

Projektionsbericht 2019 für Deutschland

gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	14
Zusammenfassung.....	21
1. Einleitung und methodischer Ansatz.....	28
1.1. Einleitung.....	28
1.2. Methodischer Ansatz für die Emissionsprojektionen.....	29
2. Beschreibung der Rahmendaten und der in Deutschland verabschiedeten Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz.....	33
2.1. Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten.....	33
2.1.1. Demographische Entwicklung.....	33
2.1.2. Gesamtwirtschaftliche Entwicklung.....	36
2.2. Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise.....	38
2.2.1. Preisprojektionen für Rohöl, Steinkohle und Erdgas.....	38
2.2.2. Preisprojektionen für Braunkohle.....	41
2.3. Preise für Treibhausgas-Emissionszertifikate.....	42
2.4. Projektion der Entwicklung der Endverbraucherpreise für Strom.....	43
2.5. Rahmendaten in einzelnen Sektoren.....	44
2.5.1. Verkehr.....	44
2.5.2. Private Haushalte.....	51
2.5.3. Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).....	53
2.6. Sektorübergreifende Maßnahmen.....	56
2.6.1. Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung.....	56
2.6.2. Ordnungsrecht.....	58
2.6.3. Flankierende und informatorische Instrumente.....	61
2.7. Maßnahmen in einzelnen Sektoren.....	64
2.7.1. Stromsektor / Energiewirtschaft.....	64
2.7.2. Verkehr.....	65
2.7.3. Gebäude – Wärme- und Kältebereitstellung.....	71
2.7.4. Private Haushalte – Strom.....	80
2.7.5. Industrie & Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) – Strom und Prozesswärme / -dampf.....	82

2.7.6.	Industrieprozesse und Produktverwendung (CO ₂ -, CH ₄ - und N ₂ O-Emissionen).....	89
2.7.7.	Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase).....	89
2.7.8.	Landwirtschaft	90
2.7.9.	LULUCF	92
2.7.10.	Abfallwirtschaft.....	93
3.	Quantifizierung der Wirkungen der Maßnahmen und Instrumente im Klimaschutz	95
3.1.	Sektorale Projektionen.....	95
3.1.1.	Verkehr	95
3.1.2.	Gebäude – Wärme- und Kältebereitstellung.....	104
3.1.3.	Private Haushalte – Strom	114
3.1.4.	Industrie	122
3.1.5.	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD): Strom und Prozesse	139
3.1.6.	Kraftwerke	142
3.1.7.	Übrige Energiewirtschaft	162
3.1.8.	Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	167
3.1.9.	Industrieprozesse und Produktverwendung (CO ₂ -, CH ₄ - und N ₂ O-Emissionen).....	171
3.1.10.	Industrieprozesse und Produktverwendung (Emissionen fluorierter Treibhausgase) ...	177
3.1.11.	Landwirtschaft	183
3.1.12.	LULUCF	188
3.1.13.	Abfallwirtschaft.....	192
3.2.	Primär- und Endenergieverbrauch.....	197
3.2.1.	Primärenergieverbrauch.....	197
3.2.2.	Endenergieverbrauch.....	200
4.	Treibhausgasemissionen	204
4.1.	Emissionen aus Verbrennungsprozessen.....	204
4.2.	Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung	205
4.3.	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen und deren Komponenten	207
4.3.1.	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen.....	207
4.3.2.	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen	209
4.3.3.	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in EU-Emissionshandel und ESD	212
4.4.	Sensitivitätsanalysen.....	213
4.4.1.	Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung.....	214
4.4.2.	EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor	215
4.4.3.	Ergebnis.....	216
5.	Institutionelle Maßnahmen und Instrumente zum Kyoto-Protokoll	218

5.1.	Zuständigkeiten auf Bundesebene.....	218
5.1.1.	IMA „CO ₂ -Reduktion“	218
5.1.2.	Arbeitsgruppe „Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffekts“ (AGE)	218
5.1.3.	Nationales System Emissionsinventare und die Nationale Koordinierungsstelle	218
5.1.4.	DEHSt	219
5.1.5.	Koordinierungsstelle Marktmechanismen.....	220
5.1.6.	Focal Point für Bildung zum Klimaschutz	220
5.2.	Zuständigkeiten auf Länderebene	221
	Literaturverzeichnis.....	224
	Anhang	231
	A1: Instrumententypen	231
	A2: Sektorzuordnungen.....	231
	A3: Emissionen in der Sektorzuordnung des Klimaschutzplans 2050.....	232
	A4: Bruttostromerzeugung.....	233

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen	30
Abbildung 2:	Aktuelle Bevölkerungsprojektionen im Vergleich	34
Abbildung 3:	Vergleich aktueller und vergangener Projektionen des Bruttoinlandsprodukts.....	38
Abbildung 4:	Energieträgerpreise und Vergleich EU-Guidelines und gewählte Preise	39
Abbildung 5:	Vergleich verschiedener Ölpreisprojektionen.....	40
Abbildung 6:	Vergleich CO ₂ -Preise historisch, EU-Guidelines 2018 und PB 2019 Vorschlag	43
Abbildung 7:	Entwicklung der durchschnittlichen CO ₂ -Emissionen von Pkw-Neuzulassungen im Zeitraum 2010-2030 im MMS ggü. verschiedenen Ziel- und Messwerten	47
Abbildung 8:	Differenzierung der EE im Verkehr nach RED II – Vorgaben für 2030	49
Abbildung 9:	Nominale und reale EE-Anteile im Verkehr im Jahr 2030 (ohne konventionelle Biokraftstoffe).....	50
Abbildung 10:	Annahmen zum Biokraftstoffanteil im MMS.....	51
Abbildung 11:	Flussdiagramm zum TEMPS-Modell	96
Abbildung 12:	Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs (ohne Sonderverkehre) im MMS	101
Abbildung 13:	Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab.....	105
Abbildung 14:	Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/EE-Lab	107
Abbildung 15:	Endenergiebedarfsentwicklung der Wärmebereitstellung nach Gebäudekategorien im MMS	108
Abbildung 16:	Endenergieentwicklung nach Energieträgern im MMS.....	109
Abbildung 17:	Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul).....	116
Abbildung 18:	Überblick des Modells FORECAST-Industry	124
Abbildung 19:	Begriffsklärung KWK-Wärme und Fernwärme	144
Abbildung 20:	Nutzungsgrade von Bestandskraftwerken (Kondensations-Kraftwerke und Kondensations-Scheiben der KWK-Anlagen) nach Inbetriebnahmejahr	146
Abbildung 21:	Installierte Leistung erneuerbarer Energien 2016 bis 2035	150
Abbildung 22:	Nettostromerzeugung im MMS, 2016-2035	154
Abbildung 23:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 1990-2035	164
Abbildung 24:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS.....	170
Abbildung 25:	Entwicklung der Industrieprozessemissionen (CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) im MMS nach Quellgruppen	175
Abbildung 26:	Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im MMS nach Quellgruppen.....	180

Abbildung 27:	Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im MMS nach Gasgruppen	182
Abbildung 28:	Primärenergieverbrauch im MMS.....	199
Abbildung 29:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS.....	201
Abbildung 30:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS.....	203
Abbildung 31:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen (1990–2035).....	211
Abbildung 32:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MMS).....	215

Tabellenverzeichnis

Tabelle Z- 1:	Ausgewählte demographische, wirtschaftliche und energiewirtschaftliche Rahmendaten, 2016-2035	22
Tabelle Z- 2:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS, 1990-2035	23
Tabelle Z- 3:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)	25
Tabelle 1:	Projizierte Wachstumsraten der Bevölkerung in %.....	35
Tabelle 2:	Durchschnittliche, jährliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsproduktes für Deutschland in verschiedenen Projektionen, sowie Vorschläge für den Projektionsbericht 2019 in Prozent.....	36
Tabelle 3:	Energiepreis-Projektionen* für Rohöl, Erdgas und Steinkohle, 2017–2035	40
Tabelle 4:	Kostenannahmen der Braunkohleförderung für den Projektionsbericht 2019	41
Tabelle 5:	Preise für ETS-Zertifikate in € ₂₀₁₆ /EUA.....	42
Tabelle 6:	Annahmen zur Entwicklung der mittleren Endverbraucher-Strompreise je Sektor [Eurocent ₂₀₁₆ /kWh]	43
Tabelle 7:	Verkehrsnachfrage Personenverkehr im MMS in Mrd. pkm.....	45
Tabelle 8:	Verkehrsnachfrage Güterverkehr im MMS in Mrd. tkm	46
Tabelle 9:	Verkehrsnachfrage Seeverkehr im MMS in Mrd. tkm.....	46
Tabelle 10:	Annahmen für die Entwicklung der Batteriesystemkosten.....	46
Tabelle 11:	Vergleich der Anzahl privater Haushalte verschiedener Quellen (fettgedruckt: für den Projektionsbericht 2019 verwendete Daten)	52
Tabelle 12:	Angenommenen Entwicklung der Wohnflächen bis zum Jahr 2035	52
Tabelle 13:	Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie je Wirtschaftszweig (Mrd. € ₂₀₁₀)	53
Tabelle 14:	Produktionsmengen energieintensiver Grundstoffe.....	54
Tabelle 15:	Anzahl der Beschäftigten je Wirtschaftszweig im Sektor GHD [Mio. Beschäftigte]	56
Tabelle 16:	Übersicht Ökodesign-Richtlinie: Umsetzungsstand und Modellierung	60
Tabelle 17:	Angenommene Mautsätze in ct / km im MMS bis einschließlich 2018 und auch weiterführend für das OMS.....	98
Tabelle 18:	Mautsätze in ct / km im MMS ab 2019	98
Tabelle 19:	Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Berechnungen des TEMPS-Modells.....	99
Tabelle 20:	Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MMS in PJ	100

Tabelle 21:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen	102
Tabelle 22:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	103
Tabelle 23:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung.....	109
Tabelle 24:	Einsparungen fossiler Brennstoffe für ausgewählte Maßnahmen	111
Tabelle 25:	Direkte Minderungen an Treibhausgasemissionen für ausgewählte Maßnahmen	111
Tabelle 26:	Auswirkung auf Stromnachfrage für ausgewählte Maßnahmen	112
Tabelle 27:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	113
Tabelle 28:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im GHD-Sektor (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	114
Tabelle 29:	Vorgehen zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	117
Tabelle 30:	Übersicht der Maßnahmen in privaten Haushalten: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten	118
Tabelle 31:	Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten	119
Tabelle 32:	Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MMS.....	120
Tabelle 33:	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010– 2035 im MMS	121
Tabelle 34:	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MMS	122
Tabelle 35:	Branchenstruktur von FORECAST-Industry (angelehnt an AGEB)	124
Tabelle 36:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten	126
Tabelle 37:	Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und - produkte des Modells FORECAST zum Emissionshandel nach Sektoren	126
Tabelle 38:	Von der Strom- bzw. Energiesteuer vollständig entlastete Produktionsprozesse	128
Tabelle 39:	Überschneidungen bei der Wirkung der BesAR sowie des Spitzenausgleichs (grün: Entlastung gekoppelt an EMS; blau: Entlastung ohne Anforderung; orange: keine Entlastung; grau: keine Belastung); Mengenangaben für 2017	130
Tabelle 40:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD	135
Tabelle 41:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS - Stromeinsparungen	137

Tabelle 42:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen	137
Tabelle 43:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke) zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	139
Tabelle 44:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS - Stromeinsparungen	141
Tabelle 45:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen	141
Tabelle 46:	Technische Lebensdauern der Bestandskraftwerke	144
Tabelle 47:	Parameter der KWK-Scheiben	146
Tabelle 48:	Kumulierter Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen im MMS ab 2017 (GW _{eI}).....	148
Tabelle 49:	Installierte Leistung erneuerbarer Energien (MMS)	149
Tabelle 50:	Volllaststunden zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien.....	150
Tabelle 51:	Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm).....	151
Tabelle 52:	Stromverbrauch im MMS 2008-2035	152
Tabelle 53:	Nettostromerzeugung im MMS, 2016-2035	155
Tabelle 54:	Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im MMS (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2016-2035	156
Tabelle 55:	CO ₂ -Emissionen der Kraftwerke nach Subsektoren im MMS, 1990–2035.....	157
Tabelle 56:	Installierte Leistung erneuerbarer Energien (OMS)	159
Tabelle 57:	CO ₂ -Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MMS	160
Tabelle 58:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Stromsektor zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	162
Tabelle 59:	Ausbau im Bereich der netzgebunden Wärme im MMS.....	163
Tabelle 60:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 2016-2035	165
Tabelle 61:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der übrigen Energiewirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS	166
Tabelle 62:	Relevante Quellgruppen für diffuse Emissionen aus Brennstoffen sowie in der Modellierung verwendete Aktivitätsraten	167
Tabelle 63:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS (1990-2035)	169
Tabelle 64:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen der diffusen Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	171
Tabelle 65:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS nach Quellgruppen.....	173

Tabelle 66:	Emissionsminderungswirkung von CO ₂ - und N ₂ O-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS	175
Tabelle 67:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS	176
Tabelle 68:	Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS	179
Tabelle 69:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (fluorierte Treibhausgase) im MMS, 2005-2035 nach Quellgruppen.....	181
Tabelle 70:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (fluorierte Treibhausgase) aus Industrieprozessen und Produktverwendung im MMS zwischen 1990 und 2035 nach Gasgruppen	183
Tabelle 71:	Entwicklung der Tierbestände 1990-2035, Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 belegte Stallplätze	184
Tabelle 72:	Entwicklung des Einsatzes von Energiepflanzen in Biogasanlagen 1990-2035 in kt Trockenmasse	184
Tabelle 73:	Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CH ₄	185
Tabelle 74:	Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N/Jahr	185
Tabelle 75:	Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N ₂ O	185
Tabelle 76:	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂	186
Tabelle 77:	Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂ -Äquivalenten	186
Tabelle 78:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung.....	187
Tabelle 79:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen	187
Tabelle 80:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	188
Tabelle 81:	Entwicklung der Aktivitätsdaten [1000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035.....	189
Tabelle 82:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen [kt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035	190
Tabelle 83:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035.....	190
Tabelle 84:	Entwicklung der CH ₄ -Emissionen [kt CH ₄] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035.....	190
Tabelle 85:	Entwicklung der N ₂ O-Emissionen [kt N ₂ O] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035.....	191

Tabelle 86:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung.....	191
Tabelle 87:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen	192
Tabelle 88:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des LULUCF-Sektors zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	192
Tabelle 89:	Entwicklung der Methanemissionen im Abfallsektor 1990 – 2035 in kt CH ₄	194
Tabelle 90:	Entwicklung der Lachgasemissionen im Abfallsektor 1990-2035 in kt N ₂ O.....	195
Tabelle 91:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS	195
Tabelle 92:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im Abfallsektor.....	196
Tabelle 93:	Primärenergieverbrauch im MMS 2008-2035.....	199
Tabelle 94:	Vergleich der Zuordnung der CRF-Sektoren 1.A.2 bis 1.A.5 und der Endenergie-Sektoren in der Energiebilanzstruktur.....	200
Tabelle 95:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS (2016-2035)	202
Tabelle 96:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS (2016-2035).....	203
Tabelle 97:	Emissionsentwicklungen für die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen nach Gasen, 1990–2035.....	204
Tabelle 98:	Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen, 1990–2035	205
Tabelle 99:	Emissionsentwicklungen für die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung nach Gasen, 1990–2035.....	206
Tabelle 100:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen, 1990-2035.....	208
Tabelle 101:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen, 1990-2035	212
Tabelle 102:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035	213
Tabelle 103:	Energie- und CO ₂ -Preise für die Sensitivitätsrechnung „Mittelfristig niedrigere Preise“	214
Tabelle 104:	Veränderung der Stromerzeugung bei Veränderung der Brennstoff- und CO ₂ -Preise im MMS.....	216
Tabelle 105:	Veränderung der CO ₂ -Emissionen des Stromsektors bei niedrigen Brennstoff- und CO ₂ -Preisen, MMS.....	216
Tabelle 106:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)	217
Tabelle 107:	Übersicht des regelmäßig stattfindenden Austauschs zu Klimaschutzthemen zwischen Bund und Ländern im Rahmen der UMK-Struktur	222

Tabelle A 1:	Klassifikation der Instrumententypen	231
Tabelle A 2:	Zuordnung von CRF-Kategorien im Projektionsbericht 2019 und im <i>Klimaschutzplan 2050</i>	231
Tabelle A 3:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MMS, 1990-2035	232
Tabelle A 4:	Bruttostromerzeugung im MMS (2008-2035).....	233

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr („annum“)
AbfAbIV	Abfallablagungsverordnung
AEO	Annual Energy Outlook
AG	Aktiengesellschaft
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
APEE	Anreizprogramm Energieeffizienz
AR4	4. IPCC Assessment Report
AS	Alternative Systeme
AtG	Atomgesetz
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAM	Bundesanstalt für Materialprüfung und Forschung
bbl	Barrel
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BEA	U.S. Bureau of Economic Analysis
BesAr	Besondere Ausgleichsregelung
BEV	Battery Electric Vehicle
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNetzA	Bundesnetzagentur
boe	Barrel-Öleinheit
BT-Drs.	Bundestagsdrucksache
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
bzw.	beziehungsweise
CBA	Cost-benefit analysis
ccm	Kubikzentimeter
CCR	Carbon (Dioxide) Capture and Recycling
CCS	Carbon (Dioxide) Capture and Storage
CE	Europäische Gemeinschaft (Communauté Européenne) – Kennzeichnung
CH₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas

CO₂	Kohlendioxid
CO_{2e}	Kohlendioxid-Äquivalent
CP	Current Policy Scenario
CRF	Common Reporting Format
CsgG	Carsharinggesetz
D	Forschung und Entwicklung
DB	Deutsche Bahn
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DENA	Deutsche Energie-Agentur
DG ECFIN	Directorate-General for Economic and Financial Affairs
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
E	Ökonomische Instrumente
EAF	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)
EBS	Ersatzbrennstoff
EC	European Commission
EDL	Energiedienstleistungen
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EE	Erneuerbare Energien
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EED	Energieeffizienzrichtlinie (Energy Efficiency Directive)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EEEX	European Energy Exchange
EFSI	Europäischer Fonds für strategische Investitionen
EG	Europäische Gemeinschaft
EGS	Ecosystem Goods and Services
EIA	U. S. Energy Information Administration
EKF	Energie- und Klimafonds
EKFG	Gesetz zur Einrichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKFG)
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
ELIAS	Electricity Investment Analysis
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EMS	Energiemanagementsysteme
EnEff	Energieeffiziente Stadt
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnOB	Forschung für energieoptimiertes Bauen
ENTR	(Directorate General) Enterprise and Industry

EntsoE	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Verband europäischer Übertragungsnetzbetreiber)
EnUSeM	EnergieUmwandlungs-Sektor-Modell
EnVKG	Energieverbrauchs-kennzeichnungsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ESD	Effort-Sharing-Decision
ESF	Europäischer Sozialfonds
ESVG	Europäisches System der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung
ET	Bildung
ETS	Emissions Trading System
EUA	Europäische Umweltagentur
EUA	EU-Allowance
EuP	Elektronisch unterwiesene Person
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
EWR	europäischer Wirtschaftsraum
F	Fiskalische Instrumente
FAME	Fettsäuremethylester
F-Gase	fluorierte Treibhausgase
FKW	perfluorierte Kohlenwasserstoffe
FNB	Fernleitungsnetzbetreiber
FW	Fernwärme
Fzghm	Fahrzeugkilometer
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der EU
Gg	Gigagramm
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GJ	Gigajoule
GT	Gasturbine
GuD	Gas- und-Dampf-Kraftwerk
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
GWP	Global Warming Potential
GWS	Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung
HFKW	teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
HH	(Private) Haushalte
H_i	Heizwert
Ho bzw. HCV	oberer Heizwert
H_s	Brennwert
Hu bzw. NCV	unterer Heizwert
I	Information

ICAO	Internationale Zivilluftfahrt-Organisation
ICCT	International Council on Clean Transportation
ICE	Intercontinental Exchange
IE	included elsewhere
IEA	Internationale Energieagentur
IKK	Investitionskredit Kommunen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IKU	Investitionskredit Kommunale und Soziale Unternehmen
IMA	Interministerielle Arbeitsgruppe
IMO	International Maritime Organization (Internationale Schifffahrtsorganisation)
Inst.	Institut
Internat.	International
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IT	Informationstechnik
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
KfW-EH	KfW Effizienzhaus
Kfz	Kraftfahrzeug
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
koord.	koordinierte
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
kt	Kilotonne
kW	Kilowatt
KW	Kohlenwasserstoffe
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LED	Leuchtdiode (Light-emitting Diode)
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	leichte Nutzfahrzeuge
LNG	liquefied natural gas
LPG	Liquefied pressurized gas
LuftVStG	Luftverkehrsteuergesetzes
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
MAC-Richtlinie	Richtlinie 2006/40/EG
MAP	Marktanreizprogramm
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MFH	Mehrfamilienhaus
Mg	Megagramm
MinöStG	Mineralölsteuergesetz
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MJ	Megajoule

MMR	Monitoring Mechanism Regulation
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
Mt	Megatonne
MWh	Megawattstunde
MWh_{th}	Megawattstunde (thermisch)
MWSt	Mehrwertsteuer
N	Stickstoff
n. V.	nach Vereinbarung
N₂O	Lachgas
NA	not applicable
NACE	Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der europäischen Gemeinschaft (Nomenclature statistique des activités économiques dans la communauté européenne)
NAPE	„Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz“
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NE-Metalle	Nicht-Eisen-Metalle
NER	“New Entrants’ reserve“
NF₃	Stickstofftrifluorid
NIR	Nationaler Inventarbericht
NIR	National Inventory Report
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative
NMVOC	non methane volatile organic compounds (Flüchtige organische Verbindungen außer Methan)
NO	not occurring
nom.	Nominal
NP	New Policy Scenario
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NRMM	Non-Road Mobile Machinery
NTC	Net Transfer Capacities
NTRI	Nationale Top-Runner-Initiative
NWG	Nichtwohngebäude
O	Andere
o.J.	ohne Jahr(esangabe)
ODS	Ozone Depleting Substances (ozonabbauende Stoffe)
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OMS	Ohne-Maßnahmen-Szenario
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ORC	Organic Rankine Cycle
ÖV	öffentlicher Verkehr
p.a.	pro anno / jährlich
PB	Projektionsbericht
PC	Personal Computer

PEV	Primärenergieverbrauch
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PJ	Petajoule
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
ppm	parts per million
PV	Photovoltaik
QT	Transmissionswärmeverlust
R	Regulierung
REA	Rauschgasentschwefelungsanlage
REG	Regenerative Energien
RL	Richtlinie
RV	Rentenversicherung
SAR	2. IPCC Assessment Report
SESAR	Single European Sky ATM Research
SF₆	Schwefelhexafluorid
SGB	Sozialgesetzbuch
SHHV	Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr
SKE	Steinkohleeinheit
SKI	Stromkostenintensität
SLAM	„Schnellladenetz für Achsen und Metropolen“
SpaEfV	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung
SSU	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen
StBA	Statistisches Bundesamt
STEP up!	STromEffizienzPotenziale (nutzen)
StromStG	Stromsteuergesetz
SystEEem	Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration der erneuerbaren Energien
TASi	TA Siedlungsabfall
TDI	Toluol-2,4-diisocyanat
TEMPS	Transport Emissions and Policy Scenarios
THG	Treibhausgas
TI	Thünen Institut
TJ	Terajoule
tkm	Tonnenkilometer
TREMOD	Transport Emission Model
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USD	US-Dollar
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient

V	Verpflichtungserklärungen
Var.	Variante
VEM	Vattenfall Europe Mining AG
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
VgV	Vergabeordnung
ViZ	Verkehr in Zahlen
VO	Verordnung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VP 2030	Verkehrsverflechtungsprognose 2030
TI	Thünen-Institut
vzbv	Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.
WEHAM	Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung
WG	Wohngebäude
Whg	Wohnung
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure
WVZ	Wirtschaftliche Vereinigung Zucker
WZ	Klassifikation der Wirtschaftszweige
WZ 2003	Klassifikation der Wirtschaftszweige
ZDH	Zentralverband des Deutschen Handwerks
zGG	zulässiges Gesamtgewicht
ZSE	Zentrales System Emissionen
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie

Zusammenfassung

Einleitung

Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union sind verpflichtet, alle zwei Jahre eine Schätzung vorzunehmen, wie sich ihre jeweiligen Treibhausgasemissionen in den nächsten etwa 20 Jahren voraussichtlich entwickeln. Der deutsche Projektionsbericht 2019 beruht auf Ergebnissen des Projekts „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politikszenerien IX“), in dessen Rahmen ein Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2020 bis 2035 erarbeitet wurde. Da zum Projektstart (31. August 2018) noch keine konkreten weiteren Klimaschutz-Maßnahmen durch die Bundesregierung geplant waren, wurde auf die Modellierung eines Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) verzichtet.

Im MMS werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis 31. August 2018 verabschiedet worden sind. Es beinhaltet auch Maßnahmen des „Aktionsprogramms Klimaschutz 2020“ (BMUB 2014) sowie des *Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE)*, welche zu diesem Zeitpunkt umgesetzt sind. Für die Bewertung der Maßnahmenwirkung wird die Entwicklung der THG-Emissionen in diesem Szenario mit einer (hypothetischen) Entwicklung verglichen, die ohne diese Maßnahmen bzw. ohne die entsprechende Novellierung bereits bestehender Politiken und Maßnahmen eingetreten wäre¹. Dabei werden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem jeweils beschriebenen Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen wirksam waren.

Im Rahmen der Szenarienberechnung erfolgte eine detaillierte Analyse der bis zum jeweiligen Stichtag verabschiedeten klima- und energiepolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effekte für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Berücksichtigt wurden dabei die Emissionen der vom Kyoto-Protokoll erfassten Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) für die Quellsektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Haushalte, Verkehr, diffuse Emissionen aus Brennstoffen, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft sowie Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF). Die für Deutschland relevanten Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs werden nachrichtlich ausgewiesen.

Zur Szenarientwicklung wurden ein Energiesystem- und ein Emissionsberechnungsmodell eingesetzt, mit dessen Hilfe die Ergebnisse detaillierter – zum Teil modellgestützter – Sektoranalysen zu einem konsistenten und vollständigen Mengengerüst für den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen verdichtet wurden. Spezifische Untersuchungen wurden für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser, elektrische Geräte, brennstoffbedingte Emissionen der Industrie, GHD, Verkehr, Stromerzeugung, übrige Energiewirtschaft, flüchtigen Emissionen des Energiesektors, prozessbedingte CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen der Industrie, HFKW-, FKW- und SF₆-Emissionen sowie Abfallwirtschaft angestellt. Für Landwirtschaft und LULUCF wurden die Ergebnisse des Thünen-Instituts übernommen.

Die Bundesregierung macht sich die Ergebnisse der vorgelegten Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2005 bis 2035 nicht zu eigen. Szenarien, die in das Jahr 2035 reichen, sind grundsätzlich mit großen Unsicherheiten behaftet. Je nach Annahmen und verwendeter Methodik werden andere Verläufe abgeschätzt. So kommen Studien und Prognosen, die im Auftrag der Bundesregierung z.B. zum Aktionsprogramm Klima-

¹ Eine solche hypothetische Entwicklung wird für die einzelnen Maßnahmen abgeleitet. Die Ableitung eines integrierten Ohne-Maßnahmen-Szenarios (OMS) erfolgt innerhalb dieses Projektes nicht.

schutz 2020 und zum Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz erarbeitet wurden, im Einzelnen zu abweichenden Ergebnissen. Die Bundesregierung wird allerdings die Forschungsergebnisse des Projektionsberichts in ihre künftigen Überlegungen mit einbeziehen.

Die im Bericht dargestellten Maßnahmen sowie die Ergebnisse des Berichts präjudizieren die Bundesregierung vor allem bezüglich ihrer hier angenommenen Ausgestaltung nicht. Sofern zusätzliche Maßnahmen umgesetzt werden sollen, stehen diese unter Finanzierungsvorbehalt.

Rahmendaten

Für die Entwicklung der Energiebedarfs- und Emissionsszenarien spielen eine Reihe wichtiger Rahmensetzungen eine entscheidende Rolle. Dies betrifft sowohl die demographischen und wirtschaftlichen Rahmendaten als auch die Entwicklung der Energiepreise. Für die Erstellung der Projektionen wurden diese überwiegend aus einem Vorgängerprojekt (Folgenabschätzung für den *Klimaschutzplan 2050*) übernommen bzw. angepasst. Zum Teil wurde die aktuelle Guidance der EU-Kommission verwendet (Entwicklung des EUA-Preises) bzw. eigene Abschätzungen vorgenommen (Braunkohle-Preis). Sektorspezifische Rahmendaten (Verkehr, Haushalte, Industrie sowie GHD) wurden ebenfalls abgeleitet. Tabelle Z- 1 zeigt die wichtigsten Rahmendaten für die Szenarien im Überblick.

Der Szenarientwicklung liegt eine demographische Entwicklung zugrunde, in der die deutsche Wohnbevölkerung zunächst bis 2020 leicht zunimmt (auf 83,2 Millionen Einwohner) und dann kontinuierlich bis 2035 leicht zurückgeht, so dass für das Jahr 2035 81,9 Millionen Einwohner erwartet werden. Die Zahl der Privathaushalte erhöht sich im gleichen Zeitraum durch den anhaltenden Trend zu kleineren Haushalten noch leicht.

Für die wirtschaftliche Entwicklung wird bis zum Jahr 2035 ein relativ stetiges Wachstum unterstellt. Die Bruttowertschöpfung in der Industrie nimmt im Zeitraum 2016 bis 2035 von 492 Mrd. €₂₀₁₀ auf 600 Mrd. €₂₀₁₀ zu (siehe Tabelle 13 für eine Aufteilung der Wertschöpfung auf Industriebranchen). Für den Bereich privater und öffentlicher Dienstleistungen wird von einem leichten Anstieg der Beschäftigten zwischen 2016 und 2020 ausgegangen. Von 2020 bis 2035 sinkt die Beschäftigtenzahl im Dienstleistungssektor leicht. Der Preis für Rohöl wird im Jahr 2035 sehr deutlich über dem Preis des Jahres 2016 liegen.

Hinsichtlich der Preise für EU-Emissionszertifikate liegt den Szenarien ein deutlich steigender Preis zu Grunde, der im Jahr 2035 ein Niveau von 43,5 € je EUA (real, Preisbasis 2016) erreicht.

Tabelle Z- 1: Ausgewählte demographische, wirtschaftliche und energiewirtschaftliche Rahmendaten, 2016-2035

	2016	2020	2025	2030	2035
Demographische Entwicklung					
Wohnbevölkerung (Mio.)	82,5	83,2	83,0	82,6	81,9
Private Haushalte (in Mio.)	41,3	42,2	42,6	42,8	43,1
Wirtschaftliche Entwicklung					
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. € ₂₀₁₀)	2.855	3.088	3.294	3.445	3.603
Bruttowertschöpfung Industrie (Mrd. € ₂₀₁₀)	492,0	515,7	547,6	572,1	599,8
Beschäftigte im Dienstleistungssektor (in Mio.)	29,0	29,7	29,6	28,6	27,6
Primärenergieträgerpreise					

	2016	2020	2025	2030	2035
(€₂₀₁₆/GJ H_u)					
Rohöl Brent	6,6	13,2	15,0	16,5	17,2
Steinkohle	2,3	2,5	3,0	3,6	3,8
Erdgas	4,6	7,7	8,4	9,1	9,7
CO₂-Zertifikatspreise (€₂₀₁₆/EUA)	5,3	15,5	23,3	34,7	43,5

Quellen: (StBA), (StBA), (StBA 2016b, 2017a), (StBA 2017b), (StBA 2018), (BMWi 2018a), (EC 2018), (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2018), (Bundesregierung 2017), Annahmen und Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Emissionsentwicklung

Die Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen ergibt sich einerseits aus den energiebedingten Treibhausgasemissionen und andererseits aus den Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung, der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Solche Schätzungen der Emissionsentwicklung sind selbst bezüglich relativ kurzer Zeiträume mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Wirtschaftsentwicklung, Energiepreise und andere Rahmenbedingungen können die tatsächliche Entwicklung stark beeinflussen. Die Ergebnisse sind daher vor dem Hintergrund der dargestellten Annahmen zu den Rahmendaten zu bewerten. Die Sensitivitätsanalysen zeigen die mögliche Größenordnung der bestehenden Unsicherheiten.

Tabelle Z- 2: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS, 1990-2035

Sektor ^b	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Energiewirtschaft	427,4	379,4	356,9	332,2	286,1	290,3	255,1	247,8
Industrie	186,7	115,3	125,1	126,4	118,0	112,0	107,1	103,4
GHD	88,4	47,8	47,6	45,1	44,0	38,3	32,5	27,0
Haushalte	131,9	112,0	107,0	91,5	78,9	65,0	55,9	49,4
Verkehr	164,4	161,4	154,2	166,8	171,2	166,5	160,3	152,1
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,0	7,3	7,0	6,7	6,4
Industrieprozesse	97,1	76,3	63,4	61,8	58,2	52,4	45,4	44,5
Landwirtschaft	79,4	63,3	62,6	65,2	63,2	62,0	61,5	61,5
Abfallwirtschaft	38,4	21,2	14,6	10,5	8,6	6,8	5,5	5,4
Gesamt	1.251,6	993,1	942,8	909,4	835,6	800,4	730,0	697,6
<i>ggü. 2005</i>	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-8,4 %	-15,9 %	-19,4 %	-26,5 %	-29,8 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,7 %	-24,7 %	-27,3 %	-33,2 %	-36,0 %	-41,7 %	-44,3 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-27,6 %	-33,4 %	-36,2 %	-41,8 %	-44,4 %
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	29,5	11,3	19,0	18,8
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	34,7	36,9	39,5	41,1	39,3
Gesamt inklusive nachricht-	1.238,9	1.011,2	958,9	929,7	902,1	851,2	790,1	755,6

Sektor ^b	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
lich								
ggü. 2005	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-8,1 %	-10,8 %	-15,8 %	-21,9 %	-25,3 %
ggü. 1990	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,0 %	-27,2 %	-31,3 %	-36,2 %	-39,0 %
ggü. Basisjahr ^a	-0,3 %	-18,6 %	-22,8 %	-25,2 %	-27,4 %	-31,5 %	-36,4 %	-39,2 %

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet. ^b Die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern weicht vom Sektorzuschnitt des *Klimaschutzplans 2050* ab. Eine Darstellung der „Umrechnung“ für Vergleichszwecke findet sich in Tabelle A 3.

Für die *gesamten Treibhausgasemissionen* (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und ohne internationalen Luft- und Seeverkehr) ergibt sich für den Zeitraum 2005 bis 2020 eine Minderung um 158 Mt CO₂e bzw. 16 %. Bis 2030 beträgt die Minderung ggü. 2005 etwa 263 Mt CO₂e bzw. 26 % und bis 2035 etwa 296 Mt CO₂e bzw. 30 %. Im Vergleich zu 1990 entspricht dies bis 2020 einer Minderung um 33 %, bis 2030 einer Minderung um etwa 42 % und bis 2035 um gut 44 %. Betrachtet man zusätzlich die im Bericht analysierten Sensitivitäten, ergibt sich eine Emissionsminderung in 2020 (2030) von bis zu 34,3 % (43,6 %) im Vergleich zu 1990 (in der Berechnung mit schwächerem Wirtschaftswachstum).

Hinzuweisen ist jedoch auch darauf, dass die beschriebenen Emissionstrends die Entwicklungen im *internationalen Flugverkehr* (und in geringerem Umfang auch der Hochseeschifffahrt) ausklammern. Insbesondere die sehr dynamische Entwicklung im internationalen Luftverkehr führt dazu, dass die entsprechenden Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2020 (2030) um fast 7 (11) Mt CO₂e wachsen, dies entspricht einem Zuwachs von ca. 23 % (37 %).

