapp 50 % angenommen wird. Beim Anbau sind die Reduktionspotenziale begrenzt durch Abhängigkeiten von Vorketten (v.a. Düngemittel) und Feldemissionen. Die Verarbeitungsprozesse können dagegen ihre Emissionen durch die Wahl von erneuerbaren Prozessenergien deutlich reduzieren, was bei den Biokraftstoffen aus Abfällen und Reststoffen ausschlaggebend ist.

Außerdem wirkt sich der veränderte Biomassemix auf die Emissionsfaktoren der einzelnen Biokraftstoffe aus. So nehmen die THG-Emissionen bei Diesel und Ethanol wegen Umstieg auf fortschrittliche Biokraftstoffe (s.o.) stark ab. Bei Biomethan werden aufgrund der ab 2025 zunehmend eingesetzten Mengen von Gülle/Mist und der damit verbundenen Vermeidung von Methanemissionen auch niedrige Emissionsfaktoren erreicht, welche ein Anreiz für den Ausbau dieses Pfades sein werden²⁵.

Tabelle 100: THG-Emissionsfaktoren (g CO₂eq/MJ) der Biokraftstoffe im Trendszenario für Straßen und Schienenverkehr

Kraftstoff und Biomasse	2024	2030	2035	2040	2050
Ethanol	22,1	18,7	7,5	6,7	6,1
Biodiesel	16,5	13,5	9,2	7,9	6,3
Biomethan	19,2	12,8	8,9	6,1	3

Quelle: ifeu/TREMOT 6.63

²⁴ die staatliche Web-Anwendung Nachhaltige - Biomasse - Systeme

²⁵ Die Lagerung von unvergorener Gülle gilt als intensive Quelle von Methanemissionen, welche mittels Vergärung über einen Biogasreaktor vermieden werden können. Werden diese Reduktionen als Bonus angerechnet, kann dies sogar zu negativen Emissionen für Biomethan führen, siehe z.B. JEC WTT V.5 (Prussi et al. 2020). Die Anrechnung solcher Emissionsreduktionen ist allerdings wegen der Gefahr der Doppelbilanzierung mit anderen Sektoren umstritten und wird daher für TREMOD nicht durchgeführt.

A.1.3 Anteile der Biokraftstoffe und synthetischen Kraftstoffe am Endenergieverbrauch

Der energetische Anteil des Endenergieverbrauchs beträgt von Biodiesel an Diesel im Jahr 2024 5,7% und von Ethanol an Benzin 4,5 % (siehe Tabelle 101 sowie Tabelle 67 in Kapitel 3.6). Für das Trendszenario werden die Anforderungen der möglichen Beimischung für die Fahrzeuge berücksichtigt. Die aktuellen Normen DIN EN 590 und DIN EN 228 erlauben eine Beimischung von 7 % (v/v) für Diesel/B7 und 10 % (v/v) für Benzin/E10. Diese Beimischungen sind für die meisten Fahrzeuge zugelassen. Für bestimmte Fahrzeuge sind auch höhere Beimischungen oder Reinkraftstoffe zugelassen: manche Diesel-Fahrzeuge können B20, B30 und B100 tanken, manche Benzin-Fahrzeuge E85. Darüber hinaus hat HVO-Diesel keine Begrenzung der Beimischung und kann konventionellen Diesel zu 100 % ersetzen. Entsprechend kann Biodiesel in Form von HVO im Szenario unbegrenzt beigemischt werden, während E10 in Benzin getankt wird. Für Erdgasfahrzeuge gibt es keine Beimischungsgrenze für Biomethan. Der energetische Anteil von Biomethan an Erdgas (NG) bleibt daher ab 2025 durchgehend bei 100 %. In diesem Szenario sind PtX-Benzin und -Diesel nicht vorgesehen (siehe Tabelle 100).

Insgesamt ist die Menge an Biokraftstoffen im Jahr 2030, insbesondere Biodiesel (21% energetisch äquivalent zu 266 MJ) am höchsten, wenn die Ziele am ambitioniertesten sind, und reduziert sich danach. Ab 2040 steigen die Biokraftstoffanteile aufgrund der geringeren Menge an fossilen Kraftstoffen und der angenommenen konstanten Mindestenergiequoten für Part A wieder an.

Der Anteil nachhaltiger Flugkraftstoffe (SAF) im Luftverkehr entspricht den Vorgaben der EU-Verordnung (EU) 2023/2405 über die Förderung nachhaltiger Flugkraftstoffe („RefuelEU Aviation“). Die Erreichung der jeweiligen Zielvorgaben erfolgt im Szenario jedoch erst im jeweiligen Zieljahr. Von einer Übererfüllung der Vorgaben wird demnach in den Zwischenjahren nicht ausgängen.

Tabelle 101: Anteile Biokraftstoffe und PtX im Trendszenario

Energieträger	2024	2030	2035	2040	2050
Biodiesel an Diesel (energetisch)	5,7%	21,2%	1,5 %	1,8%	15,9%
Bioethanol an Benzin (energetisch)	4,5%	5,9%	5,0%	6,8%	6,8%
Biomethan an NG (energetisch)	85%	100%	100 %	100%	100%
SAF in Flugturbinenkraftstoff*	(2% ab 2025)	6% (davon 1,2% synthetisch)	20% (davon 5% synthetisch)	34% (davon 10% synthetisch)	70% (davon 35% synthetisch)

Anmerkungen: *SAF wird in den Vorkettenemissionsfaktoren der konventionellen Kraftstoffe berücksichtigt. Quellen: eigene Annahmen; 2045 für SAF: 42% (davon 15% synthetisch)

Insgesamt ergeben sich folgende Anteile der gemäß RED/THG-Quote unterschiedenen Biomassekategorien an dem gesamten Endenergieverbrauch des Straßen- und nichtelektrischen Schienenverkehrs (Tabelle 102). Im Jahr 2024 wird das Gesamtziel der THG-Quote nicht erreicht, das Subziel für Part A-Kraftstoffe und die Obergrenzen jedoch eingehalten. 2025 bis 2030 wird die Beimischung sukzessive erhöht, um dem steigenden Ambitionsniveau der THG-Quote

gerecht zu werden. Nach 2030 sinkt der Anteil der Biokraftstoffe, da bei unverändertem Ambitionsniveau der THG-Quote der Stromverbrauch durch die zunehmende Elektrifizierung der Flotte steigt.

Tabelle 102: Anteil der Biomassenmixkategorien nach THG-Quote im TREMOD-Trendszenario

Kraftstoff	2024	2030	2035	2040	2050
Biomasse aus Nahrungs- und Futtermittel-pflanzen	2,4%	4,4 %	0,0 %		
Altspeiseöl und tierische Fette	0,7%	1,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
fortschrittliche Biokraftstoffe	2,7%	8,7 %	2,6 %	2,6 %	2,6 %

Quelle: ifeu

A.1.4 Erfüllung der Vorschriften

Erfüllung der THG-Quote

Biokraftstoffe müssen seit dem 06.10.2015 bis 2020 je Megajoule Endenergie mindestens um 60% geringere THG-Emissionen haben als fossile Kraftstoffe (siehe Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung §8). Laut der Verordnung zur Neufassung der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung und der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vom 02.12.2021 wurden die Anforderungen an die Minderung der Treibhausgasemissionen erhöht: Anlagen, die ab 2021 und bis 2025 in Betrieb genommen werden, müssen ein THG-Einsparpotenzial von mindestens 70% nachweisen können, ab 2026 soll eine Minderung von 80% erreicht werden²⁶.

Neben Biokraftstoffen können auch Minderungen der spezifischen THG-Emissionen bis 1,2% durch Reduktion der Upstream-Emissionen (Reduktion von CO₂-Emissionen bei der Erdölgewinnung durch Abfackeln (Flaring) und Ablassen (Venting) sowie unkontrolliertes Entweichen von Begleitgasen der Erdölförderung) angerechnet werden (bezeichnet als UER). Die UER werden im Szenario infolge des UERV-Teil 2 §3 nur bis einschließlich 2024 berücksichtigt.

Infolge des BImSchG §37a Abs. 4 in Verbindung mit der 38. BImSchV berechnet sich der Referenzwert, gegenüber dem die Treibhausgasminderung zu erfolgen hat, durch Multiplikation des Basiswertes mit der vom Verpflichteten in Verkehr gebrachten energetischen Menge fossilen Otto- und fossilen Diesalkraftstoffs zuzüglich der vom Verpflichteten in Verkehr gebrachten energetischen Menge an Erfüllungsoptionen (Biokraftstoffe, Strom etc.). Der Basiswert beträgt 94,1 kg CO_{2e}/GJ (WTW). Treibhausgasemissionen des elektrischen Stroms werden durch Multiplikation der energetischen Menge des zur Verwendung in Straßenfahrzeugen mit Elektroantrieb entnommenen Stroms mit dem Wert für die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit des Stroms in Deutschland und dem Anpassungsfaktor für die Antriebseffizienz nach Anlage 3 (Anpassungsfaktor von 0,4 für die Antriebseffizienz von batteriegestützten Elektroantrieben) berechnet. Der an das UBA gemeldete Stromverbrauch im Straßenverkehr wird mit dem Anrechnungsfaktor 3 multipliziert, während auf RFNBOs der Anrechnungsfaktor 2 angewendet wird. Ab 2024 gilt für RFNBOs laut der Neufassung der 37. BImSchV ebenfalls der Anrechnungsfaktor 3.