Die *energiebedingten Treibhausgasemissionen* werden wesentlich bestimmt durch die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in der Energiewirtschaft und den Endverbrauchssektoren Industrie, Haushalte, Verkehr, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie die flüchtigen CH₄-Emissionen aus dem Kohlenbergbau sowie der Öl- und Gaswirtschaft.

Die Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung (Energiesektor, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Haushalte und Verkehr einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr) sinken im Zeitraum 2005 bis 2020 um 111 Mt CO₂e, bis 2030 um 194 Mt CO₂e und bis 2035 um 227 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Minderung von etwa 13 % bzw. 23 % bzw. 27 % gegenüber 2005 und einer Minderung von 28 % bzw. 36 % bzw. 39 % gegenüber 1990. Etwa 44 % dieser Emissionsminderung wird dabei 2035 von den Endverbrauchssektoren (ohne internationalen Verkehr) erbracht, wobei durch Sanierungsmaßnahmen und durch die Abnahme des Anteils an Heizölkesseln erhebliche Minderungen in den Haushalten (allein etwa 63 Mt CO₂e gegenüber 2005) erreicht werden. Dem stehen geringere absolute Emissionsänderungen in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und nationaler Verkehr gegenüber (Absenkung zusammen um ca. 42 Mt CO₂e von 2005 bis 2035). Der gesamte Beitrag der Energiewirtschaft (ohne Industriekraftwerke) zur Emissionsminderung bei den Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung beträgt für den genannten Zeitraum ca. 56 %. Diese Emissionsreduktion in der Energiewirtschaft ist in erster Linie auf den Rückgang der Kohleverstromung zurückzuführen.

Die diffusen Emissionen aus dem Kohlenbergbau und der Öl- und Gaswirtschaft gehen von 2005 bis 2035 um 61 % zurück. Diese Entwicklung resultiert vor allem aus der Beendigung des Steinkohlenbergbaus in Deutschland. Insgesamt ergibt sich für die energiebedingten Treibhausgasemissionen (verbrennungsbedingte Emissionen, einschließlich internationalem Verkehr, und diffuse Emissionen aus Brennstoffen) im Zeitraum 2005 bis 2035 eine Reduktion von 246 Mt CO₂e bzw. 30 %.

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen wird für Deutschland vor allem durch die Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Stahl- und Zementproduktion sowie der N₂O-Emissionen aus der chemischen Industrie geprägt. Neben den prozessbedingten CO₂- und N₂O-Emissionen spielen auch die Emissionen fluorierter Treibhausgase aus Industrieprozessen und der Produktverwendung eine wichtige Rolle. Hier ergeben sich gegenüber 2005 bis 2035 Emissionsreduktionen in Höhe von 32 Mt CO₂e bzw. 42 %.

Die Emissionen aus der Landwirtschaft liegen 2035 etwa 2 Mt CO₂e bzw. rd. 3 % niedriger als 2005. Die Emissionen der Abfallwirtschaft sinken zwischen 2005 und 2035 um 16 Mt CO₂e bzw. 74 %, als Folge der verminderten Deponierung von organischen Abfällen.

Sensitivitätsanalysen

Zur Einordnung der Ergebnisse wurde die Sensitivität bezüglich der Annahmen zur demographischen und gesamtwirtschaftlichen Entwicklung analysiert. Dafür wurde einerseits in MMS ein geringeres Wirtschaftswachstum angenommen und andererseits eine niedrigere Bevölkerungsentwicklung. Die Rechnung ergibt, dass die wirtschaftlichen Variablen (Wirtschaftswachstum und Energieintensität) die dominierenden Treibergrößen sind: Ein geringeres Wirtschaftswachstum mindert die Emissionen um bis zu 26 Mt CO₂e im Jahr 2035. Eine niedrigere Bevölkerungsentwicklung führt dagegen bis 2035 zu einer Abnahme um 7 Mt CO₂e. Insgesamt ist der Effekt für die niedrigere Bevölkerungsentwicklung mit 0,5 Prozentpunkten zusätzlicher Minderung ggü. dem MMS bis 2035 jedoch gering. Die zusätzliche Minderung durch ein niedriges Wirtschaftswachstum ist demgegenüber mit 2 Prozentpunkten deutlich größer (Tabelle Z- 3).

Zusätzlich wurde der Gesamteffekt eines Szenarios mit mittelfristig niedrigeren Preisniveaus für Energieträger und CO₂-Emissionszertifikate im Stromsektor berechnet. Auch hier ist der Gesamteffekt gering: Die Annahmen führen zu keiner nennenswerten Veränderung der Emissionen in der Stromerzeugung (Zunahme um etwa 6 Mt CO₂e im Jahr 2035 ggü. dem MMS). Dafür ist entscheidend, dass sich die Merit Order der Stromerzeugung nicht grundlegend ändert, weil die Kosten für Braunkohle durch die niedrigen CO₂-Preise immer noch unter der Steinkohle und diese unter dem Erdgas liegen.

Tabelle Z- 3: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)

	1990	2016	2020	2025	2030	2035
Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990 (%):						
MMS		-27,3 %	-33,2 %	-36,0 %	-41,7 %	-44,3 %
Schwächeres Wirtschaftswachstum			-34,3 %	-38,1 %	-43,6 %	-46,3 %
Niedrigere Bevölkerungsentwicklung			-33,4 %	-36,4 %	-42,0 %	-44,8 %
Mittelfristig niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			-33,7 %	-36,2 %	-41,4 %	-43,8 %

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Klima- und energiepolitische Maßnahmen mit den größten Wirkungsbeiträgen

Den Emissionsentwicklungen liegen unterschiedliche klima- und energiepolitische Maßnahmen bzw. Zielsetzungen zu Grunde. Die größten Beiträge zur Emissionsminderung im MMS erbringen dabei nach Analyse des Forschungskonsortiums im Jahr 2020 (2030 in Klammern) folgende Maßnahmen² in den entsprechenden Sektoren:

- a) EEG: 113 Mt CO₂e (148 Mt CO₂e)

² Hier dargestellt sind Maßnahmen mit Minderungsbeiträgen von mindestens 2 Mt CO₂ im Jahr 2020 und/oder 2030.

- b) Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft: 11,8-15,0 Mt CO₂e
- c) Berücksichtigung von N₂O aus der Adipinsäure-, Salpetersäure-, Glyoxal- und Glyoxylsäureproduktion sowie von CO₂ aus der Ammoniakproduktion im EU-Emissionshandel: 9,8 Mt CO₂e (10,7 Mt CO₂e)
- d) EU-Emissionshandel (Stromsektor): 5 Mt CO₂e (7 Mt CO₂e)
- e) Beschränkung von HFKW in Pkw-Klimaanlagen gemäß EU MAC-Richtlinie 2006/40/EG: 3,2 Mt CO₂e (6,1 Mt CO₂e)
- f) HFKW-Phase-Down nach EU F-Gas-Verordnung 517/2014 (inkl. Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung & NKI-Förderung): 2,7 Mt CO₂e (5,7 Mt CO₂e)
- g) N-Ausnutzung/Senkung N-Bilanz: 2,7 Mt CO₂e (2,5 Mt CO₂e)
- h) Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien im Gebäudebereich: 2,3 Mt CO₂e (10,1 Mt CO₂e)
- i) Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung: 2,0 Mt CO₂e (3,6 Mt CO₂e)
- j) Energieeinsparverordnung (EnEV) 1,9 Mt CO₂e (7,3 Mt CO₂e)
- k) KfW-Programm für energieeffizientes Bauen und Sanieren: 1,5 Mt CO₂e (6,7 Mt CO₂e)

Primär- und Endenergieverbrauch sowie Bruttostromerzeugung

Der Endenergieverbrauch in Deutschland errechnet sich aus dem Energieeinsatz in den Bereichen Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Verkehr (mit internationalem Luftverkehr, aber ohne internationalen Seeverkehr) sowie dem Brennstoffeinsatz in der Industrie (einschließlich anteiligem Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken).

Der Endenergieverbrauch in Deutschland im MMS sinkt von 2016 bis 2035 um 13 %. Bei den Mineralölprodukten, dem aktuell wichtigsten Endenergieträger, ist über den Zeitraum 2016 bis 2035 ein Rückgang um 17 % zu beobachten, ähnlich entwickelt sich der Endenergieverbrauch von fossilen Gasen (einschließlich Erdgas), die im gleichen Zeitraum um 19 % zurückgehen. Der Stromverbrauch sinkt bis 2035 mit 5 % nur leicht. Entgegen dem Trend bei den fossilen Energieträgern nimmt der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch deutlich zu. Zwischen 2016 und 2035 ist ein Anstieg um gut 21 % festzustellen. Die Nachfrage nach Kohlen vermindert sich bis 2035 um 23 %. Der Mülleinsatz reduziert sich bis 2035 um 31 %, bei allerdings heute schon relativ niedrigem Niveau.

Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte geht im MMS von 2016 bis 2035 um 22 % zurück, für den GHD-Sektor (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) ist ein Rückgang um 21 % zu beobachten. Der Endenergieverbrauch des Verkehrs steigt bis 2020 an und sinkt dann bis 2035 auf ein Niveau, 2 % niedriger als 2016. Für den Endenergieverbrauch in der Industrie ergibt sich im Zeitraum 2016 bis 2035 ein Rückgang um etwa 11 %.

Die Bruttostromerzeugung sinkt im MMS bis 2035 auf etwa 629 TWh. Die Struktur der Bruttostromerzeugung ist vor allem durch den politisch determinierten Rückgang der Kernenergie zur Stromerzeugung sowie durch einen deutlich erkennbaren Rückgang der Kohleverstromung gekennzeichnet. Im Jahr 2035 tragen Kernkraftwerke nicht mehr zur Stromerzeugung bei (2016 betrug dieser Anteil 13 %), Steinkohlekraftwerke tragen 12 % (17 % im Jahr 2016), Braunkohlekraftwerke etwa 18 % (23 %) zur gesamten Bruttostromerzeugung bei. Der Anteil von Erdgas sinkt nur leicht und erbringt im Jahr 2035 einen Anteil von ca. 11 % (13 %). Der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von etwa 29 % im Jahr 2016 auf 54 % im Jahr 2035.

Aus dem Endenergieverbrauch, dem Brennstoffeinsatz für die Stromerzeugung sowie dem Verbrauch in den anderen Umwandlungsbereichen ergibt sich der Primärenergieverbrauch.

Im MMS geht der Primärenergieverbrauch vom Referenzjahr 2008 bis 2035 um etwa 22 % zurück. Hinsichtlich der Struktur des Primärenergieverbrauchs ergeben sich jedoch zwei unterschiedliche Trends. Die Einsätze von Kernenergie, Braun- und Steinkohle, Mineralöl und Erdgas gehen zurück, während der Einsatz erneuerbarer Energien zunimmt. Die wichtigsten Beiträge entfallen hier auf Biomasse und Windenergie (im Jahr 2035 etwa 11 % bzw. 7 % des Primärenergieverbrauchs). Der Einsatz von Braunkohle geht von 2016 bis 2035 um etwa 28 %, der Verbrauch von Steinkohle um ca. 27 %, der Verbrauch von Mineralöl um 15 % sowie der Beitrag der Kernenergie (ausstiegsbedingt) auf null zurück. Mineralöl bleibt mit einem Anteil von 34 % im Jahr 2035 vor fossilen Gasen (23 %, vor allem Erdgas) wichtigster Primärenergieträger. Die erneuerbaren Energien haben 2035 zusammen einen Anteil von 22 % am Primärenergieverbrauch. Der Anteil von Kohlen am Primärenergieaufkommen liegt im Jahr 2035 bei nur noch 20 %, wobei davon der etwas größere Teil auf Steinkohle, der Rest auf Braunkohle entfällt.

1. Einleitung und methodischer Ansatz

1.1. Einleitung

Klimaschutzpolitik bildet seit inzwischen mehr als zwei Dekaden ein wichtiges Feld deutscher Politik. Diese beruht auf einer umfassenden Strategie, die von der deutschen Bundesregierung bereits frühzeitig initiiert und stetig fortentwickelt wurde. Im europäischen Kontext konnte die Bundesregierung die Verhandlungen zum europäischen Klimaschutz entscheidend mitbestimmen.

Das *Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm* aus dem Jahr 2007, das 2010 verabschiedete *Energiekonzept* und die Beschlüsse zur Beschleunigung der Energiewende vom Sommer 2011 beinhalten wichtige energie- und klimapolitische Strategien, Politiken und Maßnahmen. Im *Energiekonzept* wurden zudem erstmals langfristige Energie- und Klimaziele für Deutschland verabschiedet. Danach sollen die Treibhausgasemissionen in Deutschland im Vergleich zum Niveau von 1990 bis 2020 um mindestens 40 % und bis 2050 um 80 bis 95 % gesenkt und ehrgeizige Ziele für Energieeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien erreicht werden. Um das 40 %-Ziel 2020 zu erreichen, hat die Bundesregierung Anfang Dezember 2014 das *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020* (BMUB 2014) mit zusätzlichen Maßnahmen beschlossen. Des Weiteren hat das Bundeskabinett am 14. November 2016 den *Klimaschutzplan 2050* (BMUB 2016) beschlossen. Damit wurde ein strategisches Dokument verabschiedet, mit dem die langfristigen bzw. übergreifenden Ziele des Klimaschutzabkommens von Paris und die Ziele des deutschen *Energiekonzepts* schrittweise operationalisiert werden sollen. Der *Klimaschutzplan 2050* enthält neben einer Bekräftigung des genannten Langfristziels, der weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050 beziehungsweise einer Treibhausgasminderung um 80 bis 95 Prozent gegenüber dem Jahr 1990, auch sektorale Zwischenziele, Leitbilder, Meilensteine, strategisch ausgerichtete und teilweise auch konkrete Maßnahmen für den Zielhorizont 2030, mit denen die langfristige Konsistenz der Entwicklung gesichert, gleichzeitig Strukturbrüche vermieden sowie Wohlstand und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands bewahrt bzw. gestärkt werden sollen. Mit dem *Klimaschutzplan 2050* ist auch beschlossen worden, eine umfassende Folgenabschätzung durchzuführen, die als Grundlage für zwei unterschiedliche Prozesse dienen soll. Einerseits soll eine Grundlage für eine fundierte Diskussion mit den Sozialpartnern geschaffen werden. Andererseits sollen die Analysen aus den Folgenabschätzungen zumindest mittelbar auch dazu dienen, umfassend fundierte Politiken und Maßnahmen, also konkrete politische Instrumente zu entwickeln und zu diskutieren, mit denen die Ziele für das Jahr 2030 auch unter Maßgabe sehr unterschiedlicher Rahmenbedingungen erreicht werden können.

Energieeinsparung, Verbesserung der Energieeffizienz, ein ausgewogener Energieträgermix und der Ausbau der erneuerbaren Energien bilden die wesentlichen Eckpfeiler der nationalen Klimaschutzpolitik und tragen zur Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung bei. Die nationale Klimaschutzpolitik folgt dem sektoralen Ansatz, d.h. der klimaschutzpolitische Handlungsbedarf sowie der Wirkungsbereich von klimaschutzpolitischen Maßnahmen werden getrennt nach den Wirtschaftssektoren Industrie, Energiewirtschaft, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, private Haushalte und Verkehr sowie anderen Sektoren abgebildet. Die Europäische Klimaschutzpolitik bildet einen teilweise sektorübergreifenden Rahmen für die nationale Klimaschutzpolitik, z.B. durch den EU-Emissionshandel.

Der vorliegende Bericht basiert auf Modellrechnungen, die durch ein Konsortium deutscher Forschungsinstitute aus Öko-Institut, dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und dem Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES) im Auftrag des Umweltbundesamtes erarbeitet wurden. In diese Modellrechnungen sind teilweise Emissionsprojektionen aus anderen Forschungsvorhaben eingeflossen. Die Szenarioberechnungen zu

den Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF im MMS wurden durch das Thünen-Institut durchgeführt.

Das Kapitel 1.2 enthält eine Übersicht zum methodischen Ansatz der Szenarientwicklung und der Sensitivitätsanalysen.

Im Kapitel 2 werden die Rahmenannahmen und die für das MMS in den verschiedenen Sektoren unterstellten Politiken und Maßnahmen beschrieben.

Das Kapitel 3.1 enthält die Einzelanalysen zu den einzelnen sektoralen Projektionen. Im Kapitel 3.2 wird die Entwicklung des gesamten Primär- und des Endenergieverbrauchs beschrieben.

In den Kapiteln 4.1 und 4.2 wird die Ermittlung der gesamten energiebedingten- und prozessbedingten Emissionen dokumentiert. Im Kapitel 4.3 wird die Emissionsentwicklung des MMS zusammenfassend dargestellt. Das Kapitel 4.4 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die Sensitivitätsanalysen.

Kapitel 5 beschreibt die institutionellen Maßnahmen und Instrumente zum Kyoto-Protokoll.

Anhang A1 enthält die Übersicht zur Klassifikation der Instrumententypen, Anhang A2 enthält eine Übersicht der Zuordnung der Quellgruppen zu den verschiedenen Handlungsfeldern, Anhang A3 enthält eine Übersicht zur sektoralen Emissionsentwicklung in einem alternativen Sektorzuschnitt des *Klimaschutzplans 2050* und Anhang A4 enthält eine ausführliche Tabelle zur Bruttostromerzeugung nach Energieträgern.

1.2. Methodischer Ansatz für die Emissionsprojektionen

Die Erstellung der Projektionen für die deutschen Treibhausgasemissionen bis 2035 erfolgt auf der Basis von Annahmen für

- a) Bevölkerungsentwicklung,
- b) Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung,
- c) Energiepreisentwicklungen,
- d) Politiken und Maßnahmen sowie
- e) technische und sektorspezifische Faktoren.

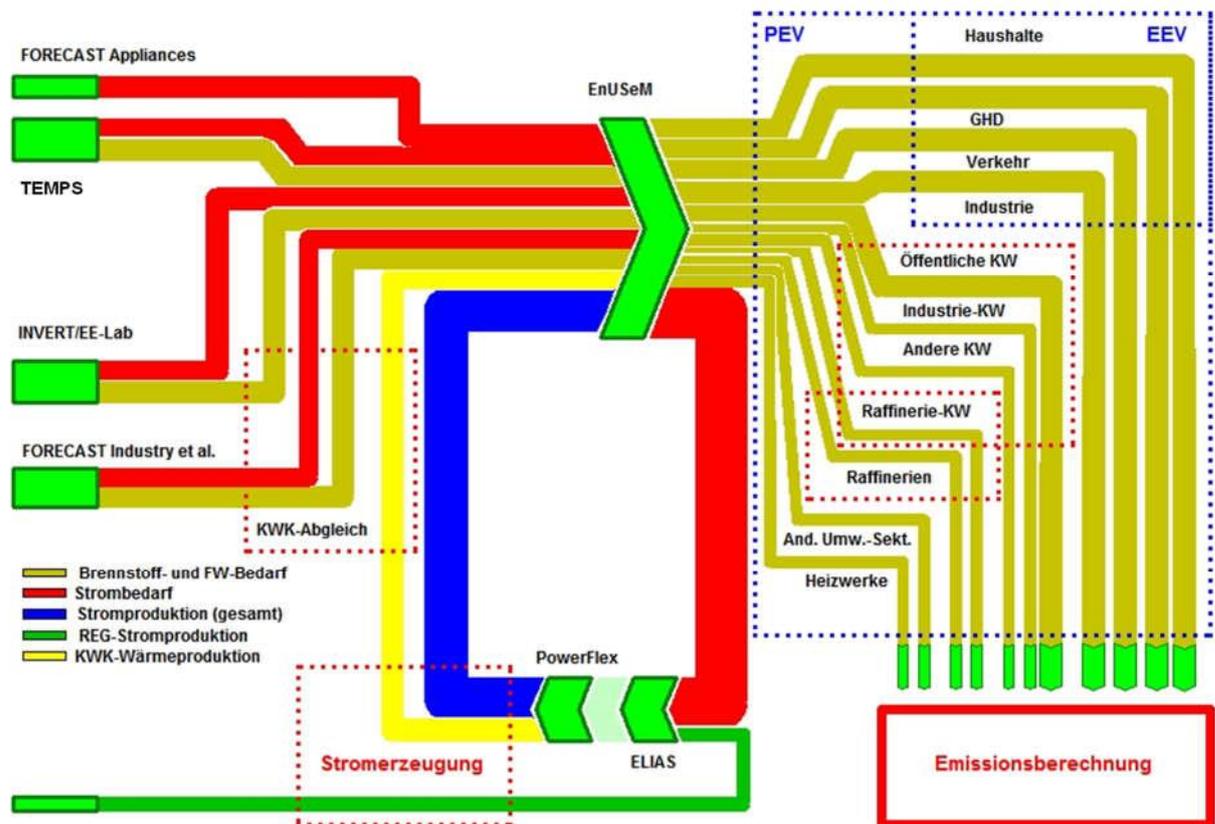
Hinsichtlich der Politiken und Maßnahmen wird ein Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) untersucht, in dem alle Maßnahmen berücksichtigt werden, die bis 31. August 2018 verabschiedet worden sind. Es beinhaltet auch Maßnahmen des „*Aktionsprogramm Klimaschutz 2020*“ (BMUB 2014), welche zu diesem Zeitpunkt umgesetzt sind. Die Entwicklung der THG-Emissionen in diesem Szenario wird mit einer (hypothetischen) Entwicklung verglichen, die ohne diese Maßnahmen bzw. ohne die entsprechende Novellierung bereits bestehender Politiken und Maßnahmen eingetreten wäre. Dabei werden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem jeweils beschriebenen Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen wirksam waren.³

Die Analyse und Bewertung der verschiedenen Maßnahmen, die Ermittlung der entsprechenden Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen sowie der notwendigen Hintergrundinformationen und -indikatoren für diesen Bericht folgen für die verschiedenen Sektoren unterschiedlichen methodischen Ansätzen bzw. basieren auf unterschiedlichen Modellinstrumentarien, die für die

³ Die Zurechnung der verschiedenen Maßnahmen ist in den einzelnen Sektoren jeweils gesondert festgelegt worden. Der Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen ist in den entsprechenden Übersichtstabellen explizit dokumentiert. Alle vor dem genannten Zeitpunkt wirksamen Politiken und Maßnahmen werden damit einem Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) zugerechnet. Das OMS wurde zwar jeweils sektorspezifisch ermittelt, die einzelnen Sektoranalysen wurden jedoch nicht zu einem Gesamtszenario zusammengeführt.

verschiedenen Bereiche auf Basis der verfügbaren Daten und Informationen eine adäquate Analyse erlauben.

Abbildung 1: Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Für die energiebedingten Treibhausgasemissionen aus Verbrennungsprozessen basieren die Analysen auf einem komplexen System verschiedener Modelle (Abbildung 1):

- Die Stromerzeugung auf Basis fossiler Energieträger sowie die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird mit dem PowerFlex-Modell des Öko-Instituts analysiert (siehe Abschnitt 3.1.6.1). Die Wärmeerzeugung von KWK-Anlagen wird in diesem Modell ebenfalls modelliert.
- Die Integration des Mengengerüsts für den Energieverbrauch, die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs sowie des Energieeinsatzes in den anderen Umwandlungssektoren wird mit dem Integrationsmodell EnUSEM des Öko-Instituts durchgeführt (siehe Abschnitt 3.1.7.1).
- Für den Verkehrsbereich erfolgt die Modellierung mit dem Modell TEMPS des Öko-Instituts (siehe Abschnitt 3.1.1.1).
- Für den Gebäudesektor (im Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude) wird das Modell INVERT / EE-Lab des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) sowie der TU Wien genutzt. Die Abschätzung der Wirkung einzelner Politikinstrumente erfolgt anhand bestehender Evaluationen oder Auswertungen der entsprechenden Instrumente in einem Excel-Tool (siehe Abschnitt 3.1.2.1).

- e) Analysen für den verbleibenden Brennstoff- und Strombedarf im Sektor Private Haushalte werden unter der Modellplattform FORECAST des Fraunhofer ISI durchgeführt (siehe Abschnitt 3.1.3.1).
- f) Die Analysen für den Strom- und Brennstoffbedarf der Sektoren Industrie sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistung erfolgen unter der Modellplattform FORECAST des Fraunhofer ISI, die auf einzelnen Sektormodellen beruht (siehe Abschnitt 3.1.4.1 und 3.1.5.1).

Die Emissionsermittlung für die Treibhausgasemissionen aus Verbrennungsprozessen erfolgt mit dem Emissionsmodell des Öko-Instituts, das die in EnUSEM aggregierten Energiebedarfsprojektionen für die verschiedenen Endverbrauchs- und Umwandlungssektoren in der Systematik der Nationalen Treibhausgasemissionen emissionsseitig bewertet.

Für die flüchtigen Emissionen des Energiesektors erfolgt eine quellgruppenspezifische Modellierung auf Basis des Mengengerüsts für die Energienachfrage und -bereitstellung sowie den für das Nationale Treibhausgasinventar genutzten Methoden (siehe Abschnitt 3.1.8.1).

Für die Emissionen aus Industrieprozessen werden drei verschiedene Ansätze verfolgt:

- a) Für die prozessbedingten Emissionen mit Bezug zum Energiesektor werden die Emissionen auf Basis des Mengengerüsts für die Energienachfrage und -bereitstellung im Emissionsmodell des Öko-Instituts mit den für das Nationale Treibhausgasinventar verwendeten Methoden ermittelt.
- b) Für die prozessbedingten Emissionen ohne Bezug zum Energiesektor werden die Emissionen auf der Basis von Produktionsschätzungen im Emissionsmodell des Öko-Instituts in Anlehnung an die für das Nationale Treibhausgasinventar verwendeten Methoden ermittelt (siehe Abschnitt 3.1.9.1).
- c) Für die HFKW-, FKW-, SF₆- und NF₃-Emissionen werden vorliegende Projektionen aktualisiert und angepasst (siehe Abschnitt 3.1.10.1).

Die Projektionen der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft sowie von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) werden vom Johann Heinrich von Thünen-Institut erstellt (siehe Abschnitte 3.1.11.1 und 3.1.12.1).

Für die Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft wird das für die Erstellung der Nationalen Treibhausgasinventare verwendete Multi-Phasen-Abfallmodell des Öko-Instituts für die Projektion erweitert (siehe Abschnitt 3.1.13.1).

Zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen wird zusätzlich ein Verfahren der Komponentenzerlegung in Ansatz gebracht, mit dem über eine Dekompositionsanalyse die Emissionsentwicklung durch die Entwicklung von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, die gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität, den Anteil der fossilen Energien am gesamten Primärenergieverbrauch sowie die Treibhausgasintensität der genutzten fossilen Energieträger beschrieben werden kann.

Unter Verwendung dieses Modellinstrumentariums werden neben der Erstellung der Szenarien auch Sensitivitätsanalysen zu einer niedrigeren Bevölkerungsentwicklung, einer niedrigeren Wirtschaftsentwicklung sowie zu mittelfristig niedrigeren Energiepreisen in Kombination mit einem niedrigerem CO₂-Preispfad durchgeführt.

Die Berechnungen der Szenarien in diesem Bericht sind in großem Maß vom nationalen Treibhausgasinventar abhängig. Das aktuelle zum Zeitpunkt der Berechnung dieser Szenarien verfügbare Treibhausgasinventar ist aus dem Berichtsjahr 2018 (UBA 2018c) und wurde unter Anwendung der *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC 2006) unter Verwendung von Treibhausgaspotentialen gemäß den aktuellen Inventar-

Berichterstattungsrichtlinien (UNFCCC 2013) erstellt. Die primäre Datenquelle zur Erstellung dieses Berichts sind die historischen Daten im Treibhausgasinventar (UBA 2018c) sowie einer zu diesem Inventar konsistenten Datenauspielung aus dem Zentralen System Emissionen (ZSE) im Umweltbundesamt (UBA 2018b). Das Treibhausgasinventar ist nicht vollständig kompatibel zur den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland (u.a. teilweise andere Sektordefinitionen und Brennstoffaggregationen). Daher kommt es teilweise zu Differenzen gegenüber der Energiebilanz. Im Treibhausgasinventar sind nur Aktivitätsdaten zu brennstoffförmigen Energieträgern enthalten. Als primäre Datenquelle für nichtbrennstoffförmige Energieträger dienen die Energiebilanzen.

Fokus der Maßnahmenbewertung ist die inländische Emissionsreduktion in der Abgrenzung der Inventare. Interaktionen von Maßnahmen mit dem EU-Emissionshandel können deshalb nicht berücksichtigt werden.

Die historischen Treibhausgasemissionen in diesem Bericht basieren auf dem am 13. April 2018 an das Klimasekretariat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) übermittelten Stand des nationalen Treibhausgasinventars (UBA 2018c).

2. Beschreibung der Rahmendaten und der in Deutschland verabschiedeten Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz

2.

2.1. Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

1.

2.

2.1.

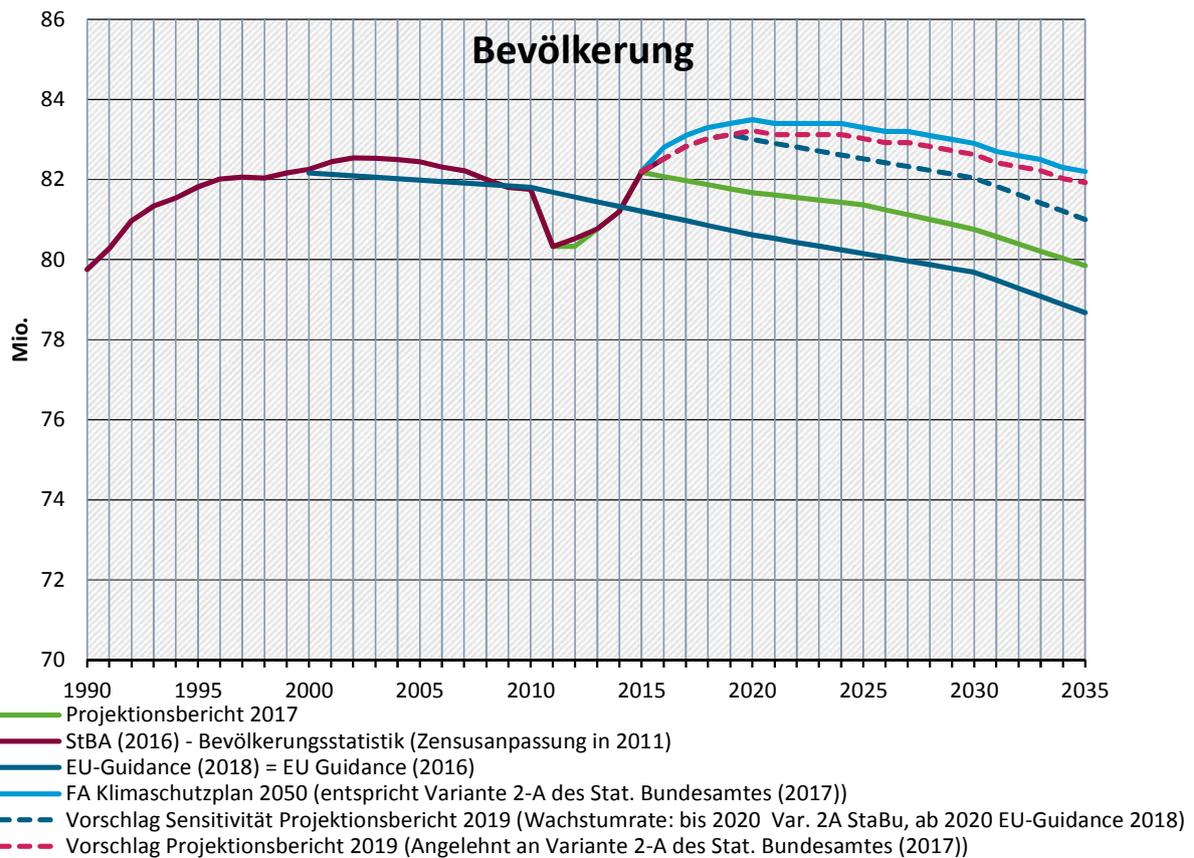
2.1.1. Demographische Entwicklung

Die demographische Entwicklung ist ein wichtiger Treiber für Treibhausgasemissionsprojektionen aus zweierlei Gründen:

- ▶ Zum einen besteht ein direkter Zusammenhang der Bevölkerungsgröße und Treibhausgasemissionen, z.B. durch die Nutzung von Brennstoffen für Transport- und Heizzwecke,
- ▶ zum anderen geht ein gewisser Anteil der Bevölkerung einer Erwerbstätigkeit nach, die in Branchen stattfindet, die Brennstoffe zur Erstellung von Gütern benötigen.

Damit kommt den Annahmen der künftigen Bevölkerungsentwicklung eine Wichtigkeit zu. In Abbildung 2 sind aktuelle Bevölkerungsprojektionen vergleichend dargestellt.

Abbildung 2: Aktuelle Bevölkerungsprojektionen im Vergleich



Quelle: Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt (StBA 2016b, 2017a), Projektionsbericht (2017), EC (2018)

Nach Veröffentlichung des Bevölkerungszensus 2011 wurden die Bevölkerungszahlen in der Bevölkerungsstatistik des Statistischen Bundesamtes (StBA) nach unten korrigiert (in der Summe um ca. 1,5 Millionen Personen). Dies betrifft die Daten nach 2010.

Die Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung für den Projektionsbericht 2019 leiten sich aus den aktuellen Angaben und der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes – stärkere Zuwanderung (StBA 2016b, 2017a) ab. Abweichend zu den Vorgaben der EU-Guidelines 2018 der Europäischen Kommission wird vorgeschlagen, den aktuellen Entwicklungen Rechnung zu tragen und das Wachstum zwischen 2016 und 2020 stärker zu berücksichtigen. Die Fortschreibung baut auf der Aktualisierung der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung - Basis 2015, Variante 2-A stärkere Zuwanderung⁴ auf. Die Projektion der Bevölkerung wird ab dem Jahr 2016 mit der Dynamik dieser Vorausberechnung fortgeschrieben.

Für die Folgenabschätzung der Sektorziele des *Klimaschutzplans 2050* wurde die Projektion der aktualisierten Variante 2-A des Statistischen Bundesamtes ab 2015 verwendet. Die Bevölkerungsentwicklung ist für die Entwicklung der Wohnflächen sowie den Endenergieverbrauch der privaten Haushalte von Bedeutung.

Die Annahmen in der EU-Guidance zu den Kerngrößen der Bevölkerungsmodellierung sind von der Europäischen Kommission im Ageing Report (European Commission Economic and Financial Affairs European Economy Institutional Papers 2017) für jedes EU-Land dargelegt und entsprechen in etwa denen der 13. Bevölkerungsvorausberechnung. Für Deutschland wird im

⁴ Die aktualisierte Variante mit stärkerer Zuwanderung geht von einer höheren Geburtenrate von 1,5 Kindern je Frau aus, der Wanderungssaldo sinkt von 750.000 im Jahr 2016 auf 200.000 im Jahr 2021 und bleibt danach konstant.

Ageing Report eine Geburtenrate angenommen, die kontinuierlich bis auf 1,6 Kinder pro Frau ansteigt, die Lebenserwartung steigt auf 89,1 Jahren für Mädchen bei Geburt in 2060 (85,2 für Jungen) und die Nettozuwanderung liegt bei knapp 230.000 Personen in 2020, bleibt auf hohem Niveau über 200.000 bis 2030 und sinkt anschließend bis zum Jahr 2060 auf knapp unter 100.000 ab.

Die für das Grundszenario werden folgende Datenpunkte vorgeschlagen:

- ▶ **2016:** 82,5 Mio. Einwohner
- ▶ **2020:** 83,2 Mio. Einwohner
- ▶ **2025:** 83,0 Mio. Einwohner
- ▶ **2030:** 82,6 Mio. Einwohner
- ▶ **2035:** 81,9 Mio. Einwohner

Um den Differenzen zwischen der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts und der europäischen Kommission Rechnung zu tragen, wird zusätzlich noch ein Sensitivitätsszenario vorgeschlagen, das die Wachstumsraten der Variante 2-A des StaBA bis 2020 aufnimmt und ab 2020 die Dynamik der EU-Guidelines 2018 reflektiert.

Die Datenpunkte des Sensitivitätsszenarios sind damit wie folgt:

- ▶ **2016:** 82,5 Mio. Einwohner
- ▶ **2020:** 83,0 Mio. Einwohner
- ▶ **2025:** 82,5 Mio. Einwohner
- ▶ **2030:** 82,0 Mio. Einwohner
- ▶ **2035:** 81,0 Mio. Einwohner

Die Wachstumsraten der oben gezeigten Projektionen sind in unten stehender Tabelle zusammengefasst, der Vorschlag für den Projektionsbericht 2019 ist hervorgehoben.

Tabelle 1: Projizierte Wachstumsraten der Bevölkerung in %

	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035
EU-Guidance (2018)	-0,15 %	-0,12 %	-0,12 %	-0,25 %
Projektionsbericht 2017	-0,12 %	-0,08 %	-0,12 %	-0,21 %
FA Klimaschutzplan 2050	0,31 %	-0,05 %	-0,10 %	-0,17 %
Vorschlag Projektionsbericht 2019	0,31 %	-0,05 %	-0,10 %	-0,17 %
Vorschlag Sensitivität Projektionsbericht 2019	0,19 %	-0,12 %	-0,12 %	-0,25 %

Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts auf Basis oben genannter Quellen

2.1.2. Gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Das BIP ist, wie auch die demografische Entwicklung, ein wichtiger Treiber von Treibhausgasemissionen. Daher sind die zu treffenden Annahmen für den Projektionsbericht auf Basis der neuesten, verfügbaren Informationen zu erstellen. Wesentlicher Treiber in den zu Grunde liegenden Modellen sind die Wachstumsraten des BIP, d.h. die Veränderung des BIPs über die Zeit.

Folgende aktuelle Prognosen für das reale BIP für Deutschland waren zum Zeitpunkt der Erstellung des Projektionsberichts aktuell verfügbar: Die Frühjahrsprojektion der Bundesregierung geht von einem Wachstum von 2,3 % im Jahr 2018, 2,1 % im Jahr 2019 sowie 1,4 % in den Jahren 2020 bis 2022 aus. Im Jahresdurchschnitt von 2018 bis 2020 ergibt sich ein Wachstum um 1,7 % pro Jahr und 1,6 % pro Jahr von 2018 bis 2022. Auch die Deutsche Bundesbank (2018) teilt diesen optimistischen Ausblick: Sie geht von Wachstumsraten von 2,0 % (2018), 1,9 % (2019) und 1,6 % (2020) aus (kalenderbereinigt).

Für die Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des *Klimaschutzplans 2050* der Bundesregierung wurde eine gesamtwirtschaftliche Entwicklung bis zum Jahr 2030 vorgeschlagen, die der Projektion der Bundesbank (2017) bis zum Jahr 2019 folgt und an die in der EU-Guidance (EC 2016a) vorgegebenen Wachstumsraten (zeitlich verschoben) anschließt. Dabei wurde ein deutlich positiveres Wirtschaftswachstum als im Projektionsbericht 2017 angenommen.

Die neuen empfohlenen Wachstumsraten der Europäischen Kommission (EC (2018)) nach Artikel 23 (3) der Commission Implementing Regulation (EU) No 749/2014 liegen für den Zeitraum 2018-2020 bei 1,3 % p.a. und bei 0,9 % p.a. im Zeitraum 2020-2030. Nach 2030 sinken die von der Kommission empfohlenen Wachstumsraten auf 0,8 % p.a.; im Vergleich zu den Empfehlungen der EU Kommission aus dem Jahr 2016 liegen die Wachstumsraten zwischen 2020 und 2025 0,1 % p.a. niedriger, ab 2025 0,1 % höher.

Eine Zusammenschau der verschiedenen Annahmen in 5-Jahresschritten ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Die Empfehlungen für den Projektionsbericht 2019 sind dabei hervorgehoben. Bis 2020 lehnt sich der Vorschlag an die Wachstumsraten der Bundesregierung an. Ab dem Jahr 2020 bis 2035 wird wie bei der Folgenabschätzung dem Trend der EU-Guidance (2018) (zeitlich verschoben) gefolgt.

Tabelle 2: Durchschnittliche, jährliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsproduktes für Deutschland in verschiedenen Projektionen, sowie Vorschläge für den Projektionsbericht 2019 in Prozent

	2018-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035
Bundesregierung (2018)	1,7 %			
Bundesbank (2018)	1,6 %			
EU-Guidance (2016) = Projektionsbericht 2017	1,3 %	1,0 %	0,8 %	0,7 %
EU-Guidance 2018	1,3 %	0,9 %	0,9 %	0,8 %
Folgenabschätzung Klimaschutzplan 2050	1,7 %	1,3 %	1,0 %	
Vorschlag Projektionsbericht 2019	1,7 %	1,3 %	0,9 %	0,9 %
Vorschlag Sensitivität Projektionsbericht 2019	1,3 %	0,9 %	0,9 %	0,8 %

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der oben angegebenen Quellen

Die Annahmen für den Projektionsbericht 2019 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

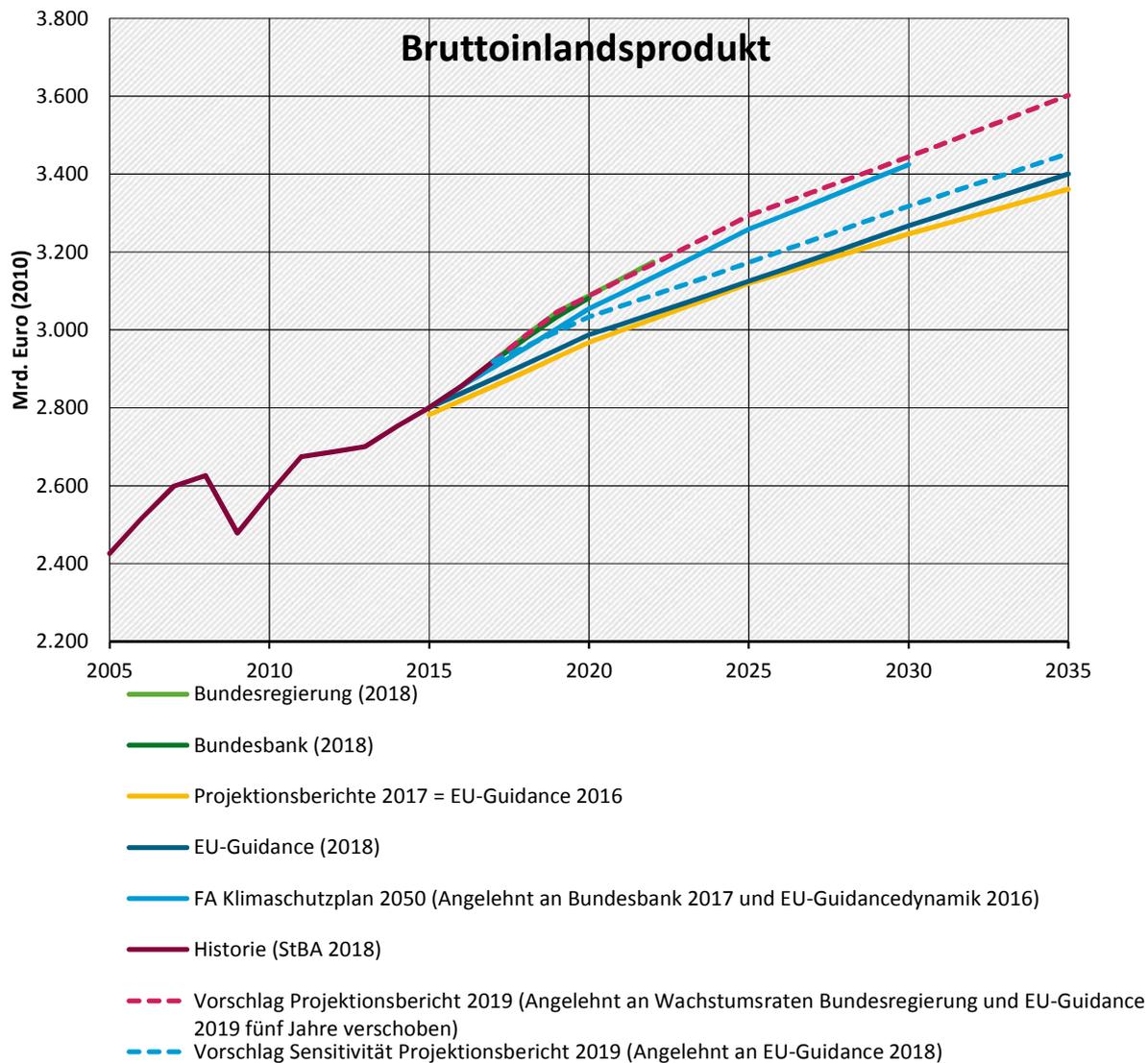
- ▶ **2018-2020:**
1,7 % Wachstum p.a.
- ▶ **2020-2025:**
1,3 % Wachstum p.a.
- ▶ **2025-2030:**
0,9 % Wachstum p.a.
- ▶ **2030-2035:**
0,9 % Wachstum p.a.

Der Vorschlag der gesamtwirtschaftlichen Entwicklungen weicht von dem der EU-Guidance (2018) ab. Daher wird vorgeschlagen in einer Sensitivität den Wachstumsraten der EU-Guidance ab 2018 zu folgen:

- ▶ **2018-2020 (Sensitivität):**
1,3 % p.a.
- ▶ **2020-2025 (Sensitivität):**
0,9 % p.a.
- ▶ **2025-2030 (Sensitivität):**
0,9 % p.a.
- ▶ **2030-2035 (Sensitivität):**
0,8% p.a.

Abbildung 3 stellt die historische Entwicklung (schwarze durchgängige Trajektorie) und aktuelle, sowie vergangene BIP-Projektionen vergleichend dar und hebt die Annahmen für den Projektionsbericht 2019 gestrichelt hervor.

Abbildung 3: Vergleich aktueller und vergangener Projektionen des Bruttoinlandsprodukts



Quelle: Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt (StBA 2018), EC (2016a; EC), (EC 2018), Bundesbank (2018), Frühjahrsprognose der Bundesregierung (BMW i (2018a)).

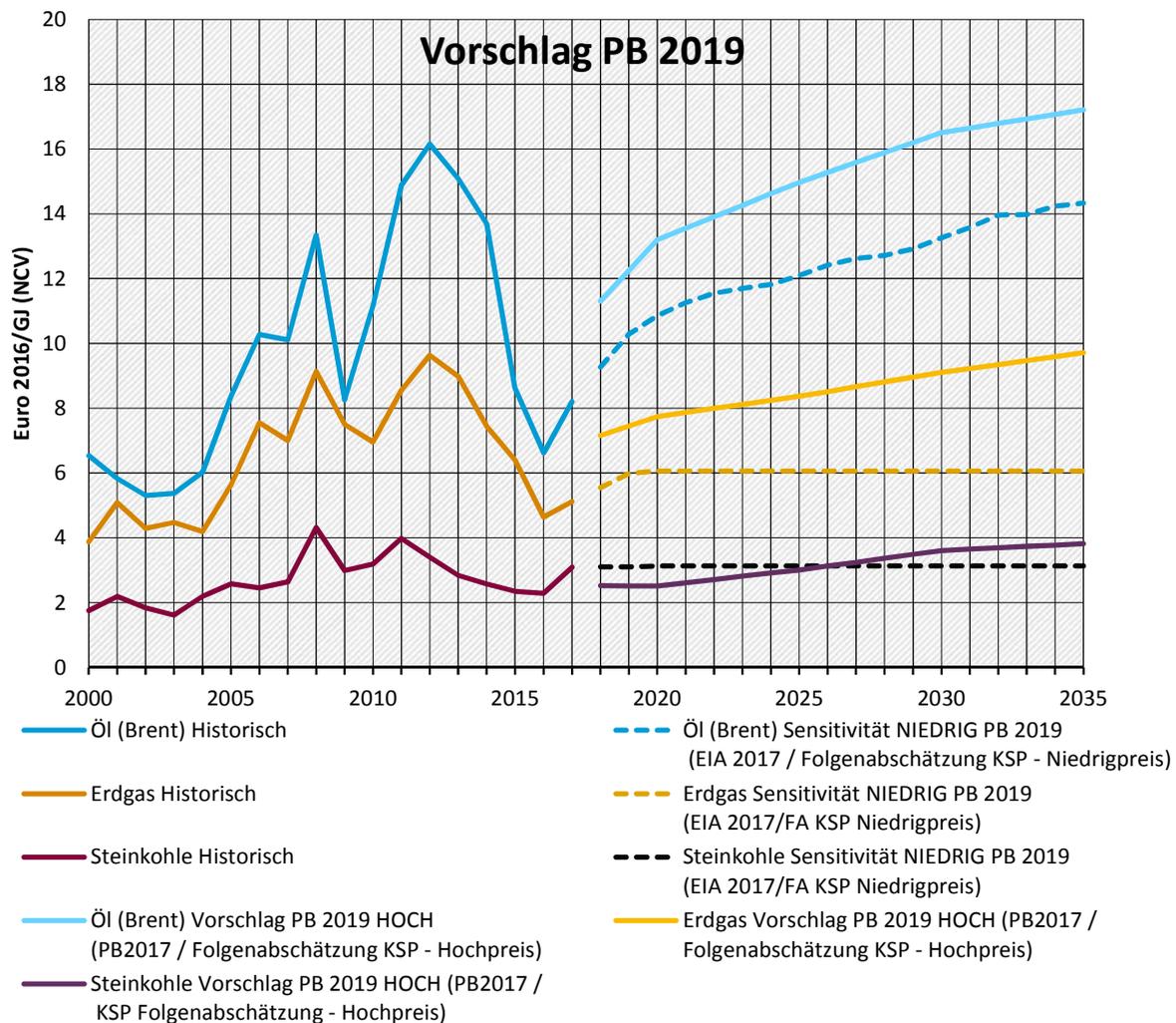
2.2. Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise

2.2.

2.2.1. Preisprojektionen für Rohöl, Steinkohle und Erdgas

Für die Projektionen im Rahmen der EU-Verordnung 525/2013 stellt die EU-Kommission regelmäßig eine Empfehlung für die zu verwendenden Rahmendaten bereit, die auf Ergebnissen des Weltenergiemodells PROMETHEUS beruht (EC 2016b). Darin sind Grenzübergangpreise für Steinkohle, Erdgas und Rohöl enthalten. Im Gegensatz zum Projektionsbericht 2017 wird vorgeschlagen, für die Berechnung der Szenarien des Projektionsberichts 2019 von den Empfehlungen der Kommission abzuweichen. Die Empfehlung der europäischen Kommission geht von vergleichsweise hohen Preisen aus, die sich von den aktuellen Prognosen wie dem World Energy Outlook der IEA und dem Annual Energy Outlook der EIA deutlich unterscheiden. Die vorgeschlagenen Parameter werden in Abbildung 4 und in Tabelle 3 dargestellt.

Abbildung 4: Energieträgerpreise und Vergleich EU-Guidelines und gewählte Preise



Quelle: Historische Preise: Statistik der Kohlenwirtschaft e. V., EC (2018)

Es wird vorgeschlagen, als Energieträgerpreise die Werte aus dem vorhergegangenen Projektionsbericht 2017 zu nutzen. Diese Preise wurden ebenfalls als Hochpreisszenario für die Folgenabschätzung des *Klimaschutzplans* verwendet und im Vorfeld ressortübergreifend abgestimmt. Somit lässt sich ein hohes Maß an Vergleichbarkeit zu anderen aktuellen Berichten sicherstellen. Tabelle 3 zeigt den Vorschlag für die Preisprojektion und die Werte aus dem Projektionsbericht 2017 (hier in €₂₀₁₆).

Die Preisvariante, die als Sensitivität vorgeschlagen wird, entspricht dem Niedrigpreisszenario aus der Folgenabschätzung des *Klimaschutzplans* (Öko-Institut et al. 2019). Es handelt sich hier um die Preise aus dem Annual Energy Outlook 2017 der EIA, bei der die Werte zwischen den Stützjahren interpoliert wurden. Die Erdgaspreise sowie Kohlepreise wurden in diesem Fall ab 2020 auf ungefähr demselben Niveau fortgeschrieben, Steinkohle ist bis 2026 teurer und die relativen Energieträgerpreise verschieben sich im Vergleich zum MMS.

Die folgende Abbildung 5 zeigt am Beispiel verschiedener Ölpreisprojektionen, wie sich der Projektionsvorschlag im Vergleich zu anderen Projektionen verhält. Es ist zu erkennen, dass die hier vorgeschlagene Projektion ähnlich der EU-Guidelines 2018 (hellblau) verläuft, allerdings wird in Anlehnung an die IEA Projektion ein sanfterer Anstieg bis zum Jahre 2020 angenommen. Die vorgeschlagene Sensitivität orientiert (gestrichelt rot = Sensitivität) sich an den EIA-Projektionen und liegt deutlich unter dem Hochpreisszenario. Die Projektionen im Current Po-

licy Szenario der IEA im World Energy Outlook (grün) unterlegen einen linearen Anstieg bis zum Jahr 2025 mit folgend höheren Wachstumsraten als in den anderen Projektionen.

Tabelle 3: Energiepreis-Projektionen* für Rohöl, Erdgas und Steinkohle, 2017–2035

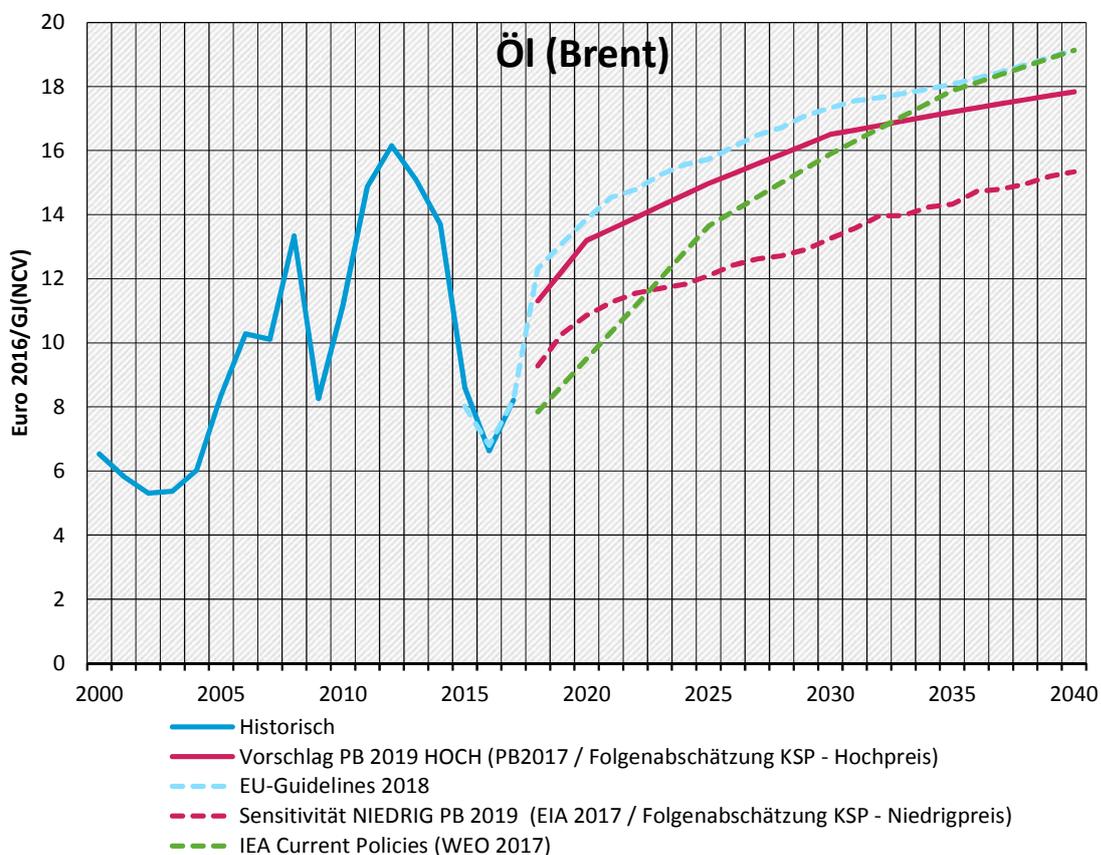
		2017	2020	2025	2030	2035
Projektionsbericht 2017/Folgenabschätzung Klimaschutzplan HOCH	Rohöl Brent		13,2	15,0	16,5	17,2
	Steinkohle		2,5	3,0	3,6	3,8
	Erdgas		7,7	8,4	9,1	9,7
Vorschlag Projektionsbericht 2019	Rohöl Brent	8,2	13,2	15,0	16,5	17,2
	Steinkohle	3,1	2,5	3,0	3,6	3,8
	Erdgas	5,5	7,7	8,4	9,1	9,7
Vorschlag für Sensitivitätsrechnung Projektionsbericht 2019 (Folgenabschätzung Klimaschutzplan NIEDRIG)	Rohöl Brent	8,2	10,9	12,1	13,3	14,3
	Steinkohle	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
	Erdgas	5,5	6,1	6,1	6,1	6,1

* Preis für 2017 aus Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (2018)

** Quellen: Bundesregierung (2017), EC (2018)

Alle Angaben Grenzübergangspreise in €₂₀₁₆/GJ, unterer Heizwert bei Erdgas.

Abbildung 5: Vergleich verschiedener Ölpreisprojektionen



Quelle: Historische Preise: Statistik der Kohlenwirtschaft e. V., Projektionsbericht 2017, EIA (2017), IEA (2017), EC (2018)

2.2.2. Preisprojektionen für Braunkohle

Für den Projektionsbericht 2019 werden als Ausgangspunkt für 2015 Gesamtkosten der Braunkohleförderung in Höhe von 6,4 €₂₀₁₆/MWh_{th} unterstellt. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit in der Zukunft ist dabei der Anteil von Fixkosten bzw. sehr langfristigen Investitionen im Braunkohletagebau entscheidend.

Für Betrachtungen am aktuellen Rand (z. B. 2015 oder 2020) können die Gesamtkosten folgendermaßen sinnvoll aufgeteilt werden:

- ▶ Kurzfristig variable Kosten: Energiekosten des Tagebaubetriebs und weitere variable Kostenbestandteile; 1,55 €₂₀₁₆/MWh_{th} in Anlehnung an EWI et al. (2014). Diese Kosten fallen proportional zur Braunkohleförderung an.
- ▶ Langfristige Betriebskosten des Tagebaus: Personal, Versicherung, Wartung und Instandhaltung, Umsetzung von Brücken, Bändern und Baggern etc. Diese betragen in Anlehnung an EWI et al. (2014) ebenfalls 1,55 €₂₀₁₆/MWh_{th}. Es wird unterstellt, dass diese Kosten bei sinkendem Bedarf mittelfristig abbaubar sind.
- ▶ Investitionsausgaben: Landerwerb, Entschädigungen, Entwässerungsanlagen und deren Betrieb, Förderbrücken, Schaufelradbagger, Absetzer, Bergschäden, Rekultivierung etc. Der Restbetrag von 3,3 €₂₀₁₆/MWh_{th} wird diesem Posten zugeschlagen (6,4 – 1,55 – 1,55 = 3,3). Mit dem Aufschluss eines Tagebaus sind diese Kosten langfristig versunken.

Für den Kraftwerkseinsatz im Dispatch-Modell PowerFlex sind nur die variablen Kosten relevant, sie entsprechen den Grenzkosten der Brennstoffbeschaffung. Die anderen Kostenarten müssen nicht bei der Entscheidung zum Kraftwerkseinsatz, aber bei Kraftwerksneubau und -stilllegung berücksichtigt werden.

Grundsätzlich wird auch für die Zukunft unterstellt, dass die Kosten der Braunkohleförderung inflationsbereinigt konstant bleiben. Für Analysen ab 2025 wird aber eine andere Kostenstruktur angenommen, weil mit einem Vorlauf von etwa 10 Jahren ein deutlich höherer Anteil der Kosten beeinflussbar ist. Das betrifft z. B. Personal, Umsetzung, Wartung und andere Posten, die in der nahen Zukunft als Fixkosten gelten. Ähnliches gilt für die Investitionskosten bei der Erschließung neuer Tagebauflächen, die heute noch nicht versunken sind.

Diese Kostenblöcke werden in den späteren Jahren als variabel angesehen, um im Modell widerzuspiegeln, dass sie mit entsprechendem Vorlauf vermeidbar sind. Es entsteht folgende Aufteilung ab dem Stützjahr 2025:

- ▶ kurzfristig variable Kosten von weiterhin 1,55 €₂₀₁₆/MWh_{th};
- ▶ ein Anteil bereits heute versunkener Kosten für langfristige Investitionen und Verpflichtungen von 0,6 €₂₀₁₆/MWh_{th};
- ▶ als Rest die langfristig variablen Betriebskosten des Tagebaus von 4,2 €₂₀₁₆/MWh_{th}.

Tabelle 4: Kostenannahmen der Braunkohleförderung für den Projektionsbericht 2019

	2015	2020	2025	2030	2035
Kurzfristige variable Kosten	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
Versunkene Kosten	3,3	3,3	0,6	0,6	0,6
Langfristige Betriebskosten	1,55	1,55	4,2	4,2	4,2

Summe	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
--------------	-----	-----	-----	-----	-----

Quelle: Öko-Institut

2.3. Preise für Treibhausgas-Emissionszertifikate

Für die Erstellung der Projektionen unter der MMR (Monitoring Mechanism Regulation) stellt die EU-Kommission auch eine Empfehlung für die zu verwendenden CO₂-Preise bereit EC (2018). Die EU-Kommission stellt nur einen CO₂-Preisfad zur Verfügung, der sowohl für das Mit-Maßnahmen- als auch für das Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario verwendet werden soll. Das aktuelle Preisniveau von rund 20 €/EUA (Anfang März 2019) liegt jedoch bereits deutlich über dem von der EU-KOM für 2020 angenommenen Preis von 15,5 €/EUA. Tabelle 5 zeigt die von der EU-Kommission empfohlenen Preise, die als Annahmen für das Referenzszenario des Projektionsberichts 2019 übernommen werden sollen sowie einen Vorschlag einer Sensitivitätsvariante mit niedrigeren angenommenen Preisen.

Tabelle 5: Preise für ETS-Zertifikate in €₂₀₁₆/EUA

	2020	2025	2030	2035
EU-Guidelines 2018 - Referenzvorschlag Projektionsbericht 2019	15,5	23,3	34,7	43,5
Vorschlag Sensitivität Projektionsbericht 2019	15,5	15,5	15,5	15,5

Quelle: EC (2018), Öko-Institut

Für die Referenz wird vorgeschlagen, die CO₂-Preise der EU-Guideline 2018 zu verwenden.

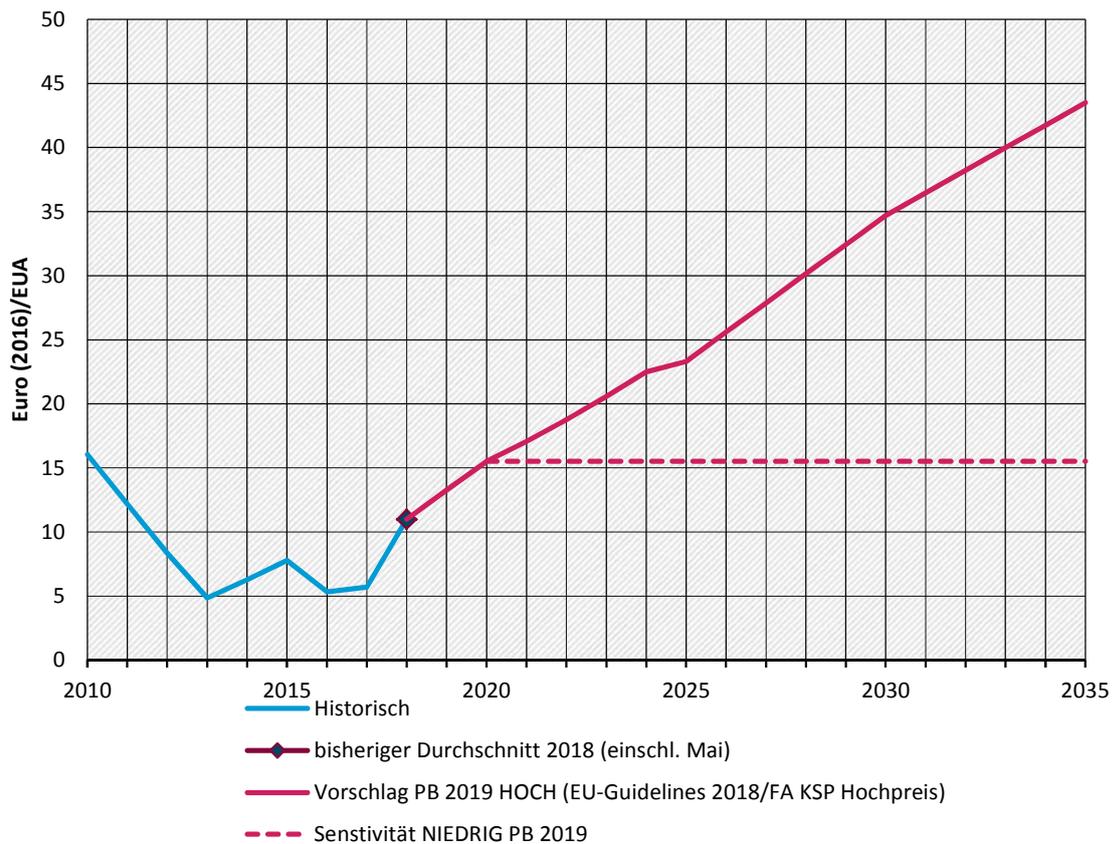
Die Preise der EU-Guidelines 2018 haben sich seit der letzten Empfehlung der Kommission im Jahr 2016 nicht verändert. Abbildung 6 zeigt zusätzlich die historische Entwicklung bis Mai 2018.⁵

Der künftige Preisverlauf hängt vor allem von den Erwartungen der Marktakteure über die zukünftige Entwicklung der Angebots- und Nachfragesituation, d.h. der erwarteten Knappheit bzw. des erwarteten Überschusses von Emissionszertifikaten, ab. Die Entwicklung des Angebots ergibt sich aus der Gesamtobergrenze der Zertifikate-Menge (des sog. „Caps“) sowie aus der Wirkung der zum 1.1.2019 gestarteten Marktstabilitätsreserve. Wesentliche Treiber für die Nachfrage sind neben den politischen Rahmenbedingungen (z.B. Ausbaugeschwindigkeit von erneuerbaren Energien oder politisch induzierter Kohleausstieg in verschiedenen EU-Mitgliedstaaten) unter anderem die gesamtwirtschaftliche Entwicklung, technische Entwicklungen und die Entwicklung der Energieträgerpreise.

Aufgrund dieser Unsicherheiten bei der Preisentwicklung wird in einer Sensitivitätsanalyse mit einem konstanten Preisniveau von 15,50 €/EUA gerechnet. Dieses repräsentiert nicht die Preis-erwartungen der Bundesregierung.

⁵ Die Rahmendaten für den Projektionsbericht 2019 wurden im Juni 2018 erstellt und gingen anschließend in die Modellierung für den Projektionsbericht ein. Seit Juni 2018 haben sich die EUA-Preise weiter entwickelt. Diese Entwicklung sei hier informativ dargestellt: Der Durchschnittspreis für das Gesamtjahr 2018 lag bereits knapp oberhalb des angenommenen Preisniveaus für 2020 aus der EU-Guideline 2018. Anfang 2019 erreichte der Preis mit knapp 23 €/EUA ungefähr das für 2025 angenommene Niveau. Dies zeigt, dass die Annahmen mit Unsicherheiten behaftet sind und die Marktentwicklung in Folge der Anfang 2018 beschlossenen Reform des EU-Emissionshandels zumindest für das Jahr 2018 unterschätzt wurde.

Abbildung 6: Vergleich CO₂-Preise historisch, EU-Guidelines 2018 und PB 2019 Vorschlag



Quelle: EEX- EUA Futures, Öko-Institut

2.4. Projektion der Entwicklung der Endverbraucherpreise für Strom

Die Entwicklung der mittleren Strom-Endverbraucherpreise ist in Tabelle 6 dargestellt. Sie beinhalten Annahmen zur Entwicklung von Großhandelspreisen, Steuern und Umlagen. Der leichte kontinuierliche Anstieg bis 2025 ist auf steigende Netzentgelte und Großhandelspreise zurückzuführen. Das Absinken nach 2025 liegt vorwiegend an der prognostizierten fallenden EEG-Umlage.

Tabelle 6: Annahmen zur Entwicklung der mittleren Endverbraucher-Strompreise je Sektor [Eurocent₂₀₁₆/kWh]

Sektor	2015	2020	2025	2030	2035
Haushalte (inkl. MWSt)	29	34	34	33	31
GHD (ohne MWSt)	21	23	24	22	21
Industrie (ohne MWSt)	11	14	15	14	14

Quellen: Eigene Berechnungen basierend auf (BMWi 2018b), (BDEW 2016; BMWi 2016; Bundesnetzagentur 2015; Öko-Institut 2015)

2.5. Rahmendaten in einzelnen Sektoren

2.3.

2.4.

2.5.

2.5.1. Verkehr

Im Folgenden sind die wesentlichen Annahmen, die der Modellierung zu Grunde liegen, dargestellt.

2.5.1.1. Verkehrsnachfrage

Bis einschließlich 2017 werden im Projektionsbericht so weit wie möglich vorhandene Ist-Daten zur Verkehrsnachfrageentwicklung verwendet. Die Projektion bis 2030 basiert auf der Verkehrsnachfrageentwicklung, wobei bis 2020 auf aktuellen Trends sowie der Mittelfristprognose 2017/2018 des BMVI (BMVI 2018). Im Ergebnis liegt die Verkehrsnachfrage etwas höher als im Projektionsbericht 2017. Gegenüber der im Projektionsbericht 2017 hinterlegten Verkehrsnachfrage aus der Verkehrsprognose 2030 haben sich wesentliche Rahmenbedingungen und Annahmen verändert. Dazu zählen u.a. der deutlich stärkere Bevölkerungszuwachs und das niedrigere Niveau der Kraftstoffpreise.

2.5.1.1.1. Pkw

Die Pkw-Fahrleistung in Deutschland wird nicht umfassend statistisch erfasst und ist daher mit Unsicherheit behaftet. Es gibt allerdings Hochrechnungen auf Basis verschiedener (Teil-) Erhebungen. Das Kraftfahrtbundesamt ermittelt für die Jahre 2014-2017 einen jährlichen Anstieg der Fahrleistungen deutscher Pkw von rd. 1 % (KBA 2018). Nach Verkehr in Zahlen (DIW 2018) lag der Anstieg der letzten Jahre mit rd. 1,8 % p.a. etwas höher. Die Mittelfristprognose 2017/2018 des BMVI geht für den Zeitraum 2018-2021 von einem Anstieg um 1,2 % p.a. aus (BMVI 2018). Damit liegt der Anstieg höher als in der Vorjahresprojektion - die Mittelfristprognose 2016/2017 ging noch von 1 % p.a. ab 2016 aus. Begründet wird der Anstieg u.a. mit dem weiter zunehmenden Pkw-Bestand, einer positiven Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt, nur leicht steigenden Rohölpreisen, und einem Anstieg der privaten Konsumausgaben. Das MKS-Konsortium geht von einer jährlichen Zunahme von durchschnittlich 0,5 % p.a. bis 2030 aus.

Für die Projektion wird im Zeitraum 2017-2020 von einem Anstieg um 1,2 % p.a. ausgegangen, basierend auf der Annahme der Mittelfristprognose 2017/18 des BMVI, sowie in Übereinstimmung mit den derzeit zu beobachtenden Trends. Ab 2020 wird auf Basis der MKS ein weiterer Anstieg der Fahrleistung von 0,5 % p.a. angenommen.