²⁶ Für existierende Anlagen sind die THG-Einsparpotenziale: mindestens 50 Prozent %, sofern die letzte Schnittstelle, die den Biokraftstoff produziert hat, vor dem oder am 5. Oktober 2015 in Betrieb genommen worden ist und mindestens 60 Prozent, sofern die letzte Schnittstelle, die den Biokraftstoff produziert hat, am oder nach dem 6. Oktober 2015 und bis einschließlich 31. Dezember 2020 in Betrieb genommen worden ist,

Bei der Bestimmung, ob die THG-Quote erfüllt wurde, sind die Menge an Diesel, Benzin und Erfüllungsoptionen (inkl. der Anrechnungsfaktoren) zu berücksichtigen. Andere konventionelle Kraftstoffe werden nicht betrachtet.

Tabelle 103 zeigt die Ergebnisse zur Erfüllung der THG-Quoten im TREMOD-Szenario ab dem Verpflichtungsjahr 2024. Die Berechnung der Zielerreichung erfolgt auf Grundlage des in Abschnitt A.1.2 beschriebenen ökonometrischen Modells.

Tabelle 103: Ergebnisse der THG-Quote im TREMOD-Trendszenario (für Straßen- und Schienenverkehr)

Wert	2024	2030	2035
Biokraftstoffanteil gesamt (MJ/MJ) an Diesel, Otto und CNG inkl. Biokraftstoffe	5,8%	15,7%	3,1%
THG-Reduktion insgesamt ohne UER	-6,3%	-25,1%	-33,4%
THG-Reduktion insgesamt mit UER	-7,5%	UER nicht mehr anrechenbar	UER nicht mehr anrechenbar
THG-Minderungsziel	-9,35%	-25,1%	-25,1% (die Fortschreibung der THG-Quote für die Jahre ab 2031 steht aus)
THG-Quote erreicht	nein	ja	Nicht relevant

Quellen: TREMOD: Endenergieverbrauch nach TREMOD 6.63, THG-Minderung gemäß dem Modell BioMOD des ifeu, eigene Berechnungen gemäß Vorgaben BImSchG §37 und 38. BImSchV.

Im Jahr 2024 wird die THG-Quote laut den aktuell verfügbaren Daten zu Energiemengen voraussichtlich nicht erreicht. Die zugrunde liegenden Energiemengen sind jedoch nicht final und werden im Inventar 2024 aktualisiert.

In den Folgejahren wird die Quote aufgrund der Parametrisierung des ökonometrischen Modells erfüllt. Dies gelingt im Szenario vor allem durch einen starken Einsatz von Biokraftstoffen im Straßenverkehr – insbesondere durch HVO und Diesel Part A, wie bereits in den Jahren 2022 und 2023. Nach 2030 werden im Szenario die aktuellen Vorschriften unverändert durchgeführt.

Angesichts der hohen Menge an Part A, die zur Zielerreichung erforderlich ist, sowie der bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich der Verfügbarkeit und wiederholter Betrugsverdachtsfälle, kann die verlässliche Erfüllung der THG-Quote in ihrer derzeitigen Ausgestaltung nicht garantiert werden: für das betrachtete Szenario wäre eine Energiemenge von rund 183 PJ erforderlich. Vor dem Hintergrund der aktuellen Produktionskapazitäten fortschrittlicher Biokraftstoffe erscheint dies als nicht realistisch.

Die Zahlen nach 2030 sind rein informatorisch eingegeben, da die aktuelle THG-Quote nur bis 2030 gilt. Die bevorstehende Überarbeitung der THG-Quote wird die Rahmenbedingungen in den kommenden Monaten voraussichtlich deutlich verändern.

A.2 Heizwerte und Absatzmengen

Die Absatzmengen der Kraftstoffe werden in der AMS in Masseeinheiten (Gramm oder Tonnen) angegeben. Da die VEdV wie auch die Berichterstattung im Inventar auf Basis der physikalischen Einheiten in Joule angegeben werden, werden die Mengen der AMS mit den Heizwerten nach Angaben der AG Energiebilanzen umgerechnet. Tabelle 104 zeigt die verwendeten Heizwerte für die Kraftstoffe in den VEdV 2024.

Tabelle 104: Heizwerte für die Umrechnung der masse-bezogenen Energiemengen der AMS in physikalische Mengen (2024)

	Diesel	Biodiesel	Benzin	Bioethanol	Kerosin	Flugbenzin
Heizwert in kJ/kg	42.722	37.542	43.543	26.658	42.800	43.516

Quelle: (AG Energiebilanzen 2023)

Schließlich sind die von der AMS für das Jahr 2024 angegebenen Inlandsablieferungen in Tonnen und TJ in Tabelle 105 dargestellt (siehe auch Tabelle 67 in Kapitel 3.6.1).

Tabelle 105: Inlandsablieferungen der Kraftstoffe der VEdV 2024

Inlandsablieferungen	Diesel	Biodiesel	Benzin	Bioethanol	Kerosin	Flugbenzin
Menge in t	30.141.722	2.080.831	16.461.039	1.259.634	9.030.066	3.894
Menge in TJ	1.287.715	77.494	716.763	33.579	386.487	169

Quelle: AMS, Dezember 2024 vorläufig (BAFA o.J.)