2.5.1.1.2. Öffentlicher Personenverkehr

Die Verkehrsleistungen im öffentlichen Personenverkehr sind zwischen 2010 und 2015 laut Destatis um 1,4 % p.a. gestiegen. Für die Jahre zwischen 2015 und 2030 wird angelehnt an die Entwicklung der MKS-Referenz ein weit niedrigerer Anstieg von 0,3 % p.a. angenommen.

2.5.1.1.3. Lkw

Seit 2012 ist die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs in Deutschland um jährlich rd. 2 % angestiegen. Die Mittelfristprognose 2017/18 führt den deutlichen Anstieg der letzten Jahre teilweise auf Sondereffekte zurück und geht davon aus, dass sich die Wachstumsraten nach 2018 deutlich abschwächen werden auf dann noch 0,4 % p.a.

Relevant für die Entwicklung der CO₂-Emissionen ist jedoch die Fahrleistung der Lkw. Auch bei den Lkw sind Daten zur Fahrleistung nicht vollständig bzw. erst mit deutlicher Verzögerung verfügbar. Nach Daten des KBA ist die Inlandsfahrleistung europäischer Lkw in Deutschland zwischen 2013 und 2015 um 2 % p.a. angestiegen. Nach der Mautstatistik des BAG ist die Fahrleistung mautpflichtiger Lkw (d.h. aller Lkw >7,5t zGG auf dem mautpflichtigen Netz) zwischen 2016 und 2017 sogar um 3,3 % angestiegen. Das MKS-Konsortium berechnet einen Anstieg von durchschnittlich rund 1,3 % p.a. im Zeitraum 2015-2030.

Für das Jahr 2017 wird auf Basis der Mautstatistik ein Anstieg um 3,3 %, für 2018 ein Anstieg von 1,6 % (entsprechend der Mittelfristprognose 2017/2018) angenommen, und für die Jahre bis 2030 ein Anstieg um 1,3 % p.a. Auch wenn die Fahrleistungen stärker ansteigen, ergeben sich für die Tonnenkilometer niedrigere Werte als noch im Projektionsbericht 2017. Dies hängt mit einer stark reduzierten Auslastungsverbesserung um zehn Prozentpunkte bis 2030 zusammen.

2.5.1.1.4. Leichte Nutzfahrzeuge

Nach Daten des KBA ist die Fahrleistung in Deutschland zugelassener leichter Nutzfahrzeuge im Zeitraum 2013-2017 um fast 5 % p.a. angestiegen. Für den Projektionsbericht wird davon ausgegangen, dass sich dieser Trend bis 2020 auf demselben Niveau fortsetzt. Ab 2020 wird die Wachstumsrate der MKS (1,8 % p.a.) übernommen.

2.5.1.1.5. Schienengüterverkehr und Binnenschifffahrt

Nach Verkehr in Zahlen ist die Verkehrsleistung zwischen 2010 und 2015 im Schienengüterverkehr um 1,7 % p.a. gestiegen (BMVI 2016). Für den Verlauf zwischen 2015 bis 2030 wird das Wachstum aus der MKS benutzt (1,2 % p.a.). Die Binnenschifffahrt verzeichnete zwischen den Jahren 2010 und 2015 einen Rückgang von 2,3 % p.a. Für die Jahre zwischen 2015 und 2030 wird die Wachstumsrate der MKS von 0,7 % p.a. angesetzt. Für die Schiene bedeutet dies ein äquivalentes prozentuales Wachstum zwischen 2020 und 2030, jedoch ist die Verkehrsleistung in 2020 niedriger als noch im Projektionsbericht 2017 beschrieben. Die Binnenschifffahrt verzeichnet ein deutlich geringeres Wachstum zwischen 2020 und 2030.

2.5.1.1.6. Luft- und Seeverkehr

Beim Luftverkehr ist einerseits der nationale, d.h. innerdeutsche, Luftverkehr dargestellt. Zusätzlich sind die aus Deutschland abgehenden internationalen Flüge ausgewiesen. Die Emissionen des internationalen Luftverkehrs sowie des internationalen Seeverkehrs werden in den Treibhausgasinventaren nur nachrichtlich ausgewiesen. Für den Seeverkehr wurde die Entwicklung aus Klimaschutzenszenario 2050 – 2. Endbericht (Öko-Institut et al. 2015) hinterlegt. Der Seeverkehr nimmt demnach im Zeitraum 2012-2035 um 65 % zu.

2.5.1.1.7. Verkehrsnachfrage im Überblick

Tabelle 7: Verkehrsnachfrage Personenverkehr im MMS in Mrd. pkm

	2010	2016	2017	2020	2025	2030	2035
Pkw	882	943	951	985	1.010	1.032	1.058
Kraftrad	20	22	22	23	23	24	25
ÖPV - Bahn (PV)	84	94	95	97	100	103	104
ÖPV - SSU ⁶	16	17	17	17	17	16	16

⁶ Straßen-, Stadt-, und U-Bahnen

ÖPV - Bus	62	64	64	64	63	61	59
Flugzeug (national)	11	10	10	11	11	12	13
Gesamt national	1.075	1.150	1.159	1.196	1.223	1.248	1.274
Flugzeug (international)	182	215	229	254	296	332	366
Gesamt	1.257	1.366	1.388	1.450	1.519	1.581	1.640

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 8: Verkehrsnachfrage Güterverkehr im MMS in Mrd. tkm

	2010	2016	2017	2020	2025	2030	2035
Straße	437	461	476	497	531	567	616
Schiene	107	116	116	119	129	140	138
Binnenschiff	62	54	54	54	57	61	62
Flugzeug (national)	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt national	607	631	647	671	717	769	816
Flugzeug (international)	11	12	12	14	16	18	15
Gesamt	618	645	664	696	765	841	859

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 9: Verkehrsnachfrage Seeverkehr im MMS in Mrd. tkm

	2010	2016	2017	2020	2025	2030	2035
Hochseeschiff-fahrt	1.742	2.044	2.097	2.263	2.580	2.930	3.152

Quelle: Eigene Berechnungen

2.5.1.2. Batteriepreisentwicklung

Für die Entwicklung der Batteriesystemkosten werden folgende Annahmen getroffen:

Tabelle 10: Annahmen für die Entwicklung der Batteriesystemkosten

Jahr	Kosten in €/kWh
2015	250
2020	150
2025	120
2030	100
2035	95

Quellen: Hackmann et al. (2015), Wolfram und Lutsey (2016)

Die dabei zu Grunde gelegte Batteriekapazität beträgt 25 kWh im Jahr 2015 und 40 kWh ab 2020. Bei niedrigeren Batteriekapazitäten wie z.B. bei Plug-In-Hybridfahrzeugen sind die spezifischen auf die Kilowattstunde bezogenen Kosten höher, bei höheren Kapazitäten werden sie durch den niedrigeren Anteil der Systemkosten geringer.

2.5.1.3. Effizienzentwicklung neu zugelassener Pkw und Realabweichung

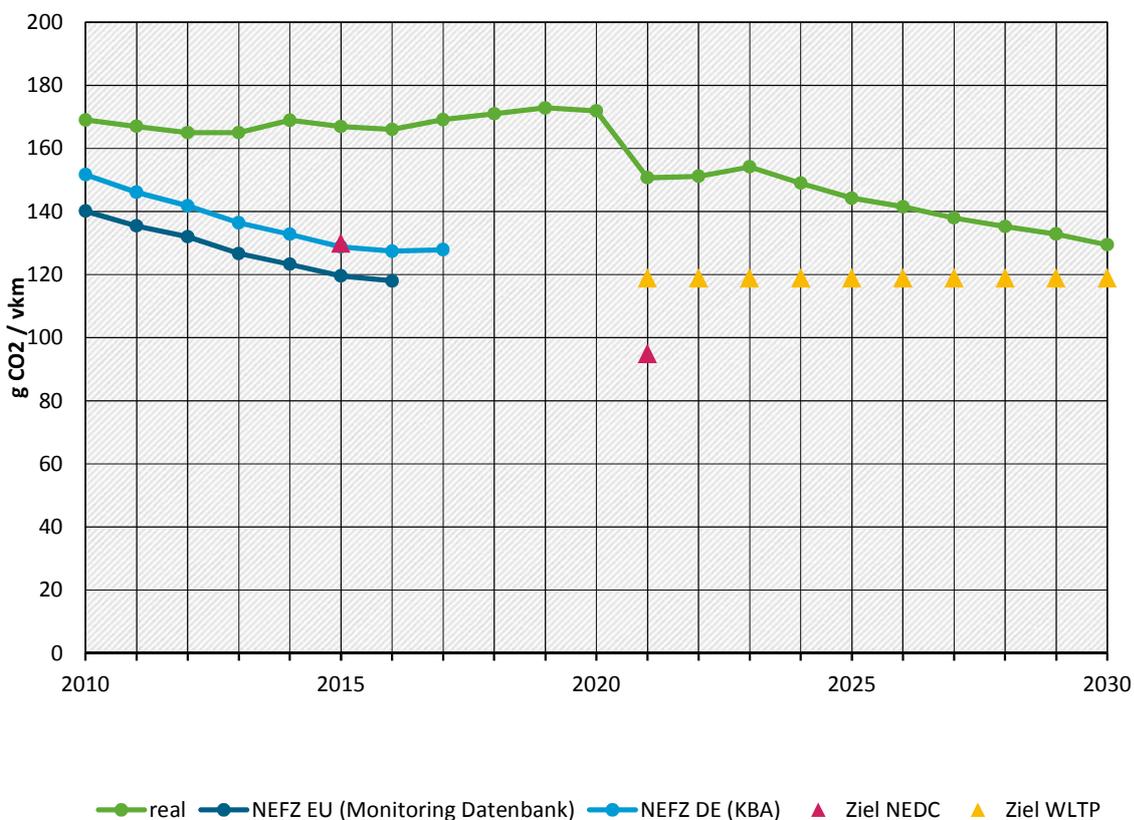
Energieverbrauch und Emissionen von Pkw liegen im realen Betrieb höher als die im Testzyklus (derzeit: NEFZ) gemessenen Werte. Diese Diskrepanz wird über die Werte aus Miller (2016) berücksichtigt: Es wird bei den Berechnungen hinterlegt, dass bis zum Jahr 2014 die Abweichung zwischen NEFZ und Realverbrauch bei Diesel- und Benzinmotoren auf rund 38 % angestiegen ist. Ohne Einführung des neuen Testzyklus WLTP könnte die Diskrepanz weiter auf 49 % im Jahr 2021 ansteigen. Da es auch beim WLTP Flexibilität gibt, sowie real auftretende Verbräuche, welche nicht vom Testzyklus erfasst werden, kann es auch zukünftig zu Diskrepanzen zwischen WLTP-Testzyklus und Realverbrauch kommen (Schätzung nach Miller: 31 % im Jahr 2030).

Der Kommissionsvorschlag zur CO₂-Regulierung bei neuen Pkw sieht ggü. 2021 eine Reduktion von 15 % bis 2025 und 30 % bis 2030 vor. Eine Fortführung der Emissionsstandards nach 2021 ist jedoch noch nicht beschlossen und wird daher im MMS nicht berücksichtigt⁷.

Bei den Pkw wurde die Kaufprämie für E-Pkw berücksichtigt sowie die Emissionsfaktoren neu zugelassener Pkw bis inkl. 2017 auf Basis der EU-Monitoring-Daten. Gegenüber dem Projektionsbericht 2017 wurde eine sinkende Attraktivität von Diesel-Pkw (u.a. durch die Diskussion um drohende Fahrverbote) angenommen.

Die Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen von Pkw-Neuzulassungen in Deutschland im Zeitraum 2010-2030 unter den obigen Annahmen.

Abbildung 7: Entwicklung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen von Pkw-Neuzulassungen im Zeitraum 2010-2030 im MMS ggü. verschiedenen Ziel- und Messwerten



⁷ Die Minderung der Pkw CO₂-Flottengrenzwerte um 37,5 % bis 2030 ggü. 2021 erzielt nach aktuellen Berechnungen des Öko-Instituts ca. 6 Mt CO₂ Minderungen.

2.5.1.4. Biokraftstoffanteil

Annahmen für 2020 (THG-Minderungsquote):

Die Treibhausgasminderungsquote liegt bei 3,5 % im Jahr 2015, 4 % ab 2017 und 6 % in 2020. Der Basiswert, gegenüber dem diese Minderung zu erfüllen ist, wurde mit in Kraft treten der 38. BImSchV von 83,8 g CO₂/MJ auf 94,1 g CO₂/MJ erhöht. Der fossile Komparator, welcher für die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien relevant ist, bleibt dagegen zunächst bei 83,8 g CO₂/MJ⁸. Wie hoch die Biokraftstoffmenge ist, welche zur Erfüllung der Treibhausgasminderungsquote notwendig ist, hängt dabei vor allem von der Höhe der Minderung von Biokraftstoffen im Vergleich zum fossilen Basiswert ab.

Seit Umstellung der Biokraftstoffquote auf eine Treibhausgasminderungsquote hat sich die von den Vertreibern der Kraftstoffe berichtete Treibhausgasminderung deutlich erhöht. Lag sie im Jahr 2013 und 2014 noch bei rund 50 %, so ist sie im Jahr 2016 auf rund 77 % angestiegen (BLE 2017) – jeweils gegenüber dem fossilen Komparator von 83,8 g CO₂ / MJ. Die Emissionen der Biokraftstoffe sanken demnach von 40,75 g CO₂/MJ im Jahr 2014 auf 19,37 g CO₂/MJ im Jahr 2016. Emissionen aus dem Anbau von Energiepflanzen (wo es nicht zwangsläufig individuelle Zertifizierungen geben wird, d.h. deren lokal differenzierte Höhe nicht flächenscharf erhoben werden wird) haben weiterhin einen hohen Anteil an den Emissionen der Biokraftstoffe, insbesondere, wenn auch Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen eingerechnet werden. Eine Erhöhung des Minderungsanteils erfolgt auch durch verstärkten Einsatz sog. fortschrittlicher Kraftstoffe auf Basis von Rest- und Abfallstoffen. Zu bereits bekannten Möglichkeiten, Emissionen der Biokraftstoffe rechnerisch zu senken wie z.B. CCR wird es strengere Regelungen seitens der Kommission geben. Für die folgenden Überlegungen wird auf Grundlage von (BLE 2016) von einer Reduktion der berichteten Emissionen auf 20 g CO₂/MJ ab dem Jahr 2020 ausgegangen.

Für 2020 sieht die THG-Minderungsquote ein Ziel von 6 % THG-Minderung vor. Reduktionen von Upstream-Emissionen sind bis zu 1,2 % anrechenbar – ebenso wie der Einsatz von Strom in Elektrofahrzeugen. Es ist jedoch bis 2020 nicht von einem relevanten Anteil von Strom in Elektrofahrzeugen auszugehen. Angenommen wird, dass zusammen aus der Anrechnung von Upstream-Emissionsreduktionen und Elektromobilität 1,2 % des Ziels erfüllt werden, d.h. noch 4,8 % durch Biokraftstoffe zu erfüllen sind. Wenn Biokraftstoffe (nominell) eine Minderung von 80 % gegenüber der fossilen Referenz erfüllen, ist also ein Anteil von 6 % Biokraftstoffen zur Quotenerfüllung im Jahr 2020 notwendig.

Annahmen für 2030 (RED II):

Abbildung 8 stellt die Vorgaben der revidierten RED im Überblick dar. Die revidierte RED sieht de facto ein nominales Ziel von 7 % für erneuerbare Energien im Verkehr, welche nicht auf Nahrungs- und Futtermitteln basieren, vor. Die Hälfte davon muss aus fortschrittlichen Biokraftstoffen aus Abfällen, Reststoffen und nicht für die Ernährung geeigneten Kulturpflanzen stammen (Annex IX Teil A der RED II)⁹, während der Rest aus erneuerbaren Energien und anderen Kraftstoffen stammen soll. Tatsächlich werden die Anteile von fortschrittlichen Biokraftstoffen und erneuerbarer Elektrizität aufgrund von Multiplikatoren niedriger sein. Der Multiplikator beträgt

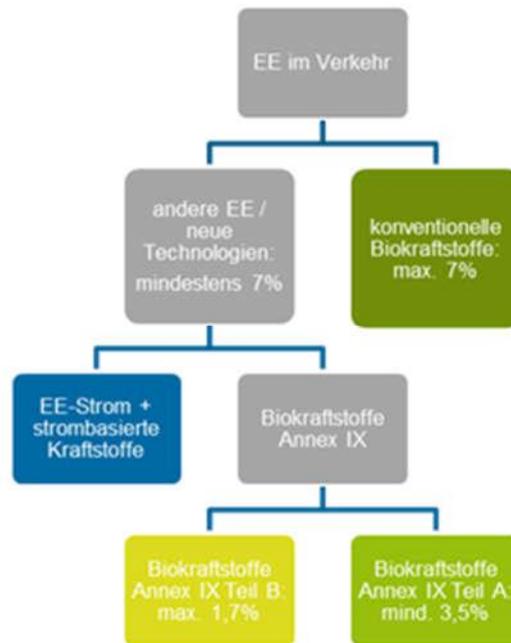
⁸ Mit Gültigkeit der RED II in 2021 wird dieser auf 94 g CO₂eq/MJ ansteigen. Da der Beschluss zu RED II jedoch nach dem Abschnidezeitpunkt (31.08.2018) des Projektionsberichtes liegt, wird dies nicht mit berücksichtigt.

⁹ Innerhalb des Gesamtanteils von 7% beträgt der Beitrag von Biokraftstoffen (inkl. Biogas) aus den in Anhang IX Teil A aufgeführten Ausgangsstoffen im Jahr 2022 mindestens 0,2%, im Jahr 2025 1% und bis 2030 mindestens 3,5%.

2 für fortschrittliche Biokraftstoffe, 1,5 für EE-Strom im Schienenverkehr, und 4 für EE-Strom im Straßenverkehr. Der Beitrag von Biokraftstoffen und Biogas, das aus den in Anhang IX Teil B aufgeführten Ausgangsstoffen gewonnen wird, ist auf 1,7 % begrenzt.

Der Nenner in der Berechnung des EE-Anteils bezieht sich nur auf den Straßen- und Schienenverkehr, der Zähler bezieht den nationalen Anteil des Flug- und Seeverkehrs (mit einem Faktor 1,2) sowie die Binnenschifffahrt mit ein.

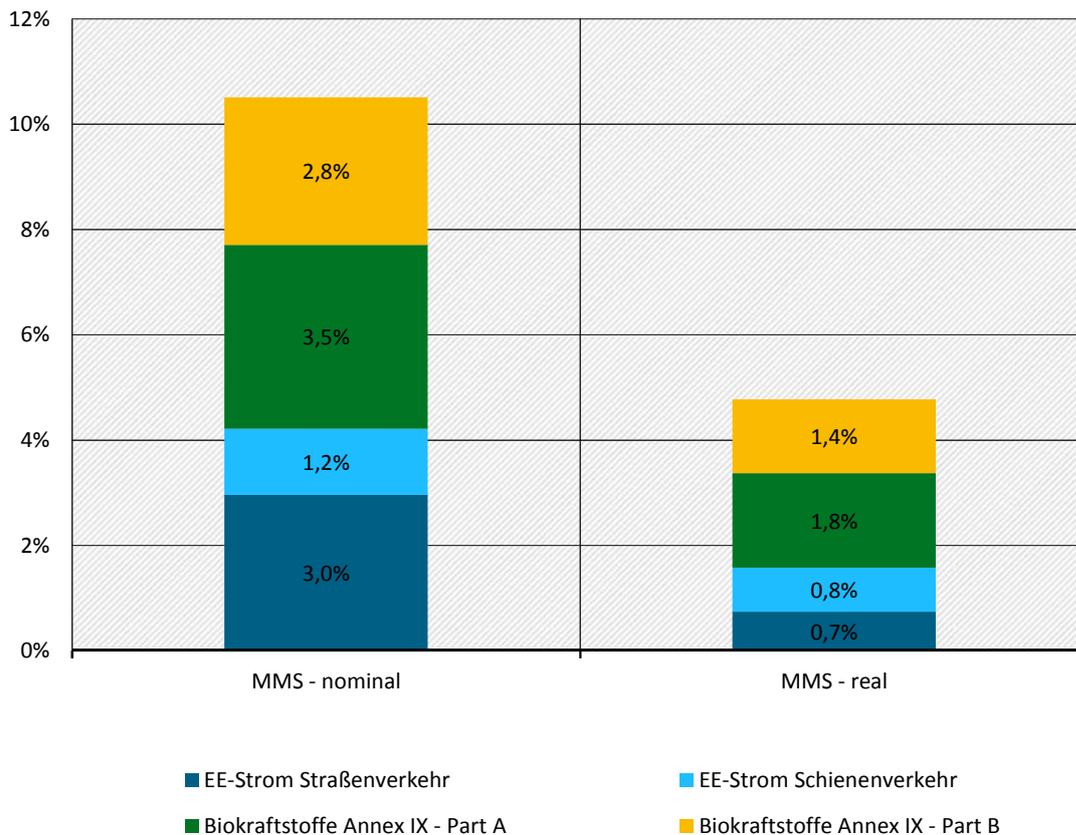
Abbildung 8: Differenzierung der EE im Verkehr nach RED II – Vorgaben für 2030



Quelle: eigene Darstellung Öko-Institut

Bereits im MMS können sich relevante EE-Stromanteile im Verkehr ergeben: Bei einem EE-Anteil im Strom von 50 % in 2030 liegen die Anteile in der Größenordnung von 0,8 % bei der Schiene und 0,7 % im Straßenverkehr bezogen auf die gesamte Endenergienachfrage. Mit den Multiplikatoren von 1,5 bzw. 4 ergibt das nominal 1,2 % bzw. 3 % - zusammen also 4,2 %, unter der Annahme, dass alle Halter von Elektrofahrzeugen am Quotensystem teilnehmen (der reale Anteil der teilnehmenden Fahrzeughalter dürfte v.a. vom konkreten Anreiz der Quote abhängen und eine vollständige Teilnahme kann keinesfalls vorausgesetzt werden). Zusammen mit den vorgeschriebenen nominal 3,5 % fortschrittlichen Biokraftstoffen (Annex IX Teil A) könnten also die Vorgaben der RED II erfüllt werden, wenn sich die Elektromobilität nicht deutlich schlechter entwickelt als hier im MMS projiziert und der gesamte in Elektrofahrzeugen genutzte Strom von der Quote erfasst wird (d.h. alle Fahrzeughalter am System teilnehmen). Geht man davon aus, dass der Anteil von Biokraftstoffen aus Abfall- und Reststoffen (Annex IX Teil B) auf dem heutigen Niveau von real rd. 1,4 % bleibt, so wäre ein Anteil von 7 % auch möglich, wenn keine Anrechnung von EE-Strom aus dem Straßenverkehr erfolgt. Abbildung 9 zeigt die auf die RED anrechenbaren (nominalen) und realen Biokraftstoffanteile an der gesamten Endenergienachfrage in 2030 im MMS.

Abbildung 9: Nominale und reale EE-Anteile im Verkehr im Jahr 2030 (ohne konventionelle Biokraftstoffe)



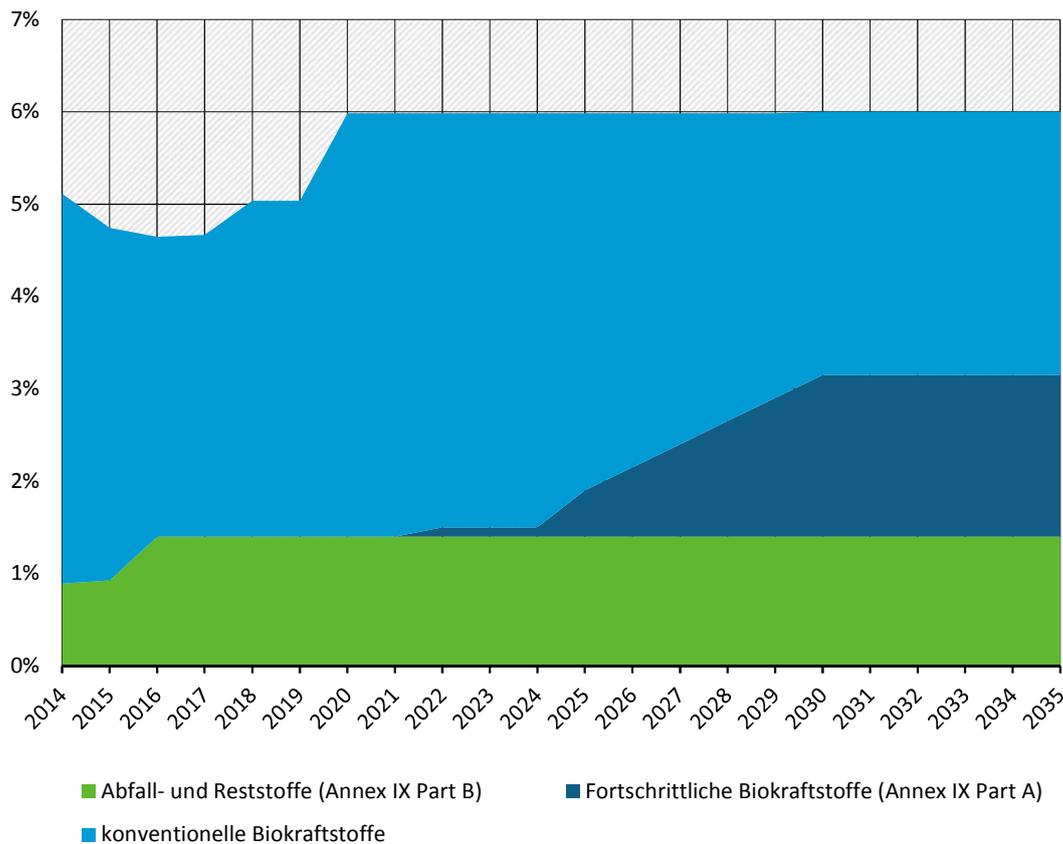
Quelle: Eigene Berechnungen

Eine höhere Unsicherheit gibt es bezüglich des zukünftigen Anteils konventioneller Biokraftstoffe (aus Anbaubiomasse). Zur Erfüllung der Verpflichtungen der RED II sind keine konventionellen Biokraftstoffe notwendig. Der Anteil konventioneller Biokraftstoffe in Deutschland lag im Jahr 2016 bei rund 3,4 % (Status Quo). Zwar gibt es die Absichtserklärung der Bundesregierung, „konventionelle Biokraftstoffe nach Maßgabe des Status Quo zu fördern“, dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass der Anteil konventioneller Biokraftstoffe auch tatsächlich dieses Niveau erreichen wird, wenn sich die Alternativen zum verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien im Verkehr günstig entwickeln oder am Markt kostengünstiger verfügbar sind.

Entwicklung des Biokraftstoffanteils bis 2035

Abbildung 10 zeigt eine mögliche Entwicklung des Biokraftstoffanteils bis 2035 unter den derzeitigen Rahmenbedingungen von THG-Minderungsquote sowie RED II. Daten bis einschließlich 2016 sind Ist-Werte. Angenommen wird, dass der Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen sich in den Jahren 2022, 2025 und 2030 an den von der RED II vorgegebenen Untergrenzen orientiert und sich dazwischen linear entwickelt. Ferner wird angenommen, dass der Einsatz von Abfall- und Reststoffen auf heutigem Niveau bleibt, und der Einsatz von Biokraftstoffen im Verkehr insgesamt nach 2020 konstant bei 6 % bleibt. Für konventionelle Biokraftstoffe bedeutet dies, dass ihr Anteil nach einem vorübergehenden leichten Anstieg bis 2020 in der Folge bis 2030 auf 2,8 % zurückgeht.

Abbildung 10: Annahmen zum Biokraftstoffanteil im MMS



Quelle: eigene Annahme

2.5.2. Private Haushalte

2.5.2.1. Anzahl privater Haushalte

Die Anzahl der privaten Haushalte wird auf Basis von Annahmen zur Entwicklung der Haushaltsgröße (Anzahl der Personen pro Haushalt) aus den im Szenario verwendeten Rahmendaten zur Bevölkerungsentwicklung (Abschnitt 1) berechnet. Letztere leiten sich aus den aktuellen Angaben und der Bevölkerungsvorausberechnung ab (StBA 2017b). Wie in Abschnitt 1 diskutiert, weichen die EU-Guidelines 2018 der Europäischen Kommission von diesen Zahlen ab. Neben der Bevölkerungsvorausberechnung, die unter den nationalen Prognosen liegt, wurden ebenfalls Annahmen über die Haushaltsgröße getroffen. Danach würde diese für Deutschland von 2,2 Personen pro Haushalt im Jahr 2000 auf 2,0 Personen pro Haushalt im Jahr 2010 sinken und danach konstant bleiben. Tatsächlich sank die mittlere Haushaltsgröße erstmalig im Jahr 2015 auf 2,0 ab. Des Weiteren weichen diese Annahmen zur Entwicklung der Haushaltsgröße und der daraus berechneten Anzahl der Haushalte von nationalen Prognosen ab, auf deren Grundlage auch die Abschätzungen zur Haushaltsentwicklung im Projektionsbericht 2015 basierten (siehe u.a. Prognos AG et al. 2010, BBSR 2015). Nationale Prognosen gehen von einem weiteren Rückgang der Anzahl der Personen pro Haushalt nach 2010 aus, was – basierend auf den gleichen Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung – zu einem leichten Anstieg der Anzahl der Haushalte in Deutschland bis 2035 führt und nicht – wie im EU-Referenzszenario angenommen – zu einem leichten Rückgang (Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der Anzahl privater Haushalte verschiedener Quellen (fettgedruckt: für den Projektionsbericht 2019 verwendete Daten)

	Quelle	2000	2010	2020	2030	2035
Bevölkerung (Mio.)	EU Guidance 2018	82,2	81,8	80,6	79,7	78,8
Haushaltsgröße	EU-Referenzszenario 2016	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0
Anzahl Haushalte (Mio.)	Berechnung auf Basis EU-Referenzszenario 2016/2018	37,4	40,9	40,3	39,9	39,4
Bevölkerung (Mio.)	StBA 2016, 2017	82,2	81,8	83,2	82,6	81,9
Haushaltsgröße	Projektionsbericht 2019 (basierend auf nationalen Prognosen)	2,17	2,07	1,97	1,93	1,90
Anzahl Haushalte (Mio.)	[Eigene Berechnung]	37,9	39,5	42,2	42,8	43,1

Im Jahr 2035 ergibt sich durch die unterschiedlichen Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung (78,8 Mio. gegenüber 81,9 Mio.) und zur Haushaltsgröße (2,0 gegenüber 1,9 Personen pro Haushalt) eine Differenz in der Anzahl privater Haushalte von 3,7 Millionen (Tabelle 11). Da der Strombedarf privater Haushalte stark mit der Anzahl privater Haushalte korreliert, hat dies auch einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des zukünftigen Strombedarfs. Da die nationalen Prognosen zur Entwicklung der Haushaltsgröße und der Anzahl der privaten Haushalten aus Sicht der Autoren realistischer erscheinen als die Annahmen im EU-Referenzszenario, wird für den Projektionsbericht 2019 auf die nationalen Prognosen zurückgegriffen, die auch im Projektionsbericht 2015 und 2017 verwendet wurden (fettgedruckt in Tabelle 11). Damit ist auch eine größere Kompatibilität der Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung des Stromverbrauchs der privaten Haushalte zwischen den Projektionsberichten gewährleistet.

2.5.2.2. Wohnfläche und Entwicklung der Nutzfläche in Nichtwohngebäude

Neben den Energiepreisen ist die Entwicklung der Wohnflächen ein zentraler Treiber für den Energiebedarf im Gebäudebereich. In der Modellierung werden die Flächenentwicklungen als exogener Parameter berücksichtigt. Darauf basierend werden modellendogen die jährlichen Neubauten und Gebäudeabriss berechnet. Die angenommene Wohnflächenentwicklung ergibt sich aus der Bevölkerungsentwicklung und der Entwicklung der spezifischen Wohnflächen pro Einwohner, die einen gegenläufigen Trend folgen. Die Rahmendaten werden dabei aus den Rahmendaten des Impact Assessment angesetzt mit einer Fortschreibung bis 2035.

Ausgehend von einer Gesamtwohnfläche aller Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden von 3,85 Mrd. m² (StBA 2016a) zeigt Tabelle 12 den resultierenden Nettozuwachs pro Jahr sowie die absolute Wohnflächen.

Tabelle 12: Angenommenen Entwicklung der Wohnflächen bis zum Jahr 2035

	2017	2020	2025	2030	2035
Wohnfläche gesamt in Wohn- und Nichtwohngebäuden nach StatBA (Mio. m ²)	3.851	3.310	4.040	4.106	4.257
Spez. Wohnfläche in Wohn- und Nichtwohngebäuden, bewohnt (m ² /Kopf)	45,1	45,6	47,2	48,5	50,4

	2017	2020	2025	2030	2035
Wohnfläche in Wohn- und Nichtwohngebäuden, bewohnt, gesamt (Mio. m²)	3.734	3.810	3.930	4.020	4.130

Quelle: Impact Assessment der Ziele im Klimaschutzplan 2050 (Öko-Institut et al. 2019)

Der Flächenzuwachs durch Zubau von Nichtwohngebäuden wird aus der Neubau- und Abrissstatistik (Destatis Fachserie 5 – Reihe 1) ermittelt. Nach der Statistik ist der Zubau der beheizten Nichtwohngebäude relativ konstant und wird daher über die Simulationsperiode fortgeschrieben. Der jährliche Nutzflächenzubau der Nichtwohngebäude beträgt dabei 12,5 Millionen m². Bei einem Abriss von jährlich rund 2,2 Millionen m² ergibt sich ein Nettozuwachs der Nutzfläche von 10,3 Millionen m²/Jahr.

Als Input für die Modellrechnung dient die Entwicklung des Gesamtbestandes. Das verwendete Gebäudemodell errechnet endogen Abriss- und Neubau in Abhängigkeit des Baualters der Referenzgebäude (siehe Abschnitt 3.1.2.1).

2.5.3. Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Zentrale Aktivitätsgröße für den Sektor Industrie ist die Entwicklung der realen Bruttowertschöpfung je Wirtschaftszweig (siehe Tabelle 13). Für die energieintensiven Branchen der Industrie sind vor allem die physischen Produktionsmengen relevante Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs, die sich wiederum von der Bruttowertschöpfung ableiten lassen.

Die Entwicklung der Bruttowertschöpfung orientiert sich dabei an der hinterlegten BIP-Entwicklung und nimmt darüber hinaus einen strukturellen Wandel von der energieintensiven Grundstoffindustrie hin zu weniger energieintensiven Branchen wie dem Maschinen- oder Fahrzeugbau an. Letztere Branchen weisen also ein höheres jährliches Wachstum auf.

Tabelle 13: Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie je Wirtschaftszweig (Mrd. €₂₀₁₀)

Wirtschaftszweig der Industrie	2015	2020	2025	2030	2035
Gew. v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6
Ernährung und Tabak	56,5	57,3	57,9	58,0	58,5
Papiergewerbe	9,5	9,6	9,7	9,6	9,7
Grundstoffchemie	24,1	25,2	26,6	27,4	28,4
Sonstige chemische Industrie	29,2	30,9	32,8	34,3	35,8
Gummi- u. Kunststoffwaren	23,5	25,1	27,0	28,3	29,8
Glas u. Keramik	5,5	5,5	5,4	5,3	5,3
Verarbeitung v. Steine u. Erden	7,1	7,1	7,1	6,9	6,9
Metallerzeugung	6,9	6,7	6,7	6,7	6,7
NE-Metalle, -gießereien	9,4	9,2	9,2	9,1	9,1
Metallbearbeitung	42,1	43,9	45,8	46,9	48,4
Maschinenbau	71,9	79,0	87,0	93,9	101,2
Fahrzeugbau	103,6	111,7	119,9	126,4	133,5
Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe	95,9	103,3	111,6	118,4	125,9
Industrie Summe	486,5	515,7	547,6	572,1	599,8

Quelle: (StBA) für 2015, eigene Fortschreibung

In Tabelle 14 sind die Annahmen zur Entwicklung der jährlichen Produktionsmengen dargestellt. Während die Produktionsmengen im Jahr 2010 und soweit verfügbar für das Jahr 2015 aus verschiedenen Statistiken der Verbände sowie vom Statistischen Bundesamt stammen, stellt

die Fortschreibung eine Annahme dar, die sich an die Erwartungen der Branchen sowie der Bruttowertschöpfung orientiert. Die Entwicklung der Wertschöpfung in der übergeordneten Statistischen Einheit, dem NACE-2-Steller (nach europäischer Aktivitätsklassifizierung), muss jedoch nicht unbedingt parallel zur physischen Produktion verlaufen, da sich die Wertschöpfung zum großen Teil an der Produktion der höherwertigen weniger energieintensiven Zwischenprodukte orientiert und weniger an der Produktion energieintensiver Grundstoffe. Entsprechend ist das jährliche Wachstum der Produktionsmenge häufig niedriger als das Wachstum der Wertschöpfung der jeweiligen Branche. Weiterhin wurde für die Fortschreibung der Produktionsmengen die gleiche Methode wie für vorhergehende Projektionsberichte genutzt, wodurch eine hohe Vergleichbarkeit gewährleistet wird.

Tabelle 14: Produktionsmengen energieintensiver Grundstoffe

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Eisen und Stahl							
Sintern	kt	28.560	26.301	25.505	24.985	25.073	25.156
Oxygenstahl - Hochofen	kt	30.615	30.054	29.143	28.549	28.651	28.745
Elektrostahl - EAF	kt	13.215	12.622	12.503	12.514	12.833	13.159
Walzstahl	kt	36.827	36.551	35.737	34.607	34.342	34.722
Koksofen	kt	8.150	8.770	8.504	8.331	8.360	8.388
Schmelzreduktion	kt	-	-	-	-	-	-
Direkte Reduktion	kt	445	555	556	546	536	537
Nicht-Eisen Metalle							
Aluminium primär	kt	403	541	572	559	541	556
Aluminium sekundär	kt	611	640	691	691	683	718
Aluminium Strangpressen	kt	570	678	730	746	754	788
Aluminium Gießereien	kt	810	964	1.038	1.061	1.071	1.121
Aluminium Walzen	kt	1.883	2.243	2.415	2.467	2.491	2.606
Kupfer primär	kt	402	392	412	402	387	367
Kupfer sekundär	kt	302	285	299	291	280	279
Kupferbearbeitung	kt	1.732	1.805	1.893	1.842	1.772	1.765
Primärzink	kt	Vertraulich (konstante Entwicklung hinterlegt)					
Sekundärzink	kt	89	89	93	90	87	87
Papiergewerbe							
Papier	kt	23.062	22.601	22.349	22.281	21.955	23.091
Zellstoff - Verfahren	kt	1.524	1.608	1.591	1.567	1.497	1.427
Holzstoff - Verfahren	kt	1.239	915	905	891	851	812
Altpapierstoff	kt	15.535	17.476	17.793	18.028	17.718	17.386
Glas							
Behälterglas	kt	4.688	5.010	5.095	5.066	4.981	4.913
Flachglas	kt	2.257	2.406	2.447	2.433	2.392	2.359
Glasfasern	kt	807	888	887	870	843	876
Übriges Glas	kt	369	409	408	400	388	403
Keramik							
Haushalts- und Sanitärkeramik	kt	44	46	45	43	41	43
Technische Keramik	kt	225	241	236	227	216	224
Fliesen, Platten, Feuerfestkeramik	kt	2.077	2.246	2.229	2.171	2.089	2.122
Nicht metallische Mineralstoffe							

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Klinker Brennen (trocken)	kt	21.274	23.355	22.911	21.952	20.728	19.828
Klinker Brennen (halbtrocken)	kt	1.691	-	-	-	-	-
Klinker Brennen (feucht)	kt	-	-	-	-	-	-
Aufbereitung von Kalkstein	kt	27.740	29.984	29.339	28.249	27.048	26.169
Gips	kt	953	953	946	920	884	862
Zementmahlen	kt	29.894	31.160	30.798	29.732	28.286	27.261
Kalkmahlen	kt	5.142	4.999	4.821	4.723	4.740	4.755
Ziegel	kt	10.642	13.460	12.825	12.381	11.779	11.353
Kalkbrennen	kt	6.466	6.629	6.428	6.297	6.320	6.341
Chemie							
Adipinsäure	kt	598	507	516	558	592	582
Ammoniak	kt	3.128	2.742	2.631	2.667	2.651	2.881
Calciumcarbid	kt	Vertraulich (konstante Entwicklung hinterlegt)					
Industrieruß	kt	400	374	355	357	352	383
Chlor, Diaphragma	kt	1.091	1.140	1.028	-	-	-
Chlor, Membran	kt	2.546	3.049	3.616	5.134	5.206	5.313
Chlor, Amalgam	kt	860	599	-	-	-	-
Ethylen	kt	5.063	5.134	5.015	5.168	5.221	5.316
Methanol	kt	1.288	941	895	900	887	964
Salpetersäure	kt	2.525	2.522	2.522	2.664	2.760	3.000
Sauerstoff	kt	6.934	9.409	9.397	9.920	10.267	10.095
Polycarbonat	kt	415	501	489	504	509	518
Polyethylen	kt	1.562	3	3	3	3	3
Polypropylen	kt	1.993	2.007	1.960	2.020	2.041	2.078
Polysulfone	kt	322	409	399	411	415	423
Soda	kt	2.539	2.627	2.553	2.618	2.631	2.666
TDI	kt	682	480	489	528	560	551
Titandioxid	kt	443	460	469	504	532	566
Nahrungsmittel							
Zucker	kt	3.443	3.887	4.142	4.204	4.230	4.430
Molkerei	kt	17.455	17.817	18.987	19.271	19.387	18.604
Bierbrauen	kt	9.568	9.562	10.089	10.138	10.098	10.709
Fleischverarbeitung	kt	11.591	11.955	12.740	13.118	13.387	12.846
Backwaren	kt	5.546	5.765	6.144	6.267	6.337	6.081
Stärke	kt	1.213	1.213	1.268	1.293	1.308	1.360
Kunststoffverarbeitung							
Extrusion	kt	4.385	4.541	4.436	4.571	4.618	4.702
Spritzgießen	kt	2.208	2.286	2.233	2.302	2.325	2.367
Blasformen	kt	963	997	974	1.004	1.014	1.032

Quellen: Quellen des Jahres 2010 (und teilweise 2015): Chemie: Statistisches Bundesamt (2012), UNFCCC; Nahrungsmittel: WVZ o.J., Milchindustrie o.J., Deutscher Brauerbund o.J., Statistisches Bundesamt; Kunststoffverarbeitung: Fraunhofer ICT und Fraunhofer ISI (2010), UBA 2016b

Die Entwicklung der Beschäftigten (Tabelle 15) je Wirtschaftszweig stellt die wesentliche Aktivitätsgröße für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) dar.

Tabelle 15: Anzahl der Beschäftigten je Wirtschaftszweig im Sektor GHD [Mio. Beschäftigte]

Wirtschaftszweig	WZ 2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Erziehung und Unterricht	P	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,1
Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	K	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	1,2
Gesundheits- und Sozialwesen	Q	3,4	3,6	4,0	4,0	4,0	4,0
Gastgewerbe	I	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Handel; Reparatur von Fahrzeugen	G	4,6	4,7	4,7	4,6	4,4	4,2
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung	O	3,4	3,3	3,3	3,2	3,0	2,8
Verkehr, Information und Kommunikation	H+J	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6
Sonstige Wirtschaftszweige	L+M+N+R+S	10,7	10,9	11,3	11,4	11,1	10,7
Summe		28,2	28,8	29,7	29,6	28,6	27,6

Quelle: (StBA), FORECAST-Tertiary

2.6. Sektorübergreifende Maßnahmen

Hinweis: Mit „*“ werden im Folgenden solche übergeordneten, sektorübergreifenden Maßnahmen gekennzeichnet, deren Wirkung auf sektoraler Basis quantifiziert und an entsprechender Stelle im Bericht erläutert wird.

2.6.

2.6.1. Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

a) EU-Emissionshandel*

Die Änderungen der Emissionshandelsrichtlinie für die vierte Handelsperiode 2021-2030 sind am 8.4.2018 in Kraft getreten. Die novellierte Richtlinie enthält wichtige Neuerungen zur Stärkung des EU-Emissionshandels und seines Preissignals. Die Gesamtmenge der versteigerten und kostenlos zugeteilten Emissionszertifikate sinkt ab 2021 um 2,2 Prozent p. a. (jeweils bezogen auf den Referenzwert im Jahr 2010). Mit der Marktstabilitätsreserve (MSR) werden dem Markt ab 2019 bis 2023 nun jährlich 24 statt 12 Prozent der überschüssigen Zertifikate entzogen. Ab 2023 ist die maximale Größe der Marktstabilitätsreserve auf die Versteigerungsmenge des Vorjahres beschränkt. Darüber hinausgehende Überschüsse werden aus der MSR gelöscht. Außerdem haben Mitgliedstaaten die Möglichkeit, die Anzahl der Zertifikate zu reduzieren, wenn durch zusätzliche nationale Klimaschutzinstrumente fossile Kraftwerke stillgelegt werden. Wegen der komplexen Wechselwirkungen auf europäischer Ebene kann eine eigene, modellendogene Berechnung des Preises für Emissionszertifikate (CO₂-Preis) nicht erfolgen. Deshalb wird der CO₂-Preis der Sektormodellierung als exogener Rahmenparameter vorgegeben.

b) Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform und weitere Änderungen in der Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom*

Bei der sog. ökologischen Steuerreform handelt es sich um eine bereits mehr als ein Jahrzehnt zurückliegende Maßnahme. Mit der Reform war das Ziel verbunden, einerseits den Faktor Energie durch eine steuerliche Verteuerung von Kraft- und Heizstoffen und Strom zu belasten und dadurch Anreize zum Energiesparen zu setzen und andererseits den Faktor Arbeit durch eine Senkung des Beitragssatzes in der gesetzlichen Rentenversicherung mit dem erzielten Steuermehraufkommen zu entlasten und dadurch zu besseren Rahmenbedingungen für den Arbeitsmarkt beizutragen.

Mit dem Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform vom 24. März 1999 (BGBl. I S. 378) und den entsprechenden Folgegesetzen wurden einzelne Steuersätze erhöht und Besteue-

lungstatbestände so verändert, dass sie auch mehr Lenkungswirkung im Sinne des Umweltschutzes enthalten. Mit fortschreitender Inflation wird die ökologische Lenkungswirkung im Zeitverlauf zwar grundsätzlich schwächer, dafür werden ökologische Aspekte im Bereich der Energiebesteuerung aber auf andere Weise, z. B. bei der Treibhausgasquote für Kraftstoffe, berücksichtigt und umgesetzt.

c) Energie- und Klimafonds (EKF)*

Mit dem Gesetz zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKF) vom 8. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1807), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2431) geändert wurde, wurde ein finanzieller Rahmen für die Durchführung energie- und klimapolitischer Maßnahmen geschaffen. Einzelne Maßnahmen, die durch den EKF finanziert werden, werden in den jeweiligen Sektoren behandelt und modelliert. Dazu gehören insbesondere die aus dem Haushaltstitel „Förderung der rationellen und sparsamen Energieverwendung - „Energieeffizienzfonds““ finanzierten Maßnahmen. Dieser wurde 2011 etabliert und wird aus dem Sondervermögen EKF gespeist. Ziel des Energieeffizienzfonds ist es, mittels unterschiedlicher Maßnahmen vorhandene Energieeinsparpotenziale auszuschöpfen und dadurch einen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs und zur Steigerung der Energieeffizienz zu leisten. Die Mittelausstattung des Energieeffizienzfonds wurde seit 2011 kontinuierlich erhöht und beträgt für 2018 rund 653 Mio. Euro. Die mit dem Energieeffizienzfonds zu adressierenden Zielgruppen sowie die Ausrichtung der daraus finanzierten Maßnahmen wurden bereits im *Energiekonzept* der Bundesregierung von 2010 skizziert. Danach sollen mit dem Titel sowohl private Verbraucher als auch die Wirtschaft und Kommunen angesprochen werden, ihre Potenziale zur Energie- und Stromeinsparung zu heben und damit auch ihre Energiekosten langfristig zu senken.

d) Nationale Klimaschutzinitiative (NKI)*

Mit der Nationalen Klimaschutzinitiative initiiert und fördert das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit seit 2008 zahlreiche Projekte, die einen Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen leisten. Die Finanzierung der NKI erfolgt über Mittel des EKF (s.o.). Ihre Programme und Projekte decken ein breites Spektrum an Klimaschutzaktivitäten ab: von der Entwicklung langfristiger Strategien bis hin zu konkreten Hilfestellungen und investiven Fördermaßnahmen soll die Nationale Klimaschutzinitiative zu einer Verankerung des Klimaschutzes vor Ort beitragen. Hauptzielgruppen der NKI sind die Kommunen, die Wirtschaft und Verbraucher sowie Schulen und Bildungseinrichtungen. Zwei der größten, aus der NKI finanzierten, investiven Maßnahmen sind die Förderung von Kälte- und Klimaanlageanlagen und die Förderung von Mini-KWK-Anlagen. Diese werden im Sektor Industrie & Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sowie im Gebäudesektor behandelt und modelliert (siehe Abschnitt 2.7.5 und 2.7.3). Darüber hinaus werden durch die „Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld“, kurz „Kommunalrichtlinie“ vielfältige Klimaschutzprojekte, Energieberatungen, Klimaschutzkonzepte sowie Personalstellen im Klimaschutzmanagement in Kommunen gefördert. Seit Bestehen der Richtlinie wurden bis Ende 2018 mehr als 14.500 Projekte in über 3.000 Kommunen mit rund 632 Mio. Euro gefördert. Gefördert werden im Rahmen der Kommunalrichtlinie Beratungsleistungen, die Erstellung von Klimaschutzkonzepten und das Klimaschutzmanagement sowie investive Klimaschutzmaßnahmen beispielsweise im Bereich der Beleuchtung, Mobilität (Radverkehr), Gebäudeklimatisierung oder Rechenzentren.

Im April 2016 wurde der "Förderaufruf für kommunale Klimaschutz-Modellprojekte" im Rahmen der NKI veröffentlicht. Im Rahmen dieses Förderaufrufs sind mittlerweile 35 Projekte aus den Förderwettbewerben der Jahre 2016, 2017 und 2018 mit einem Fördervolumen von rund 87 Mio. Euro bewilligt worden. Der Förderaufruf entfaltet in mehreren Sektoren seine Wirkung aufgrund der Heterogenität ist eine Einzelmaßnahmenbewertung jedoch nicht durchführbar.

e) Wettbewerbliche Ausschreibungen für Stromeffizienz (STEP up!) *

Das im *Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)* enthaltene sektorübergreifende Instrument der wettbewerblichen Ausschreibungen ist ein Mechanismus zur markt- und transaktionsorientierten Verteilung von Fördermitteln. Die Grundidee ist, das zur Verfügung gestellte Budget durch einen Ausschreibungsmechanismus möglichst kosteneffizient einzusetzen. Für die Pilotphase von Juni 2016 bis Ende 2018 sind sechs Ausschreibungsrunden vorgesehen, für die insgesamt rund 300 Mio. Euro Fördermittel zur Verfügung stehen. Die wettbewerblichen Ausschreibungen richten sich grundsätzlich an alle Akteure und Sektoren. Der Fokus des Instruments lag bisher nur auf dem Strombereich (STEP up! - STromEffizienzPotenziale nutzen). Im MMS werden daher auch nur die Wirkungen auf den Stromverbrauch berücksichtigt. Im Rahmen des Programms werden entsprechende Rahmenbedingungen und Kriterien gesetzt, aufgrund derer sich die Akteure mit konkreten Maßnahmenvorschlägen bewerben können (offene Ausschreibung). Im Rahmen von geschlossenen Ausschreibungen sollen darüber hinaus spezifische Bereiche mit bekannten hohen Potenzialen und bekannten Hemmnissen adressiert werden. Prinzipiell können sowohl Einzelprojekte, d.h. Maßnahmen, die der Antragsteller bei sich selbst durchführt, als auch Sammelprojekte, d.h. Umsetzung gebündelter gleichartiger Maßnahmen durch einen sogenannten Projektbündler, beantragt werden. Den Zuschlag erhalten die Maßnahmen mit den besten Kosten-Nutzen-Verhältnissen (Förder-Euro pro eingesparter kWh). Die Quantifizierung dieser übergeordneten Maßnahme erfolgt in den Sektoren, die grundsätzlich von STEP up! adressiert werden (Industrie, GHD und private Haushalte).

f) Pilotprogramm Einsparzähler*

Durch neue Informationstechnologien wird es möglich, nicht nur den Gesamtenergieverbrauch in einem privaten Haushalt, Gebäude oder Unternehmen zu messen, sondern auch den Energieverbrauch einzelner Geräte, Anlagen oder Anlagenteile. Von diesen Möglichkeiten macht das Pilotprogramm „Einsparzähler“ Gebrauch, das im Mai 2016 gestartet und bis Dezember 2018 befristet ist. Auf Fachebene des BMWi ist eine Fortsetzung der Maßnahme nach 2018 beabsichtigt. Es richtet sich an Dienstleister, die bei ihren Kunden IT-Pilotprojekte zum Sparen von Strom, Gas, Wärme oder Kälte mittels „smarter“ Lösungen (Smart „Home“ / „Building“ / „Industry“) durchführen wollen. Mit einer Kombination aus Hard- und Software wird der Energieverbrauch von Bestandsgeräten beim Kunden digital erfasst und mit innovativen Mehrwertdiensten für Effizienz verknüpft. Allen Projekten gemeinsam ist, dass die Energieeinsparung vorher und nachher gemessen und die resultierenden Energieeinsparungen in Kilowattstunden und in Euro ausgewiesen werden. Die erzielte Energieeinsparung wird im Rahmen des Programms dann anteilig gefördert. Die Antragstellung erfolgt über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Projekte werden mit bis zu einer Mio. Euro pro Projekt gefördert. Die Quantifizierung des Programms erfolgt jeweils in den Sektoren, in denen im Rahmen des Programms Projekte durchgeführt werden können. Nach Ablauf des Pilotvorhabens wird bei der Quantifizierung der Maßnahme von einem konstanten jährlichen Programmvolumen und mit zunehmender Verbreitung von „smarten“ Zählern und ähnlichen „Einsparzähler“-Produkten in Haushalten, Gebäuden und Industrie eine steigende Rate von digitalen Effizienzdienstleistungen ausgegangen.

2.6.2. Ordnungsrecht

g) Mindesteffizienzstandards – EU-Ökodesign-Richtlinie*

Die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG (vormals Richtlinie 2005/32/EG) stellt den Rechtsrahmen für die Festlegung von Mindesteffizienzstandards für energieverbrauchsrelevante Produkte, welche neu auf den europäischen Binnenmarkt kommen, dar. Die Richtlinie 2009/125/EG ist durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) in der Fassung vom 25.11.2011

in deutsches Recht umgesetzt worden. Die Mindesteffizienzstandards werden nicht durch die Richtlinie selbst, sondern erst durch die auf ihrer Grundlage erlassenen EU-Durchführungsverordnungen festgelegt. Diese EU-Durchführungsverordnungen werden direkt in das nationale Recht der Mitgliedsstaaten übersetzt. Die festgelegten Anforderungen sind eine der Voraussetzungen, damit das Produkt die CE-Kennzeichnung tragen und in der EU auf den Markt gebracht oder in Betrieb genommen werden darf. Die Anforderungen werden auf Grundlage einer technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Analyse festgelegt. Hierzu wird für jede Produktgruppe eine Vorstudie im Auftrag der Europäischen Kommission durchgeführt, die eine Marktanalyse und eine technische Analyse der Produkte beinhaltet. Wird nach dieser Vorstudie eine Regulierung als sinnvoll und möglich erachtet, wird ein Impact Assessment zur Vorbereitung der Regulierung durchgeführt. Die Europäische Kommission hat auch die Möglichkeit, freiwillige Selbstvereinbarungen der Industrie als Alternative zu ordnungsrechtlichen Maßnahmen anzuerkennen. Im MMS werden die wichtigsten Durchführungsmaßnahmen, die bis zum 31.8.2018 beschlossen wurden, quantifiziert. Die Quantifizierung erfolgt in dem Sektor, dem die Produktgruppe jeweils zuzuordnen ist.

Tabelle 16: Übersicht Ökodesign-Richtlinie: Umsetzungsstand und Modellierung

Produktgruppe	Vorstudie abgeschlossen	Verordnung (verbindlich ab)	Impact Assessment	Zuordnung		
				Industrie	GHD	Haushalte
Los- Einfache Set Top Boxen	ja	25.02.2010	veröffentlicht			MMS
Los 1 Boiler und Kombiboiler	ja	26.09.2015	veröffentlicht	MMS	MMS	MMS
Los 2 Warmwasserbereiter	ja	26.09.2015	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 3 PC und Computermonitore	ja	01.07.2014	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 4 Bildgebende Geräte	ja	freiwillig	veröffentlicht			
Los 5 Konsumelektronik: Fernseher	ja	07.01.2010	veröffentlicht			MMS
Los 6 Standby und Schein-aus- (off-mode) Verluste	ja	07.01.2010	veröffentlicht			MMS
Los 7 Externe Stromversorgungseinheiten	ja	27.04.2010	veröffentlicht			
Los 8 Bürobeleuchtung	ja	13.04.2010		MMS	MMS	
Los 9 Straßenbeleuchtung	ja	13.04.2010		MMS	MMS	
Los 10 Klimageräte	ja	01.01.2013	veröffentlicht			MMS
Los 10 Kleinventilatoren	ja	01.01.2013	veröffentlicht			
Los 10 Lüftungen	ja	01.01.2016				
Los 11 Elektromotoren (0,75kW - 200kW)	ja	12.08.2009	veröffentlicht	MMS	MMS	
Los 11 Umwälzpumpen	ja	01.01.2013	veröffentlicht	MMS	MMS	
Los 11 Ventilatoren	ja	01.01.2013	veröffentlicht	MMS	MMS	
Los 11 Wasserpumpen	ja	01.01.2013	veröffentlicht	MMS		
Los 12 Gewerbliche Kühl- u. Tiefkühlgeräte	ja				MMS	
Los 13 Haushaltskühl- und Gefriergeräte	ja	01.07.2010	veröffentlicht			MMS
Los 14 Haushaltsgeschirrpülmaschinen	ja	01.12.2011	veröffentlicht			MMS
Los 14 Haushaltswaschmaschinen	ja	01.12.2011	veröffentlicht			MMS
Los 15 Festbrennstoffkessel	ja	10.08.2015	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 16 Wäschetrockner	ja	01.11.2013	veröffentlicht			MMS
Los 17 Staubsauger	ja	01.09.2014	veröffentlicht			
Los 18 Komplexe Settop boxen	ja	freiwillig	veröffentlicht			MMS
Los 19 Haushaltsbel. "nicht gerichtet"	ja	01.09.2009	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 19 Haushaltsbel. "Reflektorlampen"	ja	01.01.2013	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 20 Einzelraumheizgeräte	ja	10.08.2015	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 21 Zentralheizungsprodukte	ja	30.11.2016	veröffentlicht		MMS	MMS
Los 22 Haushalts- und gewerbliche Öfen	ja	20.02.2015				MMS
Los 23 Kochfelder und Grills	ja	20.02.2015				
Los 24 Waschmaschinen, Trockner gewerblich	ja					
Los 25 Kaffeemaschinen für nicht gewerbliche Zwecke	ja	01.01.2015				
Los 26 Vernetzte Standby-Verluste	ja	01.01.2015				
ENTR Bildgebende Geräte in der Medizin	nein					
ENTR Los 1 Kühl- und Gefriergeräte	ja	01.07.2015		MMS		
ENTR Los 2 Transformatoren	ja	01.07.2015				
ENTR Los 3 Geräte zur Ton- und Bildverarbeitung	ja					
ENTR Los 4 Feuerungsanlagen u. Öfen	ja					
ENTR Los 5 Werkzeugmaschinen	ja					
ENTR Los 6 Klima- und Lüftungsanlagen > 12kW	ja	01.01.2016		MMS		
ENTR Los 7 Dampfkessel	ja					
ENTR Los 8 Stromkabel	ja					
ENTR Los 9 Server	ja					
Los 27 Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)	ja					
Los 28 Abwasserpumpen	ja					
Los 29 Pumpen für Schwimmbäder, Brunnen etc.	ja					
Los 30 Antriebe (außerhalb Verordnung 640/2009)	ja					
Los 31 Kompressoren (außerhalb Verordnung 640/2009)	ja					

Relevanz	
Sehr hoch (>10%)	
Hoch (5-10%)	
Mittel (1-5%)	
Niedrig (<1%)	
Per Definition ausgeschlossen	
Keine Daten	

Quelle: basierend auf <http://www.eup-network.de> und <https://www.ecee.org/ecodesign/>

Anmerkung: „Relevanz“ wird anhand des Strom bzw. Brennstoffbedarfs des jeweiligen Produkts bewertet. Dieser wird prozentual als Anteil am gesamten Strom bzw. Brennstoffbedarf des jeweiligen Sektors angegeben.

h) Energielabel – EU-Verordnung zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung*

Die seit dem 1.8.2017 geltende EU-Verordnung zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung (EU) 2017/1369 löst die zuvor geltende Richtlinie 2010/30/EU zur Energieverbrauchskennzeichnung ab. Diese EU-Rahmenverordnung gilt in jedem EU-Mitgliedsstaat unmittelbar und muss anders als bei Richtlinien nicht in nationales Recht umgesetzt werden. Die bisherigen Verordnungen zu den verschiedenen Produktgruppen in Form von delegierten Rechtsakten, die die Details zu den Anforderungen an die Etiketten regeln, bleiben zwar vorerst in Kraft, werden aber schrittweise durch produktspezifische Verordnungen ersetzt. Insbesondere ist eine Rückkehr zum A-G Label (Pluszeichen wie A+++ werden künftig nicht mehr zugelassen), eine Neubewertung der Effizienzklassen (Neuskalierung) für solche Produktgruppen sowie der Aufbau einer Produktdatenbank vorgesehen.

Im MMS werden alle Gerätegruppen berücksichtigt, für die mit Stichtag 31.8.2018 eine Pflichtkennzeichnung unter dieser Regelung besteht. Die Quantifizierung erfolgt wie bei den Mindeststandards in dem Sektor, dem die Produktgruppe jeweils zuzuordnen ist. Derzeit betreffen die meisten der delegierten Verordnungen den Sektor private Haushalte.

- i) NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 über nationale Emissionsminderungsverpflichtungen für bestimmte Luftschadstoffe

Die im Dezember 2016 beschlossene, neue NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 über nationale Emissionsminderungsverpflichtungen für bestimmte Luftschadstoffe schreibt u.a. eine Reduzierung der NH₃-Emissionen ggü. 2005 um 29 % Prozent bis 2030 vor. Dies wird wie die Umsetzung der vorgenannten Maßnahmen insgesamt zu geringeren Stickstoffemissionen führen. Dadurch vermindern sich auch die indirekten Lachgasemissionen aus Stickstoffdepositionen, die durch die Landwirtschaft verursacht werden. Diese Reduzierung ist durch die konsequente Umsetzung verschiedener Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft erreichbar, u.a. die Abdeckung von Güllelagern, die sofortige Einarbeitung oder Injektion von Wirtschaftsdüngern, der Einsatz von Ureaseinhibitoren bei Einsatz mineralischer Harnstoffdünger oder der verstärkte Einsatz von Abluftfiltern in der Schweine- und Geflügelhaltung. Viele dieser Maßnahmen sind bereits rechtlich vorgeschrieben, einerseits über die aktuelle Düngeverordnung (emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, Einsatz von Ureaseinhibitoren) oder über das Immissionsschutzrecht (bauliche Abdeckung von Gülle- und Gärrestlagern in genehmigungspflichtigen Anlagen, Ländererlasse zur Stallabluftreinigung in großen Schweinemastanlagen). Weiterhin werden bestimmte, emissionsmindernde Maschinen und Anlagen über Investitionshilfen gefördert.

2.6.3. Flankierende und informatorische Instrumente

- j) LED-Leitmarktinitiative*

Die Nutzung von LED zur Beleuchtung hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Insbesondere private Haushalte greifen verstärkt auf diese kosten- und energieeffiziente Möglichkeit der Beleuchtung zurück. Allerdings führen Informationsdefizite und Personalengpässe in vielen Kommunen dazu, dass bei der Außen- und Straßenbeleuchtung aber auch Innenbeleuchtung das erhebliche Potenzial der LED nach wie vor ungenutzt bleibt. Die LED-Leitmarktinitiative unterstützt seit 2008 die breite Markteinführung der LED.

- k) Freiwillige Produktkennzeichnungen für energierelevante Produkte (Blauer Engel, Energy Star, EU-Umweltzeichen)*

Seit 2009 ist Klimaschutz ein Schwerpunkt des Umweltzeichens Blauer Engel. Mittlerweile gibt es für mehr als 60 Produktkategorien entsprechende Vergabekriterien. Diese umfassen einige kleine Haushaltsgeräte (Staubsauger, Toaster, Wasserkocher, Dunstabzugshauben und Haartrockner), Unterhaltungselektronik sowie Informationstechnik bis hin zur unterbrechungsfreien

Stromversorgung. Anders als beim EU-Energielabel erfolgt keine Unterteilung in Effizienzklassen, sondern das jeweilige Zeichen wird für alle Geräte vergeben, die einen festgelegten Mindeststandard erfüllen.

l) Förderung von Contracting*

Energiespar-Contracting ist eine innovative Energiedienstleistung, die mit umfassenden Lösungskonzepten die Energieeffizienz z.B. von Gebäuden steigert. Um das große Potential dieses Instruments besser auszuschöpfen, gilt es noch eine Reihe von Hemmnissen zu überwinden. Deshalb wurden zum 1. Januar 2015 verschiedene Maßnahmen eingeleitet. Dazu gehört insbesondere die seit dem 1. Januar 2015 geltende Förderrichtlinie Einsparcontracting (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, BAFA), mit der die Beratung von Kommunen sowie kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zur Anwendung des Energieeinspar-Contractings unterstützt wird, sowie der „Bund-Länder-Dialog Contracting“ (siehe Buchstabe n)).

m) Stärkung der Forschung für mehr Energieeffizienz*

Die Ausgaben im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung für Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich Energieeffizienz wurden in den letzten Jahren erheblich gesteigert. Der diesbezügliche Mittelabfluss stieg von rd. 110 Mio. Euro im Haushaltsjahr 2006 auf rd. 382 Mio. Euro im Haushaltsjahr 2017. Im Vergleich zu den übrigen im Energieforschungsprogramm adressierten Themenfeldern konnten damit überdurchschnittliche Zuwachsraten verzeichnet werden. Eine Übersicht über die Maßnahmen zur Forschungsförderung im Bereich Energieeffizienz gibt der jährliche Bundesbericht Energieforschung.¹⁰

n) Verbesserung der Rahmenbedingungen für Energieeffizienzdienstleistungen*

Eine Vielzahl nicht-monetärer Hemmnisse verhindert die Realisierung rentabler Investitionen in Energieeffizienz und Einspartechnologien. Gemeinsam mit den betroffenen Akteuren soll hieran und an der Verbesserung der Rahmenbedingungen für solche Investitionen gearbeitet werden. Ziel ist die Überwindung bestehender nicht-monetärer Hemmnisse und die Förderung des Marktes für Energiedienstleistungen. Zu diesem Zweck hat die Bundesregierung eine Informationsoffensive gestartet und gemeinsam mit den Ländern eine Arbeitsgruppe „Contracting“ eingerichtet. Die Auftaktveranstaltung für den Bund-Länder-Dialog Contracting fand im November 2015 statt. In den folgenden Jahren 2016, 2017 und 2018 umfasste das Dialogangebot unter anderem mehrere Fachworkshops, das Jahrestreffen, Vernetzung von Akteuren aus den Ländern und Erstellung von Praxishilfen wie z.B. Mustervertrag, Berechnungshilfen und den Leitfaden Energiespar-Contracting. Im Rahmen des Dialogangebots werden zudem Pilotregionen (NRW, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz) vorgestellt werden. Ziel ist daneben die Implementierung regionaler Kompetenzstellen für Contracting als Anlaufstelle für Kommunen und die öffentliche Hand.

o) Neue Finanzierungskonzepte

Auch eine Reihe monetärer Hemmnisse führen dazu, dass Investitionen in hochrentable Effizienzmaßnahmen unterbleiben. Dazu gehören unter anderem das Problem gebundener Liquidität sowie betriebliche Anforderungen hinsichtlich der Amortisationszeit. Zudem fallen die Transaktionskosten bei der Bewertung und Finanzierung von Energieeffizienzprojekten, bedingt durch die Kleinteiligkeit der Maßnahmen und der fehlenden Standardisierung bei der Projektbewertung oft prohibitiv hoch aus. Der Dialogprozess zu diesen Vorhaben wurde durch die Gründung einer Arbeitsgruppe „innovative Finanzierungsinstrumente“ im Rahmen der Plattform Energieeffizienz beim BMWi gestartet. Aus der Arbeitsgruppe heraus entstand das Projekt „Asset Class

¹⁰ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2018.pdf>

Energieeffizienz“, welches zu einer verbesserten Standardisierung von Projektbewertungsprozessen und einer vermehrten Bündelung von Energieeffizienzprojekten führen soll. Das Projekt wird im 1. Halbjahr 2019 Arbeitsergebnisse vorlegen und diese in der Plattform Energieeffizienz vorstellen. Darüber hinaus ist es das Ziel, die Einführung von Umwelt- und Energiemanagementsystemen (ISO 50 001, EMAS) in Unternehmen zu beschleunigen, die Anreize dafür zu verbessern, niederschwellige Angebote insbesondere für KMU zu entwickeln und umzusetzen sowie das Normensystem klimagerecht weiterzuentwickeln.

p) Bündelung und Qualitätssicherung der Energieberatung

Eine hochqualifizierte Beratung ist wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Erschließung von Effizienzpotenzialen und damit auch zur Minderung von THG-Emissionen. Um dies sicherzustellen, werden existierende Beratungsangebote in Zusammenarbeit mit allen Stakeholdern auf ihre Verständlichkeit, Wirksamkeit sowie auf weitere Anforderungen überprüft und, soweit möglich, Beratungsangebote für die jeweiligen Handlungsfelder zusammengeführt. Darüber hinaus werden bestehende Qualitätssicherungsinstrumente der Energieberatung auf weitere Zielgruppen ausgeweitet und, so weit wie möglich, für die jeweiligen Handlungsfelder vereinheitlicht. Im Dezember 2017 wurde der zulässige Energieberaterkreis erweitert. Die Förderung kann nun von allen Handwerksbetrieben, Schornsteinfegern oder Energieversorgern wie Stadtwerken mit entsprechender Qualifikation - wie bisher auch - beantragt werden. Um die Zulassungsregeln für Energieberater einheitlich zu gestalten, wird unter Berücksichtigung bestehender Prüfungen, eine einheitliche Qualifikationsprüfung für Energieberater entwickelt, die die bisherigen Zulassungsanforderungen in den Förderprogrammen erweitern soll. Dies wäre ein wichtiger Schritt zu einem bundeseinheitlichen Qualitätsmaßstab für Energieberatungen und zu mehr Transparenz für den Energieverbraucher.

q) Entwicklung von Kennzahlen und Benchmarks

Um Energie effizienter nutzen zu können, müssen zunächst die bisherigen Energieverbräuche bekannt, die Baseline definiert und die künftigen Energieverbräuche messbar sein. Dazu können anerkannte Vergleichsgrundlagen, Methoden, Kennzahlen und Benchmarks und eine Kompletierung des Instrumentenmixes zur Erhebung und Nutzung dieser Daten dienen. Die Umsetzung der Maßnahme erfolgt durch die Förderung von FuE-Vorhaben zur Entwicklung und Kommunikation von Vergleichskennzahlen, Standards und Benchmarks in den Sektoren private Haushalte, GHD sowie Industrie.

r) Energie- und Ressourceneffizienz in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)

Einerseits leistet der technologische Fortschritt in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz in vielen Anwendungsbereichen und die Digitalisierung tritt zunehmend in die Rolle des „Enablers“ für Ressourceneffizienz. Andererseits führt die weiterhin anhaltende Nutzungsintensivierung verbunden mit wachsenden Endgerätebeständen und IT-Infrastruktur zu einer Steigerung der Ressourcen- und Stromverbräuche und damit auch der Kühlbedarfe der IKT. Um diesem Trend durch geeignete Maßnahmen entgegenzuwirken und die Nutzung der IKT effizienter und damit klimaschonender zu gestalten, sollen auch bestehenden Effizienzpotenziale im Bereich IKT-Nutzung stärker adressiert und ausgeschöpft werden. Basierend auf einer umfassenden Bestandsaufnahme des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland bis 2025 (Fraunhofer IZM & Borderstep 2015) wurde zunächst ein Dialogprozess mit relevanten Akteuren angestoßen, um geeignete Maßnahmen und Instrumente zur Effizienzsteigerung im IKT-Bereich zu identifizieren. Vorgesehen ist außerdem die Durchführung von Referenz- und Demonstrationsprojekten.

s) Unterstützung der Marktüberwachung*

Im Rahmen des Energieeffizienzfonds (als Teil des Energie- und Klimafonds; siehe Abschnitt 2.6.1) wird die Marktüberwachung der Bundesländer im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Ökodesign- und Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie für energierelevante Produkte unterstützt. Das Projekt sieht u.a. die Weiterentwicklung von Produktprüfungen und die Identifizierung von Fehlerschwerpunkten bei ausgewählten Produktgruppen vor. Die Umsetzung dieser Maßnahme liegt bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

2.7. Maßnahmen in einzelnen Sektoren

2.7.

2.7.1. Stromsektor / Energiewirtschaft

2.7.1.1. Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

a) EU- Emissionshandelssystem*

Die CO₂-Preise (Preis für ein Emissionszertifikat) werden analog zur Empfehlung der Europäischen Kommission angewandt, siehe Abschnitt 2.6 zu übergreifenden Instrumenten.

b) EEG

Mit dem EEG 2017 wurden Ausbaupfade für die wichtigsten erneuerbaren Energieträger definiert. Diese sollen größtenteils durch Ausschreibungen der Förderung erreicht werden.

Der Ausbaupfad für Wind an Land, der auch dem Ausschreibungsvolumen entspricht, beträgt ab 2020 jährlich 2.900 MW brutto. Die installierte Leistung von Windenergieanlagen auf See soll auf 15.000 Megawatt im Jahr 2030 steigen. Der jährliche Brutto-Zubau von Solaranlagen soll weiterhin 2.500 MW betragen. Der jährliche Brutto-Zubau von Biomasseanlagen, der auch dem Ausschreibungsvolumen entspricht, beträgt in den Jahren 2020-2022 jährlich 200 MW.

Für das Jahr 2020 wird basierend auf den historischen Zubauzahlen und den noch ausstehenden Ausschreibungen die erwartbare installierte Leistung ermittelt. Für die folgenden Stützjahre wird die installierte Leistung basierend auf dem oben genannten Brutto-Zubau berechnet. Für das MMS soll damit ein Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von etwa 40 bis 45 Prozent im Jahr 2025 und 55 bis 60 Prozent im Jahr 2035 erreicht werden. Das im Koalitionsvertrag vereinbarte Ziel eines EE-Anteils von 65 Prozent in 2030 wird im MMS noch nicht erreicht, weil dieser erst in einer zukünftigen Novelle des EEG rechtlich umgesetzt werden muss. Aus dem gleichen Grund werden die für das Jahr 2020 im Koalitionsvertrag vorgesehenen Sonderausschreibungen im MMS noch nicht berücksichtigt.

c) Förderung von KWK-Anlagen

Das KWKG wurde zuletzt im Juli 2017 novelliert. In den letzten Jahren wurde die KWK-Förderung als Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele auf hocheffiziente Anlagen ausgerichtet, wenn diese bis zum 31.12.2022 in Betrieb gehen. KWK-Anlagen, die eine kohlebefeuerte KWK-Anlage ersetzen, erhalten einen Bonus. Außerdem wird mit dem Innovationspiloten erstmals eine Förderung für innovative KWK-Systeme ausgeschrieben (z.B. Solarthermieanlagen oder Wärmepumpen). Das KWK-Ausbauziel wurde umgestellt auf eine Mindestenergieerzeugung von 110 TWh der jährlichen Nettostromerzeugung bis 2020 und 120 TWh bis 2025. Neben dem KWK-Gesetz bringt auch die Mini-KWK-Förderung einen Beitrag zur Erreichung des KWK-Ausbauziels (vergleiche Abschnitt 2.7.3.1).

Für das MMS des Projektionsberichts 2019 soll die Zubauliste der KWK-Anlagen überprüft werden und um neue Projekte aktualisiert werden. Im MMS wird von der aktuellen Ausgestaltung des KWKG ausgegangen (keine Förderung für Neuanlagen, die nach 2022 in Betrieb gehen).

2.7.1.2. Ordnungsrecht

d) Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft

Am 4. November 2015 hat das Bundeskabinett die einmalige Überführung mehrerer Braunkohlekraftwerke in eine Sicherheitsbereitschaft beschlossen (geplante Emissionsminderung von 11 bis 12,5 Mt CO₂). Die Stilllegung der betroffenen Kraftwerksblöcke wird im MMS berücksichtigt.

2.7.1.3. Flankierende Instrumente

Flankierende Instrumente wie das Mieterstrommodell, die Förderung der Abwärmenutzung und die Förderung von PV-Batteriespeichern werden in der Quantifizierung berücksichtigt, können jedoch nicht einzeln quantifiziert werden.

2.7.2. Verkehr

2.7.2.1. Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

a) Ausweitung Lkw-Maut auf alle Bundesfernstraßen und Anpassung der Mautsätze

Die Richtlinie 1999/62/EU, zuletzt geändert durch Richtlinie 2013/22/EU, setzt den Rahmen für die Gebührenerhebung für die Benutzung von Straßen durch schwere Nutzfahrzeuge in den Mitgliedstaaten. Seit 2005 wird in Deutschland für Lkw ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 12 t eine Lkw-Maut für Fahrten auf Autobahnen erhoben. Die Lkw-Maut wurde sukzessive in den Jahren 2012 und 2015 auf Teile der Bundesstraßen (insgesamt ca. 2.300 km) sowie im Oktober 2015 auf Lkw mit zulässigem Gesamtgewicht ab 7,5 t ausgeweitet.

Das "Vierte Gesetz zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes" vom 27. März 2017 (BGBl. I S. 564), welches die Ausweitung der Lkw-Maut auf alle Bundesstraßen zum 1. Juli 2018 regelt, ist am 31. März 2017 in Kraft getreten. Am 15.5.2018 hat das Bundeskabinett zudem einen Gesetzentwurf beschlossen, welcher die Anpassung der Mautsätze ab dem 1.1.2019 gemäß dem aktuellen Wegekostengutachten vorsieht. Dadurch werden die zuletzt im Januar 2015 geänderten Mautsätze für Lkw angepasst. Für die meisten Fahrzeuge geht dies mit einer Erhöhung der Mautsätze einher; elektrische Lkw sind nach dem Gesetzentwurf von der Maut befreit¹¹.

Fernbusse und Lkw mit zulässigem Gesamtgewicht <7,5 t unterliegen weiterhin nicht der Lkw-Maut.

b) Förderung Elektromobilität

Die Bundesregierung hat sich gemeinsam mit der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität (NPM), in der Industrie, Gewerkschaften und Wissenschaft vertreten sind, ehrgeizige Ziele gesetzt. Deutschland soll sich zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität entwickeln. Es ist nach wie vor das Ziel der Bundesregierung, zügig möglichst viele Elektroautos auf die Straße zu bringen.

Aufbauend auf die seit 2009 bestehenden Fördermaßnahmen hat das Bundeskabinett im Mai 2016 ein zusätzliches Marktanzreizprogramm im Umfang von rd. 1 Mrd. Euro zur Förderung der Elektromobilität verabschiedet. Es wird eine Kaufprämie gezahlt, die je zur Hälfte von der Au-

¹¹ Am 1. Januar 2019 ist das "Gesetz zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes und zur Änderung weiterer straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften" vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2251) in Kraft getreten, mit dem die Mautsätze an das Wegekostengutachten 2018-2022 angepasst werden. Elektro-Lkw werden zunächst unbefristet von der Lkw-Maut befreit (dazu gehören reine Batterieelektrofahrzeuge, von außen aufladbare Hybridelektrofahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge). Zudem wurde eine bis Ende 2020 befristete komplette Mautbefreiung für mit Erdgas betriebene Fahrzeuge eingeführt (Compressed Natural Gas/CNG sowie Liquefied Natural Gas/LNG). Ab 2021 gilt für Erdgas-Fahrzeuge ein reduzierter Mautsatz, der 1,1 Cent/km unter dem Mautsatz für vergleichbare Euro VI-Fahrzeuge mit Diesel-Antrieb liegt. Die Wirkung dieser Maßnahme ist aufgrund ihres Inkrafttretens nach dem 31.8.19 nicht Teil der Berechnung.

tomobilindustrie und vom Bund finanziert wird. Diese beträgt für reine E-Pkw 4.000 Euro, für Plug-In-Hybride 3.000 Euro. Die Gesamtfördersumme ist begrenzt auf 1,2 Mrd. Euro (600 Mio. Euro Bund, 600 Mio. Euro Automobilindustrie) und hat eine Laufzeit bis längstens 2019 (Windhundverfahren), beginnend nach einem entsprechenden Beschluss der Bundesregierung im Mai 2016. Die Förderobergrenze für das jeweilige Basismodell beträgt 60.000 Euro netto (Listenpreis). Die hälftige Förderung durch den Bund hängt von einer entsprechenden Förderung durch den Hersteller ab. Des Weiteren soll der Anteil der durch die Bundesregierung in ihrem Geschäftsbereich zu beschaffenden Elektrofahrzeuge auf mindestens 20 Prozent erhöht werden. Der vom Arbeitgeber zur Verfügung gestellte Strom zum Beladen von E-Fahrzeugen der Mitarbeiter stellt keinen geldwerten Vorteil mehr dar.

Die Ladesäulenverordnung schafft verbindliche Steckerstandards für die Ladeinfrastruktur zur Elektromobilität. Darüber hinaus regelt sie, dass die Bundesnetzagentur für die Einhaltung der technischen Anforderungen und die Registrierung aller öffentlich zugänglichen Ladepunkte in einem verlässlichen Register verantwortlich ist. Die Verordnung trat am 10. März 2016 in Kraft. Mit der ersten Änderung der Ladesäulenverordnung vom 1.6.2017 wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/94/EU vollständig umgesetzt und das punktuelle Laden ohne Ladestromvertrag geregelt. Zudem sind im Strommarktgesetz Ladeinfrastrukturbetreiber den Letztverbrauchern gleichgestellt. Dadurch wird Rechtsklarheit in Bezug auf die energiewirtschaftlichen Pflichten der Betreiber erzielt.

Der Ausbau einer öffentlich zugänglichen Schnellladeinfrastruktur erfolgte bisher durch die Ausstattung der bewirtschafteten Rastanlagen auf den Bundesautobahnen mit Schnellladesäulen sowie im Rahmen der Förderprogramme der Schaufenster und Modellregionen Elektromobilität und durch das Forschungsprojekt „SLAM - Schnellladenetz für Achsen und Metropolen“. Die Bundesregierung hat im Rahmen des Maßnahmenbündels zur Elektromobilität vom Mai 2016 beschlossen, Mittel in Höhe von 300 Mio. Euro für den Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge zur Verfügung zu stellen. Ziel ist der Aufbau von mindestens 10.000 Normalladesäulen und 5.000 Schnellladesäulen bis 2020. Das BMVI hat eine entsprechende Förderrichtlinie veröffentlicht. Mit den ersten beiden Förderaufrufen aus dem Jahr 2017 wurden bisher (Stand 13.7.2018) Fördermittel in Höhe von knapp 55 Mio. Euro für rund 10.000 Normalladepunkte und 1.760 Schnelladepunkte bewilligt.

c) Stärkung öffentlicher Personenverkehr

Die Zuständigkeit für Planung, Ausgestaltung, Organisation und Finanzierung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) liegt bei den Ländern bzw. den Kommunen. Ungeachtet dessen unterstützt der Bund die Länder und Kommunen bei der ÖPNV-Finanzierung. Allein durch die Regionalisierungs- und Entflechtungsmittel sowie durch das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG)-Bundesprogramm leistet der Bund mehr als die Hälfte der öffentlichen Finanzleistungen für den ÖPNV. Mit der zwischen Bund und Ländern vereinbarten Erhöhung der Regionalisierungsmittel auf 8,2 Mrd. Euro im Jahr 2016 und der jährlichen Steigerungsrate von 1,8 Prozent für die Folgejahre bis einschließlich 2031 wird der Bund bis 2031 insgesamt 15,6 Mrd. Euro mehr als bisher zur Verfügung stellen.

Das GVFG-Bundesprogramm wird über 2019 hinaus fortgeführt. Der Koalitionsvertrag sieht als prioritäre Maßnahme die Anhebung der GVFG-Mittel auf 1 Mrd. € bis 2021 vor. Um dies zu realisieren, müssen sowohl Artikel 125c GG als auch das GVFG geändert werden. Der Entwurf für die dafür notwendige Änderung des Grundgesetzes (Art. 125 c) wurde am 2. Mai 2018 vom Kabinett beschlossen und befindet sich nun im parlamentarischen Verfahren. Außerdem erhalten die Länder gegenwärtig jährlich Kompensationszahlungen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden von rund 1,336 Mrd. Euro nach dem Entflechtungsgesetz (ÖPNV, aber auch kommunaler Straßenbau). Über die Mittelverwendung, die investiv sein muss, entscheiden

die Länder selbst. Nach der Übergangsvorschrift des Art. 143c GG laufen die Entflechtungsmittel zum 31. Dezember 2019 aus. Ab dem Jahr 2020 werden den Ländern stattdessen Anteile am Umsatzsteueraufkommen zur Verfügung gestellt. Nicht zuletzt unterstützt der Bund den ÖPNV durch Steuervergünstigungen (z. B. Umsatzsteuerermäßigung) sowie Ausgleichsleistungen (z. B. für die Beförderung Schwerbehinderter).

Zusätzlich wurde im Stromsteuergesetz zum 1.1.2018 eine Regelung eingeführt, wonach elektrischer Strom, der von elektrisch betriebenen Fahrzeugen im ÖPNV verwendet wird, steuerlich entlastet werden kann. Die Steuerermäßigung beträgt 9,08 Euro/Megawattstunde Strom bei einem Regelsteuersatz von 20,50 Euro/Megawattstunde.

d) Weiterführung der Förderung von Erd- und Flüssiggas bis 2026 bzw. 2022

Die Steuerbegünstigung für Erdgas und Flüssiggas wurde durch das Zweite Gesetz zur Änderung des Energiesteuer- und Stromsteuergesetzes über das Jahr 2018 hinaus verlängert. Die Steuerbegünstigung für Flüssiggas läuft 2022, die für Erdgas 2026 aus. Eine Abschmelzung erfolgt bei Flüssiggas über die Jahre 2019 bis 2022 um jährlich 20 Prozent, bei Erdgas über die Jahre 2024 bis 2026 um jährlich 25 Prozent.

2.7.2.2. Ordnungsrecht

e) Anpassung der Treibhausgasquote und Einführung eines Unterziels für fortschrittliche Kraftstoffe

Die Regelungen zur Treibhausgasquote wurden mit der 37. und 38. BImSchV sowie der Verordnung zur Anrechnung von Upstream-Emissionsminderungen (UERV) den im Jahr 2015 erlassenen EU-rechtlichen Vorgaben angepasst. Insbesondere zählen dazu folgende Änderungen:

- ▶ Strombasierte Kraftstoffe (Wasserstoff und Methan), welche ausschließlich mit erneuerbarem Strom nicht-biogenen Ursprungs hergestellt wurden, sind auf die Treibhausgasquote anrechenbar.
- ▶ Erneuerbarer elektrischer Strom, der in Straßenfahrzeugen mit Elektroantrieb verwendet wurde, kann auf die Treibhausgasquote auf Basis der durchschnittlichen THG-Emissionen des Strommix in Deutschland angerechnet werden (das Umweltbundesamt gibt den Wert für den Strommix jährlich im Bundesanzeiger bekannt).
- ▶ Zur Vermeidung indirekter Landnutzungsänderungen wird eine Obergrenze in Höhe von 5 Prozent für den Anteil konventioneller Biokraftstoffe im Straßenverkehr (bezogen auf den Energiegehalt) eingeführt. Konventionelle Biokraftstoffe oberhalb der Obergrenze werden wie fossile Kraftstoffe behandelt.
- ▶ Für fortschrittliche Kraftstoffe (d.h. u.a. Kraftstoffe aus erneuerbarem Strom sowie Kraftstoffe aus bestimmten Abfall- und Reststoffen und Lignozellulose) wird ein Unterziel eingeführt, beginnend im Jahr 2020 und ansteigend auf einen Anteil von 0,5 Prozent am Endenergiebedarf des Straßenverkehrs ab dem Jahr 2025.
- ▶ Der Basiswert, der für die Ermittlung der erforderlichen Treibhausgasminderung maßgeblich ist, wurde entsprechend den EU-Vorgaben von 83,3 auf 94,1 kg CO₂-Äquivalent pro Gigajoule angehoben.

- ▶ Der Geltungsbereich der Treibhausgasquote wird um weitere fossile Kraftstoffe, insbesondere Erdgas und Flüssiggas, erweitert. Außerdem ist biogenes Flüssiggas künftig auf die Quote anrechenbar.
- ▶ Upstream-Emissionsminderungen werden ab 2020 bis maximal 1,2 Prozentpunkte auf die Treibhausgasquote angerechnet.

Auf EU-Ebene setzt die Renewable Energy Directive (RED) den Rahmen für den Einsatz erneuerbarer Energien, auch im Verkehrssektor. Mit der RED II ist ein höherer Anteil an erneuerbaren Energien im Verkehr vorgesehen. Der Anteil konventioneller Biokraftstoffe darf gegenüber den im Jahr 2020 genutzten Mengen maximal um einen Prozentpunkt ansteigen (jedoch nur bis max. 7 Prozent Anteil am Endenergiebedarf des Verkehrs). Darüber hinaus ist ein Opt-Out für konventionelle Biokraftstoffe vorgesehen. Diese Regelung sieht vor, dass die Mitgliedstaaten die Quote von 14 Prozent in dem Umfang absenken dürfen, in dem sie eine Obergrenze für konventionelle Biokraftstoffe unterhalb von 7 Prozent festlegen. Deutschland beabsichtigt die konventionellen Biokraftstoffe nach Maßgabe des Status Quo zu fördern. Für Biokraftstoffe der sogenannten „1. Generation“ sollen zudem Obergrenzen gelten. Erneuerbarer Strom in E-Fahrzeugen und im Schienenverkehr soll mit einem höheren Faktor auf das Ziel anrechenbar sein. Auch strombasierte Kraftstoffe sind auf das Ziel anrechenbar. Für Biokraftstoffe aus Rohstoffen, die zu einer Umwandlung von Flächen mit hohem Kohlenbestand beitragen (z.B. Palmöl), ist ein Phase-Out bis 2030 geplant.

2.7.2.3. Flankierende Instrumente

f) Öffentliche Beschaffung von CO₂-armen Fahrzeugen / Elektrofahrzeugen

Die Bundesregierung hat eine Informationskampagne gemeinsam mit den Ländern gestartet mit dem Ziel, den Anteil von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben in den Fahrzeugflotten der öffentlichen Hand zu erhöhen. Seit Beginn des Jahres 2016 steht ein Informationspaket zur Beschaffung von Elektrofahrzeugen der Allianz für nachhaltige Beschaffung zur Verfügung. Mit dem im Mai 2016 verabschiedeten Marktanreizpaket zur Elektromobilität wurde zudem beschlossen, die bisher für die Fuhrparks der Bundesressorts geltende Bestandsquote für elektrisch betriebene Fahrzeuge von 10 Prozent auf 20 Prozent zu erhöhen.

g) Förderung alternativer Antriebe bei Bussen

Die Bundesregierung fördert – im Rahmen entsprechender Förderrichtlinien des BMU und des BMVI zur Elektromobilität – zahlreiche Projekte zur technologischen Weiterentwicklung bzw. Beschaffung von Elektro- und Hybridbussen mit dem Ziel, emissionsarme und emissionsfreie Fahrzeuge rascher im Markt zu etablieren.

Die Ende 2014 veröffentlichte Förderrichtlinie des BMU zur Anschaffung von Hybrid- und Plug-In-Hybrid-Bussen läuft bis Ende 2018 und umfasst ein Fördervolumen von knapp 10 Mio. Euro.

Mit der bis Ende 2021 laufenden Richtlinie des BMU zur Förderung der Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr vom März 2018 wurde die Förderung auf batterieelektrische Busse ausgeweitet. Batterieelektrische Fahrzeuge erhalten eine Förderung von 80 Prozent der beihilfefähigen Investitionsmehrkosten, Plug-In-Hybride und Ladeinfrastruktur werden mit 40 Prozent der Mehrkosten unterstützt. Beihilferechtlich genehmigt ist für die Förderrichtlinie bisher ein Gesamtvolumen von 155 Mio. Euro. Die Förderrichtlinie des BMVI zur Elektromobilität umfasst insbesondere Projekte zur technologischen Weiterentwicklung bzw. Beschaffung von reinen Elektrobussen und zum Aufbau der entsprechenden Ladeinfrastruktur.

h) Förderprogramm energieeffiziente Nutzfahrzeuge

Das Bundesverkehrsministerium (BMVI) hat Anfang Juni 2018 eine Förderrichtlinie für energieeffiziente und kohlenstoffdioxidarme Lkw vorgelegt. Demnach wird die Anschaffung von Lkw (>7,5 t zulässiges Gesamtgewicht) und Sattelzugmaschinen ab 7,5 t zulässiges Gesamtgewicht mit Erdgasantrieb (CNG), Antrieb mit verflüssigtem Erdgas (LNG) oder bestimmten Elektroantrieben (reine Batterieelektrofahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge) bis Dezember 2020 finanziell unterstützt. Bezuschusst werden die Investitionsmehrkosten, die erforderlich sind, um anstelle eines Lkw oder einer Sattelzugmaschine mit Dieselantrieb und der Schadstoffklasse Euro VI einen vergleichbaren Lkw mit einem der oben genannten Antriebe anzuschaffen. Der Zuschuss darf 40 Prozent der Investitionsmehrkosten nicht überschreiten, und wird pauschal festgelegt auf 8.000 Euro für Fahrzeuge mit Erdgasantrieb, 12.000 Euro für Fahrzeuge mit Flüssiggasantrieb, 12.000 Euro für E-Lkw bis 12 t zulässiges Gesamtgewicht und 40.000 Euro für Lkw und Sattelzugmaschinen mit Elektroantrieb ab 12 t zulässiges Gesamtgewicht. Das Fördervolumen beträgt jährlich 10 Mio. Euro.

i) Feldversuche Oberleitungs-Lkw

Angesichts der hohen Leistungsanforderungen von schweren Nutzfahrzeugen, der hohen Bedeutung der Fahrzeugnutzlast sowie den erforderlichen Reichweiten bestehen trotz erheblicher Fortschritte bei der Batterietechnik weiterhin starke Einschränkungen für einen umfassenden Einsatz von batterieelektrischen Lkw im Straßengüterfernverkehr. Die externe Stromversorgung von hybridisierten schweren Nutzfahrzeugen (Batterie oder Diesel-Motor zur Reichweitenverlängerung) via Oberleitung stellt eine ökologisch und ökonomisch vielversprechende Alternative zum Diesel-Lkw dar.

Im Rahmen von öffentlich geförderten Feldversuchen wird die Technologie in den kommenden Jahren erstmals an drei Standorten im öffentlichen Straßenraum unter realen Bedingungen erprobt. Im Rahmen der Feldversuche kommen O-Hybrid-Lkw mit Traktionsbatterie und einem Verbrennungsmotor als Range Extender zum Einsatz. Die Batterie kann an der Oberleitung dynamisch nachgeladen werden und erlaubt einen elektrischen Betrieb auch auf nicht elektrifizierten Abschnitten. Die drei Feldversuche werden an den folgenden Standorten durchgeführt: Autobahn A 1 in Schleswig-Holstein (Projekt FESH), Autobahn A 5 in Hessen (Projekt ELISA) und Bundesstraße B 462 in Baden-Württemberg (Projekt eWayBW). Für alle drei Standorte sind die Mittel bewilligt worden, um die Infrastruktur auf einer Länge von jeweils ca. 5 km in beiden Richtungen zu errichten. Die Bundesregierung geht davon aus, dass der Bau der Anlagen in Hessen und Schleswig-Holstein bis Ende 2018/Anfang 2019 und in Baden-Württemberg bis Ende 2019 abgeschlossen sein wird. Der Probebetrieb in Hessen ist für Anfang 2019 geplant, der Betrieb in Schleswig-Holstein soll Mitte 2019 beginnen, Baden-Württemberg folgt im Jahr 2020. In den Feldversuchen ist der Einsatz von insgesamt 15 Oberleitungs-Lkw geplant, die zum Teil im besonders anspruchsvollen 24/7-Betrieb eingesetzt werden. Der Betrieb der Fahrzeuge soll jeweils über 3 Jahre erfolgen.

Parallel laufen mehrere Forschungsvorhaben, welche den Praxiseinsatz begleiten. Außerdem gibt es Forschungsprojekte, die sich mit den mittel- und langfristigen Potenzialen elektrischer Lkw beschäftigen. Parallel wurde Anfang 2018 ein deutsch-schwedisches Forschungsprojekt initiiert. Ziel dieses Vorhabens ist es, ausgehend von den Erfahrungen mit der Entwicklung und Erprobung der Technologie, Rückschlüsse auf die Potenziale für den internationalen Güterverkehr zu ziehen.

j) Förderrichtlinie des BMVI zur „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“

Im „Nationalen Forum Diesel“ am 2. August 2017 wurde vereinbart, dass 500 Mio. Euro für die Förderung im Bereich Digitalisierung des Verkehrs bereitgestellt werden sollen.

Das Förderprogramm des BMVI im Rahmen der Richtlinie zur „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“ zielt hierbei darauf ab, Vorhaben im Bereich der Digitalisierung des Verkehrssystems umzusetzen, die kurz- bis mittelfristig zur Emissionsreduzierung der Luftschadstoffe beitragen können. Dazu zählen etwa Maßnahmen zur Vernetzung der Verkehrsträger, den bedarfsorientierten Einsatz von automatisierten Fahrzeugen im Stadtverkehr und im Schienenverkehr sowie die umfassende Verfügbarmachung von Umwelt, Mobilitäts- und Verkehrsdaten.

k) Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr

Als Maßnahme zur Umsetzung der Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren (Strategie AVF) hat das BMVI im Jahr 2016 das Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr (AVF-Forschungsprogramm) initiiert. Technologien für das automatisierte und vernetzte Fahren in Verbindung mit den Intelligenten Verkehrssystemen haben neben Zugewinnen von Verkehrssicherheit auch das Potenzial, den Verkehr flüssiger und umweltschonender zu gestalten. Das AVF-Forschungsprogramm fokussiert auf verkehrs- und gesellschaftspolitische Fragestellungen (z.B. Verkehrseffizienz, Verkehrssicherheit, Organisation des Straßenverkehrs, Kooperation und Vernetzung, gesellschaftliche Akzeptanz, Gestaltung des zu Grunde liegenden Rechtsrahmens). Einen Schwerpunkt bilden in diesem Zusammenhang Forschungsvorhaben auf digitalen Testfeldern im Straßenverkehr. Im Rahmen des Forschungsprogramms wurden auch die im „Nationalen Forum Diesel“ vereinbarte Erstellung von Masterplänen („green-city Pläne“) in den von NO₂-Grenzwertüberschreitungen betroffenen Kommunen gefördert, um die nachhaltige und emissionsfreie Mobilität zu gestalten.

l) Stärkung von Rad- und Fußverkehr

Im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans 2020 werden mit derzeit jährlich 5 Mio. Euro innovative, nicht-investive Projekte gefördert. 98 Mio. Euro stehen jährlich für den Bau und Erhalt von Radwegen entlang von Bundesstraßen zur Verfügung, 1,3 Mio. Euro für Radwege an Bundeswasserstraßen.

Mit dem 7. Gesetz zur Änderung des Bundesfernstraßengesetzes vom 27.6.2017 wurde der Bund ermächtigt, bis zum Jahr 2030 Finanzhilfen für den Bau von Radschnellwegen in fremder Straßenbaulast (Baulast der Länder, Gemeinden und Gemeindeverbände) zu gewähren. Dafür sind im Haushalt seit 2017 zunächst 25 Mio. Euro pro Jahr eingestellt worden.

Im Rahmen der Kleinserien-Richtlinie des BMU sind Investitionen in E-Lastenfahrräder und Lastenanhänger mit elektrischer Antriebsunterstützung für den fahrradgebundenen Lastenverkehr förderfähig, sofern sie über ein Mindest-Transportvolumen von 1 m³ und eine Nutzlast von mindestens 150 kg verfügen. Gefördert werden 30 Prozent der Anschaffungskosten, maximal aber 2.500 Euro. Antragsberechtigt sind private und kommunale Unternehmen sowie Kommunen (Städte, Gemeinden, Landkreise), Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Krankenhäuser. Weiterhin fördert das BMU den Radverkehr in Kommunen über die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) mit dem „Bundeswettbewerb Klimaschutz im Radverkehr“ sowie die Kommunalrichtlinie.

m) Betriebliches Mobilitätsmanagement

Ziel der Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements ist, Pendel- und Arbeitswege erheblich nachhaltiger zu gestalten. Am 2. Mai 2018 hat das BMVI die Förderrichtlinie „Betriebliches Mobilitätsmanagement“ veröffentlicht. Antragsberechtigt sind in einem ersten Schritt die 26 Preisträger des Wettbewerbs „mobil gewinnt“, die am 13. Dezember 2017 ausgezeichnet wurden. Gefördert werden Investitions(mehr)kosten für betriebliches Mobilitätsmanagement (z.B. Einbau von Duschen, Anschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, Bau von Radabstellanlagen). Geplant ist eine Förderung in Höhe von insgesamt 8 Mio. Euro.

n) Carsharinggesetz (CsgG)

Das Carsharing-Gesetz (CsgG) ist am 1.9.2017 in Kraft getreten. Die Verordnungsermächtigungen sind bereits einen Tag nach der Verkündung in Kraft getreten. Im BMVI wurde eine Planstelle geschaffen, u. a zur Rechtsaufsicht des Carsharinggesetzes, zur Schaffung der auf dem Gesetz basierenden Änderungen für entsprechende Verordnungen und Verwaltungsvorschriften sowie zur Evaluation des Gesetzes nach § 6 CsgG.

Der Bund hat mit diesem Gesetz zunächst für die unternehmensbezogene Zuordnung von reservierten Stellplätzen stationsbasierter CarSharing-Angebote eine Mustergesetzgebung verabschiedet, welche danach jeweils einzeln in den 16 Bundesländern in Landesgesetze überführt werden muss, um für stationsbasiertes Carsharing die Abhol- und Rückgabestellen im öffentlichen Verkehrsraum von Straßen in der Baulast von Ländern und Kommunen ausweisen zu können.

Durch das CsgG kann die allgemeine Sichtbarkeit von Carsharing-Fahrzeugen – v.a. der stationsgebundenen – erhöht werden, da ermöglicht wird, die Stationen von den Hinterhöfen auf die Straße zu verlagern. So können durch die größere Präsenz ein breiterer Zugang zum Carsharing geschaffen werden und gegebenenfalls auch neue Nutzer gewonnen werden. Daneben können Carsharing-Anbieter eine Bevorrechtigung im Hinblick auf das Erheben von Gebühren für das Parken auf öffentlichen Straßen und Wegen erhalten, soweit die Länder ihre Gebührevorschriften entsprechend ausrichten. Zudem werden im Gesetz Eignungskriterien für Carsharing-Anbieter festgeschrieben, u.a. mit dem Ziel der Verringerung des MIV sowie der Entlastung von Luftschadstoffen v.a. durch E-Fahrzeuge. Daneben wird auch die Förderung der Intermodalität angesprochen.

o) Unterstützung von Klimaschutz im internationalen Seeverkehr

Kernelemente der Maßnahme sind die Unterstützung der Einführung der EU-Verordnung über die Überwachung von Kohlendioxidemissionen aus dem Seeverkehr, die Berichterstattung darüber und die Prüfung dieser Emissionen (2015/757 EU; kurz MRV-VO wobei MRV für Monitoring, Reporting, Verification steht) und die Unterstützung der Einführung eines Datenerfassungssystems für den Kraftstoffverbrauch von Seeschiffen durch die Internationale Seeschiffahrtsorganisation (IMO) als Element der IMO-Strategie zur Reduzierung von CO₂-Emissionen der internationalen Seeschifffahrt. Die weiteren Elemente der Strategie sind noch abzustimmen. Zur Diskussion stehen neben technischen und betrieblichen Maßnahmen auch marktbasierende Reduktionsmaßnahmen.

Die Verordnung zur Erfassung und Berichterstattung ist auf EU-Ebene Mitte 2015 in Kraft getreten. Die nationale Umsetzung wurde seit September 2016 intensiv vorangetrieben und im Juli 2017 ein entsprechendes Gesetz verabschiedet, welches die Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt als zuständige Stelle im Rahmen der MRV-VO identifiziert.

Außerdem soll durch Förderung der Erstausrüstung oder Nachrüstung von Seeschiffen die Nachfrage zur Verwendung von LNG gesteigert und klimaschonendere Kraftstoffalternativen unterstützt werden. Eine Förderrichtlinie zur Unterstützung von Vorhaben im Bereich der Um- und Ausrüstung von Schiffen auf LNG-Antrieb wurde am 17. August 2017 veröffentlicht (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017).

2.7.3. Gebäude – Wärme- und Kältebereitstellung

2.7.3.1. Finanzielle Anreize für Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

a) CO₂-Gebäudesanierungsprogramm

Aus den Mitteln des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms werden die KfW-Förderprogramme zum energieeffizienten Bauen und Sanieren finanziert. Für das Förderjahr 2018 stehen für neue Fördermaßnahmen in den nachfolgend genannten Programmen insgesamt 2 Mrd. Euro aus dem Energie- und Klimafonds zur Verfügung¹². Für das MMS wird dieses jährliche Budget über den gesamten Szenarienzeitraum konstant gehalten.

A.1. „Energieeffizient Sanieren - Programmnummern 151/152 und 430“

Mit dem Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ wird die energetische Sanierung von Wohngebäuden, für die der Bauantrag vor dem 1. Februar 2002 gestellt wurde, durch zinsverbilligte Kredite in Verbindung mit Tilgungszuschüssen oder über Investitionszuschüsse unterstützt. Gefördert werden die umfassende Sanierung zum KfW-Effizienzhaus sowie die Sanierung durch Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenkombinationen zur Verbesserung der Energieeffizienz an Wohngebäuden. Die Höhe der Förderung richtet sich nach dem erreichten Effizienzniveau. Für die Förderung zum KfW-Effizienzhaus (KfW-EH) existieren im Bestand aktuell fünf Kategorien – KfW EH 55, KfW EH 70, KfW EH 85, KfW EH 100, KfW EH 115, die sich hinsichtlich des erreichten Jahresprimärenergiebedarfs und des auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogenen Transmissionswärmeverlusts mit Bezug auf die Referenzwerte der jeweils geltenden Energieeinsparverordnung unterscheiden¹³. Zudem wird über den Förderbaustein KfW EH Denkmal (160) die Sanierung von Baudenkmalern sowie besonders erhaltenswerter Bausubstanz gefördert.

Förderfähige Einzelmaßnahmen unterliegen ebenfalls bestimmten Mindestanforderungen. Zu den Einzelmaßnahmen zählen u.a. die Wärmedämmung der Außenwände, des Daches und der Geschosdecken sowie die Erneuerung der Fenster und Außentüren. Beim Austausch der Anlagentechnik werden Lüftungsanlagen, Brennwertkessel mit Heizöl oder Gas als Brennstoff sowie wärmegeführte KWK-Anlagen und – bei Anschluss an ein Wärmenetz – Wärmeübergabestationen gefördert. Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien werden nur in Ergänzung zu den genannten Anlagen gefördert.

A.2. KfW-Programm „Energieeffizient Bauen - Programmnummer 153“

Das KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“ (bis März 2009 KfW-Programm „Ökologisch Bauen“) ist das Pendant des Programmes „Energieeffizient Sanieren“ für den Neubau von Wohngebäuden. Gefördert wird die Errichtung, Herstellung oder der Ersterwerb von KfW-Effizienzhäusern durch zinsverbilligte Kredite in Verbindung mit Tilgungszuschüssen. Zur Auswahl stehen die Standards KfW EH 40 Plus, KfW EH 40 und KfW EH 55¹⁴.

A.3. KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren - Programmnummern 276/277/278“ (Energiekosten im Gewerbegebäude senken)

Seit 1.7.2015 werden die energetische Sanierung und der energieeffiziente Neubau gewerblich genutzter Nichtwohngebäude in der vergleichbaren Fördersystematik wie bei den Wohngebäuden gefördert. Gefördert werden sowohl Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz (siehe oben) als auch die Sanierung zum KfW-Effizienzgebäude (KfW EG 70, KfW EG 100,

¹² <https://www.bmwi.de/DE/Ministerium/haushalt.html>

¹³ Ein KfW Effizienzhaus 70 Standard wird beispielsweise dann erreicht, wenn das Gebäude nicht mehr als 70% des Primärenergiebedarfs eines äquivalenten Neubaus entsprechend der EnEV aufweist (relevant sind dabei die Referenzwerte eines Neubaus gemäß der EnEV 2009). Bezogen auf die reine Gebäudehüllenanforderung (H_{tr}) liegen die Werte jeweils 15% höher – für KfW 70 entsprechend maximal 85% des spezifischen Transmissionswärmekoeffizienten der EnEV.

¹⁴ <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-%28153%29/#2>

KfW EG Denkmal) und der Neubau von KfW-Effizienzgebäuden (KfW EG 55 und KfW EG 70)¹⁵. Die Förderung erfolgt über zinsverbilligte Kredite, teilweise in Verbindung mit Tilgungszuschüssen.

A.4. KfW-Programm „IKK und IKU - Energieeffizient Bauen und Sanieren - Programmnummern 217/218 und 220/219“ (Sanierung von Gebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur)

Gebäude der kommunalen und sozialen Infrastruktur werden über das Programm „IKK und IKU - Energieeffizient Bauen und Sanieren“ adressiert¹⁶. Das Programm erfasst die gleichen Förderatbestände wie die Förderprogramme für gewerbliche Nichtwohngebäude.

b) Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE)

Das „Anreizprogramm Energieeffizienz“ (APEE) umfasst drei investive Förderbausteine, die in die bestehende Förderlandschaft aus CO₂-Gebäudesanierungsprogramm und Marktanreizprogramm für Erneuerbare Energien (MAP) bei KfW und BAFA integriert wurden. Zum APEE gehören das „Heizungs- und Lüftungspaket“ und die Förderung der Markteinführung innovativer Brennstoffzellenheizungen. Mit dem „Heizungspaket“ wird der Austausch ineffizienter zu Gunsten effizienter Heizanlagen (bei gleichzeitiger Optimierung des gesamten Heizungssystems) gefördert. Das „Lüftungspaket“ fördert den Einbau effizienter Lüftungsanlagen bei gleichzeitiger Durchführung einer Sanierungsmaßnahme an der Gebäudehülle.

Für das MMS wird über den gesamten Szenariozeitraum unterstellt, dass das APEE pro Jahr über Fördermittel in Höhe von 165 Mio. Euro verfügt.

c) Marktanreizprogramm (MAP)

Mit dem MAP werden Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärme- und Kältebereitstellung sowie bestimmte Wärmespeicher und Nahwärmenetze gefördert, sowohl in Wohn- als auch in Nichtwohngebäuden. Dabei sind fast ausschließlich Anlagen im Gebäudebestand förderfähig, Anlagen in Neubauten nur in Ausnahmefällen (innovative Anlagentypen). Die Einzelheiten der MAP-Förderung sind in den Förderrichtlinien vom 11. März 2015 in der letzten Änderungsfassung vom 4. August 2017 geregelt¹⁷. Das Programm umfasst zwei Förderteile: Für kleinere Anlagen werden über das BAFA Investitionszuschüsse gewährt. Förderfähig sind hier Solarkollektoranlagen, Biomasseanlagen und effiziente Wärmepumpen, zumeist in Ein- und Zweifamilienprivathaushalten. Für größere Anlagen vergibt die KfW im Rahmen des KfW-Programms „Erneuerbare Energien – Premium“ zinsgünstige Darlehen inkl. Tilgungszuschüsse. In diesem Teil sind große Solarthermieanlagen, Biomasseheiz(kraft)werke, große effiziente Wärmepumpen, Biogasleitungen, Tiefengeothermieanlagen, Nahwärmenetze für Wärme aus erneuerbaren Energien und große Wärmespeicher für Wärme aus erneuerbaren Energien förderfähig. Ab dem 1. Februar 2018 werden darüber hinaus wieder Anlagen gefördert, die auch über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert werden können. Dies betrifft Biomasseanlagen und Tiefengeothermieanlagen zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in den Leistungsklassen, die gemäß der MAP-Richtlinie bei der KfW beantragt werden können, aber auch Biogasleitungen zur Versorgung von KWK-Anlagen.

¹⁵ <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/>

¹⁶ <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kommunen-%28218%29/>

¹⁷ <https://www.bundesanzeiger.de/> (Amtlicher Teil, Suchbegriff „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“)

Für das Jahr 2018 sind für das Marktanzreizprogramm Haushaltsmittel von rund 222 Mio. Euro eingeplant sowie weitere rund 98 Mio. Euro aus dem Energie- und Klimafonds. Für das MMS wird diese jährliche Mittelausstattung von ca. 320 Mio. Euro über den gesamten Szenarienzeitraum fortgeschrieben.

d) Mini-KWK-RL (NKI)*

Dezentrale KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis einschließlich 20 kW werden über das BAFA mit Investitionszuschüssen gefördert. Die Förderbeträge wurden letztmalig zum 1.1.2015 erhöht und betragen je nach Leistungsstufe zwischen 10 und 1.900 Euro pro kW_{el}. Bei besonders effizienten Mini-KWK-Anlagen besteht die Möglichkeit, neben der schon erwähnten Basisförderung zusätzlich einen Wärmeeffizienzbonus (25 Prozent der Basisförderung, wenn ein Abgaswärmetauscher zur Brennwertnutzung integriert ist) bzw. Stromeffizienzbonus (60 Prozent der Basisförderung für Anlagen mit besonders hohen elektrischen Wirkungsgraden) zu erhalten.

e) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up!)*

Siehe Beschreibung unter sektorübergreifenden Maßnahmen in Abschnitt 2.6.

f) Förderprogramm Heizungsoptimierung

Das Förderprogramm Heizungsoptimierung fördert den Austausch und die Installation von hocheffizienten „Umwälz- und Zirkulationspumpen“ für die Heizung oder die Warmwasserversorgung im Gebäudebereich; ferner den hydraulischen Abgleich des Heizungsverteilsystems sowie evtl. ergänzende niedriginvestive Maßnahmen, sofern diese Maßnahmen durch einen Fachbetrieb ausgeführt werden. Nach aktuellem Ansatz sind bis 2020 hierfür jährlich 50 Mio. Euro eingeplant.¹⁸

g) Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0

Im Rahmen des Förderprogramms „Wärmenetzsysteme 4.0“ fördert die Bundesregierung seit dem 1. Juli 2017 den Bau von hochinnovativen Wärmenetzsystemen (Wärmenetze der 4. Generation) zur nachhaltigen Versorgung von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie gewerblichen Prozessen mit Niedertemperaturwärme bis max. 95°C¹⁹. Das niedrige Temperaturniveau erleichtert die Integration erneuerbarer Energien, insbesondere Solarthermie und Umweltwärme. Die Förderung erfolgt in zwei Schritten: In Modul I fördert das BAFA eine Machbarkeitsstudie zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit sowie der technischen Umsetzbarkeit des jeweiligen Vorhabens. Im Rahmen des Moduls II wird der eigentliche Bau des Wärmenetzes gefördert. Neben der Grundförderung werden Prämien für hohe Anteile erneuerbarer Energien und Abwärme sowie besonders kosteneffiziente Wärmenetze vergeben. Damit wird die bisherige Finanzierung des Programms (2017/2018) innerhalb des EKF-Titels „Energieeffizienzfonds“ abgelöst.

2.7.3.2. Ordnungsrecht

h) Energieeinsparverordnung EnEV 2014

Die Energieeinsparverordnung (EnEV), die auf das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) gestützt ist, regelt die energetischen Mindestanforderungen an Neubauten sowie an Bestandsgebäuden im Falle einer umfassenden Sanierung. Die ordnungsrechtlichen Anforderungen gelten dabei

¹⁸ Ergänzende Informationen zum Förderprogramm „Heizungsoptimierung durch hocheffiziente Pumpen und hydraulischen Abgleich“: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/F/foerderung-heizungsoptimierung.pdf?__blob=publicationFile&v=6

¹⁹ http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html

sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude, sofern diese regelmäßig geheizt oder gekühlt werden. Am 1.5.2014 ist die jüngste Novelle der EnEV in Kraft getreten.

Aus der EnEV resultieren für neu zu errichtende Gebäude gebäudespezifische Maximalwerte für den Jahresprimärenergiebedarf für die Anwendungen Heizen, Warmwasserbereitstellung, Lüftung und Kühlung. Für Nichtwohngebäude wird zudem der Primärenergiebedarf für die eingebaute Beleuchtung einbezogen. Über den Einfluss von Primärenergiefaktoren fließt eine Bewertung der Energieträger in die Berechnung des Jahresprimärenergiebedarfs ein. Des Weiteren werden Mindestanforderungen an die Qualität der Gebäudehülle vorgeschrieben.

Die Berechnung erfolgt über ein Referenzgebäudeverfahren, welches zum einen die energetische Qualität der Bauteile (Dach, Außenwand, unterer Gebäudeabschluss, Fenster etc.) des Referenzgebäudes vorgibt, zum anderen auch eine Referenz für die Anlagentechnik beinhaltet. Aus der Berechnung des Referenzgebäudes resultiert der maximal zulässige Jahresprimärenergiebedarf eines entsprechenden Neubaus gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche bzw. Nettogrundfläche und Ausrichtung (bei Nichtwohngebäuden auch gleicher Nutzung).

Für Wohngebäude ist zudem die Mindestqualität der Gebäudehülle in Form von Höchstwerten des spezifischen Transmissionswärmeverlusts (H_T) geregelt, wobei nach Art und Größe des Gebäudes (freistehend, Reihenhaus) unterschieden wird. Bei Nichtwohngebäuden ist die Mindestqualität der Gebäudehülle durch Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche geregelt.

Bei Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden stellt die EnEV energetische Mindestanforderungen an die Qualität (U-Werte) des jeweiligen Außenbauteils, das Gegenstand des Austausches oder der Renovierung ist (Bauteilverfahren). Alternativ zum Bauteilverfahren gelten bei Sanierungen von Bestandsgebäuden die Anforderungen auch dann als erfüllt, wenn der aus dem Referenzgebäudeverfahren resultierende zulässige Jahresprimärenergiebedarf sowie die Höchstwerte der Anforderungen an die Gebäudehülle eines äquivalenten Neubaus um nicht mehr als 40 Prozent überschritten werden (sogenannte 140 Prozent-Regel). Die ab dem 1. Januar 2016 geltenden verschärften Neubauanforderungen (siehe hierzu nachfolgend) finden bei der 140 Prozent-Regel keine Anwendung.

Mit der am 1. Mai 2014 in Kraft getretenen Novelle der EnEV sind die primärenergetischen Anforderungen für Neubauten mit Wirkung ab dem Jahr 2016 angehoben worden. Der maximal zulässige Primärenergiebedarf wurde gegenüber der EnEV 2009 um 25 Prozent gesenkt und die Anforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle wurden um durchschnittlich 20 Prozent verschärft. Die Anforderungen bei der Sanierung von Bestandsgebäuden sind beibehalten worden. Des Weiteren müssen seit 2015 ineffiziente Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und entweder vor dem 1.1.1985 eingebaut oder aufgestellt oder seit 30 Jahren betrieben werden, stillgelegt werden. Brennwert- und Niedertemperaturkessel sind von der Austauschpflicht ausgenommen. Ausnahmen gelten zudem für selbstgenutzte Ein- und Zweifamilienhäuser.

§ 2a des EnEG, der die Vorgaben von Art. 2 Nr. 2 und Art. 9 Abs. I Satz I der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vom 19. Mai 2010 (2010/31/EU) umsetzt, schreibt vor, dass ab dem 1. Januar 2021 neue Gebäude als Niedrigstenergiegebäude errichtet werden müssen. Für neue Nichtwohngebäude der öffentlichen Hand gilt diese Verpflichtung schon ab dem 1. Januar 2019. Das „Niedrigstenergiegebäude“ ist im Gesetz folgendermaßen definiert: *„Ein Niedrigstenergiegebäude ist ein Gebäude, das eine sehr gute Gesamtenergieeffizienz aufweist; der Energiebedarf des Gebäudes muss sehr gering sein und soll, soweit möglich, zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden.“* Mit der geplanten Novelle des Energieeinsparrechts für Gebäude durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) sollen das Energieeinsparungsgesetz, die Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

zusammengeführt werden. Laut Koalitionsvertrag werden mit dem GEG das Ordnungsrecht entbürokratisiert und vereinfacht, die Anforderungen des EU-Rechts umgesetzt und dabei gelten die aktuellen energetischen Anforderungen für Bestand und Neubau fort. Die Untersuchungen zum kostenoptimalen Niveau der Mindestanforderungen für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wurden zuletzt im Jahr 2018 aktualisiert. Die Untersuchung folgt den europäischen Kriterien zur Ermittlung der Kostenoptimalität und weist unter dieser Maßgabe den aktuellen ordnungsrechtlichen Standard (EnEV 2016) als derzeit kostenoptimales Niveau aus. Das Ergebnis wurde an die Europäische Kommission übermittelt.

i) Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Das EEWärmeG schreibt für Neubauten eine Nutzungspflicht erneuerbarer Energien zur anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteendenergiebedarfs vor. Mit der Regelung werden sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude erfasst. Mit der Novellierung des Gesetzes im Jahr 2011 wurde die Nutzungspflicht auf die grundlegende Renovierung öffentlicher Bestandsgebäude (Vorbildfunktion öffentlicher Gebäude) ausgeweitet.

Zur Erfüllung der Nutzungspflicht in Neubauten werden technologiespezifische Mindestanteile für die einzelnen erneuerbaren Energieträger vorgeschrieben. Zudem werden Mindestanforderungen an die Qualität und die Effizienz der Technologien gestellt. Neben der Primärpflicht existiert eine Reihe von Ersatzmaßnahmen. So besteht die Möglichkeit, die Nutzungspflicht durch Unterschreitung der energetischen Anforderungen der EnEV um 15 Prozent zu erfüllen. Die Nutzungspflicht gilt auch dann als erfüllt, wenn der Wärme- und Kältebedarf zu mindestens 50 Prozent durch eine KWK-Anlage gedeckt wird oder die Wärme- und Kälteversorgung über ein Fernwärme- oder Fernkältenetz erfolgt, welches zu mindestens 50 Prozent aus EE- oder KWK-Anlagen gespeist wird. Eine weitere Ersatzmaßnahme ist die Nutzung von Abwärme.

j) Umsetzung Ökodesign-RL und Energieverbrauchskennzeichnungs-RL für energieverbrauchsrelevante Produktgruppen*

Siehe Beschreibung übergeordnete Maßnahmen (Abschnitt 2.6).

2.7.3.3. Flankierende und informatorische Instrumente

k) Nationales Effizienzlabel für Heizungen

Ziel der Maßnahme ist es, die Motivation der Gebäudeeigentümer zum Austausch alter ineffizienter Heizungsanlagen zu fördern und damit die Austauschrate zu erhöhen. Das Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz berechtigt Heizungsinstallateure, Schornsteinfeger sowie bestimmte Energieberater seit 2016, die Energielabel anzubringen. Die Bezirksschornsteinfeger sind ab 2017 verpflichtet, im Rahmen ihrer regelmäßigen Überwachung, Energielabel in Anlehnung an Verordnung (EU) Nr. 811/2013 an Heizkessel zu vergeben, die älter als 15 Jahre sind. Die Vergabe erfolgt schrittweise gestaffelt nach dem Alter des Kessels. Mit dem Energielabel wird der Heizkessel einer bestimmten Energieeffizienzklasse zugeordnet und die Eigentümer erhalten Informationen über Energiekosteneinsparungen und Hinweise zu weiterführenden Energieberatungsangeboten (z. B. vzbv oder Energieberatung für Wohngebäude (Vor-Ort-Beratung, individueller Sanierungsfahrplan)).

l) Energieausweis

Eine wichtige informatorische Maßnahme für den Gebäudebereich, die als Bestandteil der EnEV dem Ordnungsrecht zuzuordnen ist, ist der Energieausweis. Schon die EnEV 2002 sah eine Energieausweispflicht bei Neubauten vor. Mit der EnEV 2007 wurde zusätzlich für den Gebäudebestand eine Energieausweispflicht bei Verkauf und Vermietung eingeführt. Der Energieausweis ist bei Verkauf oder Vermietung dem potenziellen Käufer oder Mieter vorzulegen und soll

Auskunft über die energetische Qualität von Gebäuden geben. Der Energieausweis kann als Bedarfs- oder Verbrauchsausweis ausgestellt werden.

Um die Transparenz auf dem Immobilienmarkt zu verbessern, gelten seit dem 1. Mai 2014 erweiterte Pflichten hinsichtlich der Ausstellung und Verwendung von Energieausweisen. Neue Energieausweise für Wohngebäude enthalten seither die Zuordnung zu einer Energieeffizienzklasse. Gleichzeitig muss der Ausweis spätestens bei der Besichtigung eines Kauf- oder Mietobjektes vorgelegt werden. Nach Vertragsabschluss erhält der Käufer oder der neue Mieter eine Kopie des Dokuments. Zudem müssen seit dem 1. Mai 2014 Immobilienanzeigen bei Verkauf und Vermietung bestimmte energetische Angaben aus dem Ausweis enthalten, wenn zum Zeitpunkt der Aufgabe der Anzeige bereits ein Energieausweis vorliegt.

m) Diverse Informationsdienste wie „Deutschland macht's effizient“ bzw. der Deutschen Energie-Agentur (dena)

Die im Mai 2016 bundesweit gestartete Informationsoffensive „Deutschland macht's effizient“ zielt darauf ab, Privathaushalte, Unternehmen und Kommunen für Aktivitäten im Bereich der Energieeffizienz zu motivieren. Die Informationsoffensive besteht dabei aus zwei Elementen, einer emotionalen Dachkampagne und der zielgruppenscharfen Ansprache und Motivation der Energieverbraucherinnen und -verbraucher. Die Deutsche Energie-Agentur informiert private Haushalte und Unternehmen seit dem Jahr 2002 über Maßnahmen und Hintergründe der effizienten und rationellen Energieverwendung von Strom sowie über die Möglichkeiten des Einsatzes erneuerbarer Energien in Gebäuden, über Elektromobilität und effiziente Energiesysteme. Die dena informiert auf ihrer Webseite mit einer Vielzahl von Studien, Broschüren und Beispielen und führt Veranstaltungen und Projekte zu den genannten Themen durch. Den Interessenten wird seit der Gründung eine deutschlandweit zentrale, beständig wachsende Informationsbasis für die Möglichkeiten zum effizienten Einsatz von Energie und erneuerbaren Energien zur Verfügung gestellt.

n) Energieberatung für Wohngebäude (Vor-Ort-Beratung, individueller Sanierungsfahrplan)

Im Rahmen der Vor-Ort-Energieberatung werden für Wohngebäude Sanierungskonzepte von qualifizierten und unabhängigen Fachleuten finanziell gefördert. Im Rahmen der Beratung werden u.a. konkrete Maßnahmen empfohlen, die insgesamt zu einem Effizienzhaus führen, das förderfähig im Sinne des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren“ ist. Entsprechende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen müssen ebenfalls im Bericht enthalten sein. Ab dem 1. Juli 2017 kann als Dokumentation der Beratung ein individueller Sanierungsfahrplan (iSFP) eingereicht werden. Gebäudeindividuelle Sanierungsfahrpläne dienen der Entscheidungsunterstützung für Gebäudeeigentümer und sollen dazu beitragen, dass das einzelne Gebäude bauteilweise saniert und abschließend den Anforderungen an einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050 entspricht. Sanierungsfahrpläne schaffen somit Orientierung und Transparenz über die aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sinnvolle zeitliche Abfolge energetischer Modernisierungsmaßnahmen, wobei die individuelle Situation des Gebäudeeigentümers – Alter, finanzielle Mittel etc. – berücksichtigt wird. Des Weiteren wird für den einzelnen Investor eine bessere Transparenz und Verständnis über eine mögliche Kopplung energetischer Modernisierungsmaßnahmen an ohnehin anstehende Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen geschaffen.

Zur Qualitätssicherung von Vor-Ort-Energieberatungen sowie von Planung und Baubegleitung von KfW-geförderten Effizienzhäusern steht seit Ende 2011 die Expertenliste für die Förderprogramme des Bundes im Wohngebäudebereich als Online-Datenbank zur Verfügung. Mit der neuen Förderrichtlinie vom 1. Dezember 2017 wurde der zulässige Energieberaterkreis erweitert. Die Förderung kann nun von allen Handwerksbetrieben oder Energieversorgern wie Stadtwerken mit entsprechender Qualifikation beantragt werden. Eine Energieberatung und die energeti-

sche Sanierung dürfen fortan zudem vom selben Handwerks- oder Baubetrieb geleistet werden, sollten Kunden dies wünschen. Die Energieberatung erfolgt auch weiterhin neutral und mit hoher Qualität. Die Energieberater haben sich durch Selbsterklärung gegenüber dem BAFA zu verpflichten, hersteller-, anbieter-, produkt- und vertriebsneutral zu beraten. Angaben zu der beruflichen Tätigkeit der Energieberater müssen veröffentlicht werden (Energieeffizienz-Expertenliste für Förderprogramme des Bundes).

o) Weitere Maßnahmen zur Energieberatung privater Haushalte (z.B. Verbraucherzentralen)

Das vom BMWi geförderte Projekt mit dem Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv) und den Verbraucherzentralen der Länder wurde deutlich ausgeweitet. Durch regionale Kooperationen mit Kommunen und Energieagenturen sollen mehr Verbraucher auf die qualifizierte Energieberatung in den Beratungsstellen und die Energie-Checks durch den Energieberater „zu Hause“ (Basis-Check für Mieter, Gebäude-Check, Heiz-Check, Solarwärme-Check) aufmerksam gemacht werden.

p) Energieberatung für Nichtwohngebäude von Kommunen und gemeinnützigen Organisationen (BAFA)

Die Energieberatung wurde zum 1. Januar 2016 um die Richtlinie „Energieberatung für Nichtwohngebäude von Kommunen und gemeinnützigen Organisationen“ erweitert. Denn Kommunen stehen vor der Herausforderung, ihre veraltete Bausubstanz und Infrastruktur auch unter energetischen Aspekten zu erneuern. Durch eine entsprechende Beratung kann sichergestellt werden, dass Planungsfehler vermieden werden, die für die Besitzer zu Mehrkosten oder weitergehenden Bauschäden führen könnten. Die Förderung erfolgt über einen Zuschuss.

Damit werden die Energieberatung für die Sanierung und den Neubau von Nichtwohngebäuden finanziell gefördert. Für die Energieberatung von Nichtwohngebäuden sind auch kommunale Unternehmen, gemeinnützige Organisationen und anerkannte Religionsgemeinschaften Beratungsempfänger. Bei der Sanierungsberatung sollte – ähnlich wie bei der Vor-Ort-Beratung für Wohngebäude – entweder ein Vorschlag für die Sanierung eines Gebäudes (zeitlich zusammenhängend) z.B. zum Effizienzhaus (Komplettsanierung) oder für eine umfassende Sanierung auf der Basis von aufeinander abgestimmten Einzelmaßnahmen (Sanierungsfahrplan) enthalten sein. Dabei kann es sich auch um kurzfristig umsetzbare Energiesparmaßnahmen, z.B. die Modernisierung der Anlagentechnik und Optimierung des Gebäudebetriebs, handeln. Damit können Beratungsmaßnahmen an kommunalen Nichtwohngebäuden durchgeführt werden, wie z.B. bei einem in der Regel einfacheren Schulgebäude oder einem komplexeren Gebäude wie einem Krankenhaus. Die Neubauberatung soll die Kommunen bei der Umsetzung des ab dem Jahr 2019 geltenden Niedrigstenergiegebäudestandards unterstützen (s.o.).

q) KfW Energetische Stadtsanierung – Programmnummern 432/201/202

Das Programm besteht aus den Programmteilen KfW 432 (Konzepte und Management) sowie KfW 201/202 (Infrastruktur/Quartiersversorgung). Mit dem Programm KfW 432 werden finanzielle Zuschüsse für die Erstellung integrierter Quartierskonzepte für energetische Sanierungsmaßnahmen erteilt. Diese umfassen Maßnahmen zur Energieeinsparung, -speicherung und -gewinnung sowie zur Wärmeversorgung. Des Weiteren sind die Kosten für umsetzungsbegleitendes Sanierungsmanagement für einen Zeitraum von bis zu fünf Jahren förderfähig. Förderanträge können durch kommunale Gebietskörperschaften gestellt werden. Bewilligte Zuschüsse für die Erstellung von Quartierskonzepten und das Sanierungsmanagement können jedoch zur Umsetzung auch an privatwirtschaftliche oder gemeinnützige Akteure weitergegeben werden. Darüber hinaus werden mit dem KfW-Programm „Energetische Quartiersversorgung“ (KfW 201, 202) zinsgünstige Darlehen und Tilgungszuschüsse für energieeffiziente Investitionen in die quartiersbezogene Wärme- und Kälteversorgung sowie Wasserver- und Abwasserentsorgung

vergeben. Antragsberechtigt sind kommunale Gebietskörperschaften und kommunale Unternehmen mit mindestens 50-prozentigem Hintergrund sowie Investor-Betreiber-Modelle.

r) Forschung, Entwicklung und Demonstration für energieeffiziente Gebäude und Quartiere

Energieeffiziente Gebäude und Quartiere stellen einen Schwerpunkt in der Projektförderung der Bundesregierung dar. Seit 2012 wurden rd. 290 Mio. Euro an Projektfördermitteln für dieses Forschungsfeld bereitgestellt. Adressiert werden die Bereiche Energieoptimiertes Bauen, Niedertemperatur-Solarthermie, Thermische Speicher, Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze, Solarisierung von Wärmenetzen sowie Forschung für die energieeffiziente Stadt. Im Fokus stehen neben Einzeltechnologien zudem sektorübergreifende Ansätze. So zeigt die ressortübergreifende Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt von BMWi und BMBF in sechs systemisch angelegten Leuchtturmprojekten auf Quartiersebene, wie durch Innovationen und intelligente Vernetzung energetisch hochwertige, lebenswerte Häuser und Quartiere entstehen können. Eine vollständige Übersicht über die geförderten Maßnahmen im Bereich Energieeffiziente Gebäude und Quartiere gibt der jährliche Bundesbericht Energieforschung.²⁰

Die Förderinitiative „EnEff.Gebäude.2050 – Innovative Vorhaben für den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050“²¹ soll einen Beitrag leisten, die Lücke zwischen Forschungs- und Breitenförderung für Energieinnovationen im Gebäude- und Quartiersbereich zu schließen. Gefördert werden darin Demonstrationsvorhaben zur Effizienzsteigerung und zur Integration erneuerbarer Energien in Gebäuden, sowohl im Bereich technologischer als auch nicht-technologischer Innovationen. Ferner sollen in sogenannten Transformationsprojekten ambitionierte Strategien für den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand erarbeitet und modellhaft umgesetzt werden

s) Bauforschungsinitiative Effizienzhaus Plus

Die Bauforschungsinitiative Effizienzhaus Plus fördert mit Forschungsmodellvorhaben die Weiterentwicklung des klimagerechten, bezahlbaren Gebäudebereiches und eine gesamtgesellschaftliche Bewusstseinsänderung gegenüber energieeffizienten Gebäuden²². Etabliert werden soll ein zukunftsgerechter, innovativer Gebäudestandard „Effizienzhaus Plus“ des Bundes. Gebäude dieses Standards gewinnen über die gebäudenaher Erzeugung erneuerbarer Energien mehr Energie als sie verbrauchen. Überschüssige Energie kann an andere Gebäude (intelligente Vernetzung) oder sektorübergreifend (z.B. Verkehr) abgegeben werden. Technologieoffen stärkt dieser Gebäudestandard die zusammenhängende Betrachtung des Primär- und des Endenergiebedarfs und den Einsatz Erneuerbarer Energien im Gebäudebereich.

Der zeitnahe Wissenstransfer aus der Bauforschung in die Praxis erfolgt über ein Netzwerk von Modellvorhaben, ein Informations- und Kompetenzzentrum für zukunftsgerechtes Bauen im ersten Effizienzhaus Plus Forschungsmodellvorhaben des Bundes in Berlin und über Online-Plattformen. Regelmäßige Sonderveranstaltungen setzen national und international gesamtgesellschaftliche Impulse und fördern einen transparenten, aktiven Bürgerdialog.

Erste bundesweite Modellvorhaben haben bestätigt, dass dieser Gebäudestandard im Wohnungsbau praxis- und klimatauglich ist.

t) Bildungsinitiative für Gebäudeeffizienz I - Build Up Skills

Das Projekt „BUILD UP Skills – QUALITRAIN“ unterstützt die berufliche Aus- und Weiterbildung der am Bau Beschäftigten und die Etablierung einer nationalen Qualifikationsplattform mit Mitteln der Europäischen Union. Das Projekt wurde Ende 2016 abgeschlossen.

²⁰ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2018.pdf>

²¹ <https://projektinfos.energiewendebauen.de/forschung/forschungsfoerderung/eneffgebaeude2050/>

²² <https://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/>

u) Bildungsinitiative für Gebäudeeffizienz II - Programmbeitrag ESF

Im Rahmen des Europäischen Sozialfonds (ESF) hat BMU ein Förderprogramm zur gewerkeübergreifenden Qualifizierung in der energetischen Gebäudesanierung aufgelegt. Der Fokus liegt dabei auf informellen, außerschulischen und praktischen Angeboten für Auszubildende und Ausbildungspersonal. Programmschwerpunkt ist die Zusammenarbeit und die Schnittstellenkommunikation zwischen denjenigen Gewerken, die Gebäude klimaschonend und energiesparend planen, bauen und sanieren.

v) NKI Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte

Mit dem Förderaufruf „Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte“ sollen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) kommunale Klimaschutzprojekte mit modellhaftem, investivem Charakter gefördert werden. Das Ziel der Förderung besteht darin, einen wesentlichen Beitrag zur Minderung jährlicher Treibhausgasemissionen durch Effizienzmaßnahmen in Kommunen und im kommunalen Umfeld zu leisten. Bei den Vorhaben sollen die besten verfügbaren Technologien und Methoden zum Einsatz kommen. Durch ihre bundesweite Ausstrahlung sollen die Vorhaben zudem zur Nachahmung von Klimaschutzprojekten anregen und so weitere Minderungen von Treibhausgasemissionen auslösen. Der Modellcharakter der Vorhaben soll sich auszeichnen durch

- ▶ eine hohe Treibhausgasreduzierung im Verhältnis zur Vorhabensumme;
- ▶ einen besonderen und innovativen konzeptionellen Qualitätsanspruch;
- ▶ die Übertragbarkeit bzw. Replizierbarkeit des Ansatzes;
- ▶ eine überregionale Bedeutung und deutliche Sichtbarkeit.

2.7.4. Private Haushalte – Strom

Hinweis: Mit „*“ werden übergeordnete Maßnahmen gekennzeichnet, die auf sektoraler Basis quantifiziert werden.

2.7.4.1. Quantifizierte Instrumente

a) Ökologische Steuerreform*

Die ökologische Steuerreform wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6 im Sektor private Haushalte (Strom) berücksichtigt.

b) Mindeststandards (EU Ökodesign-RL)*

Die Mindeststandards unter der EU Ökodesign-RL und den jeweiligen EU-Durchführungsverordnungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6.2 für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

c) Energielabel – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung*:

Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchskennzeichnung werden entsprechend der Beschreibung bei den übergeordneten Maßnahmen (Abschnitt 2.6) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

d) Nationale Top-Runner-Initiative (NTRI)

Die Anfang 2016 gestartete Nationale Top-Runner-Initiative (NTRI) richtet sich gleichermaßen an Hersteller, Handel und Verbraucher. Sie will die Vorteile energieeffizienter Produkte deutlich

machen und motivieren, energieeffiziente und qualitativ hochwertige Produkte (Top-Runner) schneller in den Markt zu bringen. Gleichzeitig sollen Verbraucher motiviert werden, vorhandene Geräte effizienter zu nutzen. Die Quantifizierung erfolgt überwiegend im Sektor private Haushalte. Je nach Produktspektrum wird ggf. ein Teil der Wirkungen den Sektoren Industrie und GHD zugeschrieben.

e) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up!)*

Die wettbewerblichen Ausschreibungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6 im Sektor private Haushalte (Strom) berücksichtigt.

f) Pilotprogramm Einsparzähler*

Das Pilotprogramm Einsparzähler wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6 im Sektor private Haushalte berücksichtigt.

g) Beratung einkommensschwacher Haushalte (Stromspar-Check)

Bis Ende 2015 förderte das BMU das Pilotprojekt StromsparCheck PLUS. Es beinhaltete für Haushalte mit geringem Einkommen Beratungen im Haushalt, die kostenlose Bereitstellung/Installation von einfachen Energieeinsparartikeln sowie bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen einen Zuschuss zur Beschaffung eines hochenergieeffizienten Kühlgerätes. Zum 1.4.2016 ist das neue Projekt Stromsparcheck Kommunal im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) gestartet. Das Projekt baut auf das bisherige Beratungsangebot für einkommensschwache Haushalte auf. Mit dem neuen Projekt "Stromspar-Check Kommunal" wird nun eine langfristige Etablierung des Stromspar-Checks auf kommunaler Ebene angestrebt. Das Projekt wird mit folgenden Mittelansätzen gefördert: 2016: 7,2 Mio. Euro, 2017: 10,7 Mio. Euro, 2018: 11,2 Mio. Euro, 2019: 3,1 Mio. Euro. Für die Folgejahre erfolgt eine Fortschreibung auf Grundlage des durchschnittlichen Programmvolumens der Vorjahre.

2.7.4.2. Flankierende Instrumente

h) LED-Leitmarktinitiative*

Die LED-Leitmarktinitiative wird entsprechend der Beschreibung in Abschnitt j) als flankierendes Instrument berücksichtigt.

i) Freiwillige Produktkennzeichnungen für energierelevante Produkte (Blauer Engel, Energy Star, EU-Umweltzeichen)*

Die freiwilligen Produktkennzeichnungen werden entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.6.3 für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produkte berücksichtigt.

j) Einführung elektronischer Zähler (Smart Meter) zur Stromverbrauchsmessung

Anfang Juli 2016 wurde das Messstellenbetriebsgesetz verabschiedet, nach dem bei Letztverbrauchern mit einem Jahresverbrauch von mehr als 6.000 kWh und bei Anlagenbetreibern nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz oder dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz mit einer installierten Leistung von mehr als 7 kW Smart Meter eingebaut werden müssen. Für Letztverbraucher und Anlagen unterhalb dieser Schwelle ist der Einbau der Smart Meter für den Messstellenbetreiber optional. Sofern bei Neubauten und größeren Renovierungen kein verpflichtender Einbau von Smart Metern erfolgt, sind zumindest moderne Messsysteme einzubauen. Dies soll dazu beitragen, die mit dem Einsatz von Smart Metern verbundenen Energieeffizienzpotenziale spartenübergreifend zu heben.

k) Unterstützung der Marktüberwachung*

Siehe Beschreibung unter sektorübergreifenden Maßnahmen in Abschnitt s).

2.7.5. Industrie & Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) – Strom und Prozesswärme / -dampf

2.7.5.1. Quantifizierte Instrumente

a) EU-Emissionshandel* (siehe auch Abschnitt 2.6 zu übergreifenden Instrumenten)

In der Industrie betrifft der Emissionshandel vorwiegend die energieintensiven Branchen wie Raffinerien, Metallerzeugung und -bearbeitung, Zement- und Kalkherstellung sowie die Glas-, Keramik- und Papierproduktion. Seit 2013 ist der Geltungsbereich um zusätzliche Branchen (vorwiegend aus der chemischen Industrie und der Nicht-Eisen-Metallindustrie) sowie in einigen Fällen (z.B. Adipin- und Salpetersäureherstellung) um das Treibhausgas N₂O sowie für die Aluminiumherstellung um perfluorierte Kohlenwasserstoffe erweitert worden.

b) Ökologische Steuerreform*

Beschreibung siehe Abschnitt 2.6.1 zu übergreifenden Maßnahmen.

c) Spitzenausgleich im Rahmen des Energiesteuergesetzes (EnergieStG) und des Stromsteuergesetzes (StromStG)

Unter dem so genannten "Spitzenausgleich" werden Steuerentlastungen für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes festgelegt. Im Jahr 2013 ist das derzeit geltende Gesetz zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes sowie zur Änderung des Luftverkehrsteuergesetzes in Kraft getreten. Mit diesem Gesetz wurde der "Spitzenausgleich" neu justiert und über das Jahr 2012 hinaus für weitere 10 Jahre fortgeführt. Für die Gewährung des Spitzenausgleichs müssen demnach zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

- ▶ Das antragstellende Unternehmen muss nachweisen, dass es spätestens bis Ende des Antragsjahres 2015 ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 oder ein Umweltmanagementsystem nach EMAS eingeführt hat und dieses seit Ende 2015 auch betreibt (KMU können alternative Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz einführen und betreiben, die mit geringeren Anforderungen verbunden sind). Für die Einführungsphase 2013 und 2014 galten vereinfachte Nachweiserfordernisse.
- ▶ Die Energieintensität des Produzierenden Gewerbes muss in Deutschland insgesamt um einen gesetzlich festgelegten Zielwert abnehmen. Dieser Zielwert beträgt für die Bezugsjahre 2013 bis 2015 (Antragsjahre 2015 bis 2017) 1,3 Prozent jährlich. Im Gesetz ist vorgesehen, dass die Zielwerte für die Antragsjahre 2019 bis 2022 im Zuge einer Evaluation im Jahr 2017 überprüft werden. Die Evaluation hat für den Zeitraum von 2012-2016 einen tatsächlichen Rückgang der Energieintensität des produzierenden Gewerbes (Verarbeitendes Gewerbe und Energiewandlung) um 13,8 Prozent berechnet, während das über die Jahre kumulierte Ziel bei 5,25 Prozent lag (RWI 2017). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass Struktureffekte, wie zum Beispiel der starke Zubau von erneuerbarer Stromerzeugung und KWK, zu dem hohen Rückgang der Energieintensität beigetragen haben. Bei alleiniger Betrachtung des Verarbeitenden Gewerbes (welches einen Großteil der Unternehmen des produzierenden Gewerbes ausmacht) würde der Rückgang niedriger als 13,8 Prozent ausfallen, die festgelegten Zielwerte aber dennoch übererfüllt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass vom Spitzenausgleich derzeit etwa 8.200 Unternehmen profitieren, wobei die Anzahl der antragstellenden Unternehmen rückläufig ist, und das Volumen des Spitzenausgleichs 2016 ca. 1,8 Mrd. Euro betrug.

d) Besondere Ausgleichsregelung (BesAR) des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG)

Im Rahmen der BesAR werden Unternehmen in strom- und handelsintensiven Branchen mit hohem Stromverbrauch Begünstigungen bei der Zahlung der EEG-Umlage gewährt. Ziel der BesAR ist der Schutz der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der begünstigten Unternehmen und der verbundenen Arbeitsplätze durch eine Begrenzung der Belastung der Stromkosten. Bei Antragsstellung wird überprüft, ob Unternehmen strom- und handelsintensiven Branchen angehören. Sie müssen außerdem nachweisen, dass ihre Stromkosten einen hohen Anteil an der Bruttowertschöpfung haben. Weiterhin müssen Unternehmen, um entsprechende Begünstigungen zu erlangen, einen Verbrauchs-Schwellenwert von 1 GWh/a überschreiten sowie ein Energiemanagementsystem nachweisen. Unternehmen mit einem Jahresstromverbrauch von mehr als 5 GWh müssen den Betrieb eines Energie- oder Umweltmanagementsystems (ISO 50001 oder EMAS) nachweisen, Unternehmen mit einem Jahresstromverbrauch von weniger als 5 GWh können auch ein alternatives System zur Verbesserung der Energieeffizienz im Sinne der Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung (SpaEfV) nachweisen. Dadurch können auch energieintensive Mittelständler von der Regelung profitieren. Laut (BMWi & BAFA 2017) lag die Zahl der begünstigten Unternehmen bzw. Unternehmensteile im produzierenden Gewerbe im Jahr 2017 bei 1.979 und damit deutlich unter der Zahl der Antragssteller im vergangenen Jahr. Die privilegierte Strommenge im produzierenden Gewerbe lag 2017 bei etwa 97,57 TWh und damit 4 TWh über dem Wert des Vorjahres. Die Begünstigungen im Rahmen der BesAR führen zu einer höheren EEG-Umlage für nicht-privilegierte Verbraucher. Im Jahr 2017 beliefen sich die Entlastungen der stromintensiven Unternehmen in Summe auf etwa 5,5 Mrd. Euro.

e) Energieberatung im Mittelstand

Kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) wird im Rahmen des BMWi-Programms „Energieberatung Mittelstand“ die Förderung einer qualifizierten Energieberatung angeboten. Qualifizierte Energieberater identifizieren Potenziale zur Energieeinsparung und erstellen konkrete Maßnahmenvorschläge für das jeweilige Unternehmen. Mit den Maßnahmenvorschlägen können z.B. Konzepte zur Abwärmenutzung erstellt werden. Die Richtlinie entspricht den EU-Anforderungen für Energie-Audits laut EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU). Das Programm wird beim BAFA administriert. Im Dezember 2017 wurde der zulässige Energieberaterkreis erweitert. Die Förderung kann nun von allen qualifizierten Handwerksbetrieben, Schornsteinfegern oder Energieversorgern wie Stadtwerken mit entsprechender Qualifikation beantragt werden. Die maximale Förderhöhe beträgt pro Maßnahmenkonzept bis zu 6.000 Euro.

f) Mindesteffizienzstandards – EU Ökodesign-Richtlinie (siehe auch Abschnitt 2.6 zu übergreifenden Maßnahmen)*

Eine Reihe der beschlossenen Durchführungsmaßnahmen adressiert speziell den Strom- und Energiebedarf von Produkten, die in den Sektoren Industrie und GHD verwendet werden. Darunter fallen z.B. die Maßnahmen zu Elektromotoren, Ventilatoren, Wasserpumpen oder gewerblichen Kühlgeräten.

Die Minimierung des Materialeinsatzes, Reparierbarkeit und Langlebigkeit von Produkten sollte künftig ebenfalls Berücksichtigung finden, ist allerdings in den beschlossenen Verordnungen noch nicht berücksichtigt und wird damit im MMS nicht quantifiziert.

g) Förderprogramm "Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand"

Das Förderprogramm wurde in novellierter Form zum 10. Mai 2016 als Teil des EKF neu eingeführt. In diesem Programm können KMU und große Unternehmen Zuschüsse für Investitionen in hocheffiziente Querschnittstechniken beantragen. Für die Förderung wird zwischen Investitionen in einzelne Querschnittstechniken (wie z. B. elektrische Motoren und Antriebe, Pumpen,

Druckluftsysteme, Anlagen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung sowie die Dämmung von industriellen Anlagen) sowie Investitionen zur systemischen Optimierung, die über den Austausch einzelner Komponenten hinausgehen, unterschieden. Für erstere werden Investitionen bis zu einem Volumen von 30.000 Euro mit 20 Prozent (KMU 30 Prozent) gefördert. Für letztere muss die Investitionssumme mindestens 50.000 Euro betragen, um förderwürdig zu sein. Die Höhe der Zuwendung beträgt 20 Prozent (KMU 30 Prozent) der förderfähigen Investitionen, maximal bis zu 150.000 Euro je Vorhaben.

h) Förderung von Kälte- und Klimaanlageanlagen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI)*:

Das Programm bietet laut Richtlinie vom 1. Dezember 2016 finanzielle Zuschüsse für die energetische Optimierung bestehender Kälte- und Klimaanlageanlagen, wenn diese Kältemittel mit niedrigem „Global Warming Potential (GWP)“ aufweisen, für den Neubau hocheffizienter Anlagen mit nicht-halogenierten Kältemitteln sowie auch Zuschüsse für Wärme- und Kältespeicher. Es werden Zuschüsse auf Basis von Festbeträgen gewährt. Die Förderhöchstgrenze beträgt 150.000 Euro je Maßnahme.

i) Energieeffizienznetzwerke für Unternehmen

In Energieeffizienznetzwerken (EEN) schließen sich Unternehmen zusammen, die sich gemeinsame Energieeffizienz- und CO₂-Minderungsziele setzen und voneinander lernen wollen. Nach einer erfolgreichen Pilotphase des EEN-Konzepts (u.a. das LEEN (Lernende Energieeffizienz-Netzwerke)-Projekt) hat die Bundesregierung 2014 beschlossen, EEN als eine Hauptsäule des NAPE umzusetzen. Bis 2020 sollen bis zu 500 neue Netzwerke etabliert werden. Hierzu wurde 2014 eine freiwillige Vereinbarung "Initiative Energieeffizienz-Netzwerke" über die Einführung von EEN zwischen der Bundesregierung (BMWi und BMU) und mittlerweile 22 Wirtschaftsverbänden und -organisationen unterzeichnet. Insgesamt sollen dadurch 75 PJ Primärenergie eingespart und 5 Mt CO₂eq Emissionen vermieden werden.

Die Netzwerke sollen Mindestanforderungen erfüllen. Dazu gehören die Durchführung eines Energieaudits auf Unternehmensebene sowie das Setzen eines Einsparziels auf Netzwerk-Ebene auf Basis individueller Unternehmensziele sowie das Heben der identifizierten Einsparpotenziale gemäß Netzwerkziel. Die Netzwerke werden dabei durch einen qualifizierten Energieberater unterstützt. Die umgesetzten Maßnahmen werden im Rahmen eines jährlichen Monitorings erfasst. Für das MMS wird davon ausgegangen, dass das Ziel des NAPE erreicht wird und insgesamt 500 Netzwerke etabliert werden. Im Juni 2018 befanden sich 176 EEN in der Umsetzung bzw. im Betrieb.

j) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up!)*

Die wettbewerblichen Ausschreibungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6.1 zu übergreifenden Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD berücksichtigt.

k) Pilotprogramm Einsparzähler*

Das Pilotprogramm Einsparzähler wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6.1 zu übergreifenden Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD berücksichtigt.

l) Energieauditpflicht für Nicht-KMU (Umsetzung Art. 8 EED)

Betrachtet wird hier die aus Artikel 8 Absatz 4-7 der EU Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU; EED) resultierende Verpflichtung von „Nicht-KMU“, Energieaudits durchzuführen. Die Energieaudits in den betroffenen Unternehmen sollen durch qualifizierte und/oder akkreditierte Experten durchgeführt werden. Die Richtlinie verlangt, dass das erste Energieaudit bis spätestens 5. Dezember 2015 durchgeführt wurde. Zur Umsetzung dieser Vorgaben ist das Energiedienstleis-

tungsgesetz (EDL-G) mit Wirkung zum 22.4.2015 entsprechend geändert worden. Danach sind große Unternehmen (Nicht-KMU, d.h. Unternehmen, die nicht unter die KMU-Definition der Europäischen Kommission fallen (<250 Mitarbeiter bzw. Umsatz < 50 Mio. Euro oder Jahresbilanzsumme <43 Mio. Euro)) verpflichtet, bis zum 5. Dezember 2015 ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchgeführt zu haben und danach mindestens alle vier Jahre ein weiteres Audit. Unternehmen, die über ein nach DIN EN ISO 50001 zertifiziertes Energiemanagementsystem oder ein EMAS-Umweltmanagementsystem verfügen, sind von der Pflicht zur Durchführung von Energieaudits freigestellt.

m) Richtlinie für die Förderung der Abwärmevermeidung und -nutzung

2016 ist die Richtlinie für die Förderung der Abwärmennutzung als Element der „Offensive Abwärmennutzung“ in Kraft getreten. Die am 25. August 2017 geänderte Richtlinie umfasst die finanzielle Förderung von Maßnahmen zur Vermeidung und Nutzung industrieller Abwärme. Die Förderung wird als Investitions- oder Tilgungszuschuss in Höhe von bis zu 40 Prozent der förderfähigen Kosten gewährt. Mit dem Programm sollen technologieoffene Investitionen in die Modernisierung, Erweiterung oder den Neubau von Anlagen gefördert werden, wenn dadurch betriebliche Abwärme vermieden oder bislang ungenutzte Abwärme effizient genutzt wird. Dies umfasst sowohl Investitionen innerhalb als auch außerhalb der Unternehmen und gleichermaßen Maßnahmen zur Verstromung von Abwärme. Es wird davon ausgegangen, dass die jährlichen Fördermittel bis zum Jahr 2020 auf 100 Mio. Euro/a ansteigen.

n) KfW-Energieeffizienzprogramm

Mit dem KfW-Energieeffizienzprogramm vergibt die KfW auch bisher schon zinsvergünstigte Darlehen an gewerbliche Unternehmen für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Das Programm fördert energieeffiziente Produktionsanlagen/-prozesse inkl. Querschnittstechnologien mit dem relativ höchsten Energieeinsparpotenzial. Bei der Fortentwicklung des Programms wurde sowohl ein neuer Einstiegsstandard (10 Prozent Einsparung) als auch ein neuer Premi-umstandard (30 Prozent Einsparung) eingeführt. Damit wird die Förderintensität an der Höhe der Energieeinsparung ausgerichtet, unabhängig von der Unternehmensgröße. Die Finanzierung des Programms erfolgt aus Eigenmitteln der KfW. Es wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Förderfälle pro Jahr von derzeit etwa 1.000 pro Jahr auf 1.700 steigt und langfristig auf diesem Niveau verbleibt. Diese Steigerung um etwa 70 Prozent spiegelt den *NAPE* wider (Öko-Institut & ISI 2018). Bei der Quantifizierung sind insbesondere Überschneidungen mit Programmen im Bereich Energieberatung und Energiemanagement zu beachten.

o) NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen*

Die Kommunalrichtlinie fördert eine große Bandbreite an Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen, die aufgrund ihrer Vielfalt und einer eher indirekten Wirkung nicht quantifiziert werden (z.B. Klimaschutzkonzepte und Klimaschutzmanager). Eine Ausnahme sind die investiven Maßnahmen: Hier stellt die Kommunalrichtlinie Kommunen und öffentlichen Einrichtungen finanzielle Zuschüsse für investive Klimaschutzmaßnahmen zur Verfügung. Diese liegen u.a. in den Bereichen Beleuchtung, Gebäudeklimatisierung oder Rechenzentren. Es werden 20 bis 65 Prozent der Investition als Zuschuss gefördert. Die Quantifizierung der Kommunalrichtlinie konzentriert sich entsprechend auf den Teil der investiven Maßnahmen.

2.7.5.2. Flankierende Instrumente

p) Öffentliche Beschaffung energieeffizienter Produkte

Die Bundesregierung hat im Rahmen ihrer Beschlüsse zur Energiewende vom 6. Juni 2011 die bereits im *Energiekonzept* vom 28. September 2010 enthaltene Ankündigung bestätigt, für die öffentliche Beschaffung hohe Energieeffizienzkriterien als ein wichtiges Kriterium bei der

Vergabe öffentlicher Aufträge rechtlich verbindlich zu verankern. Dementsprechend wurde im Rahmen der Reform des Vergaberechts im April 2016 in die Vergabeverordnung mit § 67 eine Regelung aufgenommen, nach der grundsätzlich Produkte und Dienstleistungen beschafft werden, die im Hinblick auf ihre Energieeffizienz die höchsten Leistungsniveaus haben und zur höchsten Effizienzklasse gehören. Eine entsprechende Regelung findet sich auch in der neuen Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB/A EU 2016). Ergänzt werden diese Regelungen durch die Allgemeinen Vorschriften zur Energieeffizienz (AVV EnEff), die für die öffentliche Beschaffung durch Dienststellen des Bundes noch weitere Vorgaben und Konkretisierungen enthalten.

q) KfW-Umweltprogramm, BMU-Umweltinnovationsprogramm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben

Das KfW-Umweltprogramm bietet gewerblichen Unternehmen Kredite mit günstigem Zins für Investitionen in Umweltschutz und Nachhaltigkeit. Verschiedene Investitionen werden gefördert, darunter zählen zum Beispiel Maßnahmen in den Bereichen Material- und Ressourceneinsparung oder Abfallvermeidung, -behandlung und -verwertung. Investitionen in erneuerbare Energien und Energieeffizienz sind ausgeschlossen, da sie in anderen KfW-Programmen adressiert werden. Mit dem Umweltinnovationsprogramm (UIP) des BMU werden Demonstrationsvorhaben durch Zuschüsse oder zinsverbilligte Kredite gefördert, die innovative, Umwelt entlastende Verfahren oder Verfahrenskombinationen in Deutschland erstmalig großtechnisch umsetzen. Ziel ist es, den Stand der Technik im Umweltschutz fortzuschreiben und eine möglichst große Multiplikatorwirkung zu erzielen.

r) Freiwillige Produktkennzeichnungen für energiebetriebene Produkte (Blauer Engel, Energy Star, EU-Umweltzeichen)*

Die freiwillige Produktkennzeichnung ist als übergreifende Maßnahme in Abschnitt 2.6.3 beschrieben.

s) Mittelstandinitiative Energiewende und Klimaschutz

Die Mittelstandinitiative Energiewende ist eine gemeinsame Initiative von BMWi, BMU, DIHK und ZDH. Sie unterstützt seit dem 1. Januar 2013 Unternehmen bei der Energiewende und gibt durch Qualifizierungs- und Netzwerkprojekte konkrete Hilfestellung für kleine und mittelständische Unternehmen aus Handwerk und Industrie. Sie soll in die Fläche Deutschlands hinein wirken. Dies wird durch die Partner DIHK und ZDH realisiert, da diese ein Kommunikationsnetzwerk in ihren Organisationen zu den angeschlossenen Kammern und Verbänden vor Ort für die Initiative nutzen. Die Arbeit der Mittelstandsinitiative konzentriert sich auf unterschiedliche Bereiche: Information, Ausbildung, Steigerung der Energieeffizienz in Unternehmen und die Umsetzung der Energiewende in Handwerksbetrieben.

t) LED-Leitmarktinitiative* (siehe auch Abschnitt 2.6.3 zu übergreifenden Instrumenten)

Die LED-Leitmarktinitiative bündelt verschiedene Aktivitäten im Bereich der Kommunikation, Förderung und Forschung, um die bestehenden Hemmnisse bei der Nutzung von effizienten Beleuchtungen mit LED-Technologie abzubauen. Die Marktdurchdringung von LED soll damit deutlich gesteigert werden.

u) Förderung Contracting - Ausfallbürgschaften der Bürgschaftsbanken für Contracting-Finanzierungen/Förderprogramm Einsparcontracting (siehe auch Abschnitt 2.6.3 zu übergreifenden Instrumenten)*

Auf Grund der zum Teil langen Abschreibungsdauern bei Energieeffizienzinvestitionen wird von Kreditgebern das Risiko eines Contractingmodells gescheut. Durch die Einbindung von Bürg-

schaftsbanken in den Contractingmarkt sollen diese Risiken für den Kreditgeber minimiert werden.

v) Verbesserung der Rahmenbedingungen für Energiedienstleistungen*

Energiedienstleistungen benötigen einen klaren Rahmen zu Ihrer Umsetzung. Durch eine Weiterentwicklung des rechtlichen und ökonomischen Rahmens soll der Markt für Energiedienstleistungen weiter gestärkt werden und neuen Akteuren neben den bisherigen der Marktzutritt ermöglicht werden.

w) Stärkung der Forschung für energieeffiziente und ressourcenschonende Industrieprozesse*

Die Bundesregierung hat seit 2012 mehr als 215 Mio. Euro für die Projektförderung im Bereich Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen bereitgestellt. Vorhaben und Initiativen zu Forschung, Entwicklung und Demonstration für energieeffiziente und ressourcenschonende Anwendungen in der Industrie wie das Kopernikus-Projekt „SynErgie“ oder das Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe stärken die Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb und tragen zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele bei. Eine Übersicht über die Forschungsförderung gibt der Bundesbericht Energieforschung.²³

x) Unterstützung der Marktüberwachung*

Die Stärkung der Marktüberwachung wird entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.6.3 als flankierendes Instrument berücksichtigt.

y) Verabschiedung Verpackungsgesetz und Novellierung Gewerbeabfallverordnung

2017 wurde das neue Verpackungsgesetz verabschiedet und die Gewerbeabfallverordnung novelliert. Beide Rechtsetzungsvorhaben sollen das Recycling weiter stärken.

Mit dem Verpackungsgesetz werden strengere Quotenvorgaben und ein konsequentes Konzept zu deren Überwachung und Weiterentwicklung eingeführt, was zu Steigerungen der Recyclingmengen an Kunststoffen und Metallen führen wird.

Ähnliche Effekte wird die neue Gewerbeabfallverordnung durch Vorgaben für eine striktere Getrennterfassung und die Sortierung und Verwertung von gemischten Gewerbeabfällen bewirken. Mehrere Studien zeigen, dass damit etwa eine Mt CO₂-Äq mehr eingespart werden können, als bei der heutigen Praxis. Unterstützt wird diese Reduktion durch Maßnahmen zur Abfallvermeidung und Ressourcenschutz (z.B. Steigerung der Wiederverwendung), wie im nationalen Abfallvermeidungsprogramm und in ProgRes II beschrieben.

Durch die Steigerung des Kunststoffrecyclings, werden außerdem die Treibhausgasemissionen aus Müllverbrennungsanlagen reduziert.

z) Aufbau und Betrieb von kommunalen Energieeffizienznetzwerken

Mit diesem Programm wird die Gewinnung von Teilnehmern an Energieeffizienznetzwerken von Kommunen, der Aufbau und Betrieb dieser Netzwerke unterstützt und begleitet sowie die Qualitätssicherung gewährleistet. Auf Erkenntnissen aus bereits durchgeführten Energieberatungen oder vorliegenden Klimaschutzplänen, wie sie im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert werden, kann bei der Durchführung der Netzwerke aufgebaut werden. Die zu Grunde liegende Richtlinie „Energieberatung und Energieeffizienz-Netzwerke für Kommunen und gemeinnützige Organisationen“ des BMWi wurde ab dem 1. Januar 2017 für die beiden Module umgesetzt. Energieeffizienz-Netzwerke von Kommunen und Energieanalysen für öffentliche Abwasseranlagen vom BMU übernommen und als „Kommunale Netzwerke Richtlinie“ im Rah-

²³ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2018.pdf>

men der Nationalen Klimaschutzinitiative fortgeführt. Zudem wurde die Richtlinie um das Thema Ressourceneffizienz erweitert (siehe auch Abschnitt 2.2.3.1.3 p).

aa) Förderung von „Energieeffizienzmanagern“ zur Hebung von Potenzialen z. B. in Gewerbegebieten

Die oben genannten Maßnahmen zielen vorrangig auf einzelne Betriebe ab. Überbetriebliche Synergieeffekte bleiben dabei ungenutzt. Durch eine Förderung von Energieeffizienzmanagern sollen einzelbetriebliche sowie überbetriebliche Energieeffizienzpotenziale, beispielsweise in Gewerbegebieten, aufgedeckt und gemeinsam mit den beteiligten Betrieben gehoben werden. Energieeffizienzmanager sollen dazu die energieverbrauchsrelevanten Datengrundlagen der beteiligten Betriebe analysieren, zu nutzbaren Förderprogrammen beraten und wirtschaftliche Effizienzansätze aufzeigen sowie die konkrete Umsetzung von Maßnahmen unterstützen und begleiten. Eine Förderung solcher Energieeffizienzmanager ist im Rahmen der Kommunalrichtlinie (siehe Abschnitt 2.7.3.3 r)) als „Klimaschutzmanager“ sowie im Rahmen der Energetischen Stadtanierung als „Sanierungsmanager“ (siehe Abschnitt 2.7.3.3 q)) möglich.

bb) Energieberatung für landwirtschaftliche Unternehmen

Das Förderprogramm bezuschusst Energieberatungen speziell für landwirtschaftliche Betriebe. Es wurde angestrebt, über einen Zeitraum von drei Jahren bis zu 4.000 Betriebe zu erreichen. Das Programm startete im Jahr 2016 und ist zunächst bis 2021 ausgelegt.

cc) Bundesprogramm zur Förderung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau

Das zeitweise ausgesetzte Förderprogramm ist für den Zeitraum 2016-2021 wieder aufgesetzt worden.

dd) Energieeffizienz in der Abwasserbehandlung.

Es werden Energiechecks und Energieanalysen in kommunalen Abwasseranlagen durchgeführt (siehe auch Abschnitt 2.7.3.3 p)) und in diesem Abschnitt unter y). Für eine Zeit von fünf Jahren wird die Durchführung von Energiechecks und -analysen gefördert.

ee) Branchenspezifische Effizienzkampagnen

Existierende Instrumente fördern vorwiegend die Umsetzung von branchenübergreifenden Effizienzmaßnahmen. Viele Effizienzmöglichkeiten sind jedoch eher durch einen branchenspezifischen Charakter geprägt. Diese gilt es mit den auf einzelne Branchen ausgerichteten Effizienzkampagnen zu heben.

ff) Initiativen zur Förderung der Ressourceneffizienz

Das VDI Zentrum Ressourceneffizienz stellt eine kostenfreie und umfassende Liste mit den Instrumenten (Methoden, Arbeitsmittel und Tools) der Richtlinie VDI 4801 („Ressourceneffizienz in KMU“) zur Verfügung. Ziel ist es, die Produktion effizienter zu gestalten. Der Rohstoffeinsatz soll reduziert werden, um so Produktionskosten zu senken, Ausschuss zu minimieren und die Produktivität zu steigern. Das Netzwerk Ressourceneffizienz (NeRess) bietet Informationen zu ressourcenschonender Produktion in gebündelter Form und fördert den Austausch zwischen Unternehmen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie führt zudem zusammen mit dem IW Köln eine Studie zum Thema „Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz in Unternehmen“ durch. Im Rahmen dieser Studie, die auf zwei Jahre angelegt ist, soll u.a. beleuchtet werden, welchen Beitrag neue und innovative Geschäftsmodelle zur Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU und Großunternehmen leisten können.

Ein wesentlicher Treiber für Ressourceneffizienz ist die Schlüsseltechnologie Leichtbau. Sie basiert auf dem Prinzip der Gewichtseinsparung bei gleichzeitiger Verringerung des Energieein-

satzes und Senkung der Emissionen sowie Verbesserung der Funktionalität. Der Leichtbau ist ein wesentlicher Game-Changer in energieintensiven Industrien und beim Ausbau der E-Mobilität. Durch die Gewichtsreduzierung von Baugruppen können die CO₂-Emissionen signifikant gesenkt und die Reichweite des Elektroautos erhöht werden. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat daher die Initiative Leichtbau ins Leben gerufen, die sich speziell mit Fragen des Leichtbaus beschäftigt. Sie besteht aus einer Geschäftsstelle Leichtbau, die als nationaler und internationaler Netzwerkknotenpunkt agiert, einem Strategiekreis der Länder-Leichtbauorganisationen sowie einem Beirat der Werkstoffvertreter. Zudem wird halbjährlich das Forum Leichtbau durchgeführt, auf dem sich die Leichtbau-Community zu aktuellen Themen der Schlüsseltechnologie Leichtbau austauschen kann. Auf der interaktiven Internetseite www.leichtbauatlas.de können sich Akteure darüber hinaus vernetzen und ihre Leichtbau-Technologien und Anwendungen präsentieren. Um den Technologie- und Wissenstransfer branchen- und materialübergreifend zu fördern, hat BMWi zudem ein Technologietransfer-Programm Leichtbau entwickelt. Das Programm soll den Leichtbau in die breite industrielle Anwendung zu bringen, um damit langfristig einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz zu leisten.

2.7.6. Industrieprozesse und Produktverwendung (CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen)

a) EU-Emissionshandel* (siehe auch Abschnitt 2.6 zu übergreifenden Instrumenten)

Der EU-Emissionshandel erfasst auch CO₂-Emissionen aus Industrieprozessen (z.B. Zement- oder Kalkherstellung). Anfang 2013 wurden die N₂O-Emissionen der Adipin- und Salpetersäureproduktion sowie der Herstellung von Glyoxal und Glyoxylsäure in den EU-Emissionshandel einbezogen.

Darüber hinaus gibt es keine Maßnahmen, die direkt auf die CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen abzielen.

2.7.7. Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase)

Für die Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gase) sind die folgenden Maßnahmen von Relevanz:

- a) Die **Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase** regelt eine EU-weite schrittweise Reduktion der bis 2030 neu auf den Markt gebrachten Mengen an HFKW („Phase-Down“) und enthält darüber hinaus zahlreiche Pflichten für Anlagenbetreiber sowie einige Verwendungsverbote.
- b) Die **Chemikalien-Klimaschutzverordnung** enthält unter anderem über die EU-F-Gase-Verordnung hinausgehende Grenzwerte für maximale Leckageraten an Anlagen, in denen HFKW verwendet werden.
- c) Die **MAC-Richtlinie 2006/40/EG** (Mobile air conditioning) begrenzt das maximale Treibhausgaspotenzial (GWP) von Kältemitteln, die in Klimaanlage neuer Fahrzeuge bzw. Fahrzeugtypen verwendet werden dürfen.
- d) Im **EU-Emissionshandel (ETS)** sind die **FKW-Emissionen aus der Primär-Aluminium-Produktion** erfasst.
- e) In der **Selbstverpflichtung der SF₆-Produzenten, Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln >1kV** (bis 2020) sind Emissionsbegrenzungsmaßnahmen für SF₆ festgelegt.
- f) In der **Kälte-Klima-Richtlinie** in der Fassung vom 1.12.2016 (Investitionsförderprogramm im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative) werden Anreize zur Investition in Anla-

gen mit halogenfreien Kältemitteln gesetzt. Für Nachrüstungen mit halogenhaltigen Kältemitteln wird das maximale Treibhausgaspotenzial (GWP) begrenzt.

2.7.8. Landwirtschaft

Für die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft wird die vom Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI, Offermann et. al 2018) erstellte Projektion von 2017 bis 2027 übernommen. Diese wurde bis 2035 erweitert. Die Berechnungen für die Quellgruppe Landwirtschaft erfolgen mit dem für die Emissionsberichterstattung eingesetzten Modell GAS-EM des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz.

Die ökonomischen Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft ergeben sich vorwiegend aus der Marktentwicklung, aus der Förderpolitik der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) und aus dem Ordnungsrecht. Hinzu kommen Entscheidungen aus der Ressourcen- und Energiepolitik, die beeinflussen, in welchem Maße die Stoff- und Energienutzung von Anbauprodukten und Reststoffen aus der Landwirtschaft stattfindet, mit Auswirkungen auf die Flächennutzung und auf die Emissionen in diesem Sektor.

Ein wichtiges Element der Umsetzung der GAP in Deutschland ist die Beibehaltung entkoppelter Direktzahlungen. Von den seit 2015 erweiterten Möglichkeiten für gekoppelte Prämienzahlungen z. B. für Mutterkuh- und Schafhaltung wird kein Gebrauch gemacht. Weiterhin berücksichtigt die Thünen-Baseline die Folgen der im Jahr 2015 beendeten Milchquotenregelung, und die daraus resultierende Ausdehnung der Milchproduktion.

Mit der im Dezember 2013 beschlossenen GAP-Reform, die für den Finanzierungszeitraum 2014-2020 gilt, wurde das sogenannte Greening der Direktzahlungen eingeführt. Das Greening ist obligatorisch und bindet den Erhalt von 30 Prozent der Direktzahlungen an die Landwirte an drei Anforderungen:

1. Erhalt des Dauergrünlands,
2. Anbaudiversifizierung und
3. Ausweisung einer Flächennutzung im Umweltinteresse („ökologischen Vorrangflächen“) auf 5 Prozent der Ackerfläche (dazu zählen Landschaftselemente, Pufferstreifen, aber auch der Anbau von Leguminosen und Zwischenfrüchten etc.) in Betrieben mit mehr als 15 ha Ackerfläche.

Das Greening wird nach der nationalen Umsetzung der GAP-Reform ab 1. Januar 2015 angewendet. Der Erhalt von Dauergrünland ist die Greening-Anforderung mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Treibhausgasbilanz der Landwirtschaft. Die Wirkungen werden in der Quellgruppe LULUCF berichtet, siehe Abschnitt 3.1.12. Die beiden anderen Greening-Anforderungen können zu geringen Emissionsreduktionen in der Landwirtschaft führen (z.B. durch Bindung von Luftstickstoff bei Ausdehnung des Anbaus von Leguminosen, Verringerung der N-Düngung durch Ausdehnung von Stilllegungsflächen). Die Einrichtung „ökologischer Vorrangflächen“ zielt vorrangig auf den Erhalt der Biodiversität ab. Die im Mai 2018 von der Europäischen Kommission vorgelegten Vorschläge für die GAP nach 2020 sehen eine Überführung von Greening und Cross Compliance-Anforderungen in die neue „Konditionalität“ vor. Da es dazu noch keine Beschlüsse gibt, können konkrete Auswirkungen der nächsten GAP-Reform nicht berücksichtigt werden.

In der zweiten Säule der Agrarpolitik werden die bisherigen Agrarumweltmaßnahmen als „Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen“ fortgeführt, und der ökologische Landbau wird nun über eine eigene Maßnahme gefördert. Die Fortschreibung der Fördermaßnahmen der zweiten Säule der EU-Agrarpolitik basiert auf der Annahme, dass der Finanzierungsrahmen und die Programmplanung für den Zeitraum 2014 bis 2020 über das Jahr 2020 hinaus entsprechend fortgeschrieben werden können.

2.7.8.1. Finanzielle Anreize

- a) Aufgrund der Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien über das EEG wird ein Anstieg der Wirtschaftsdünger-Nutzung (Gülle und Mist aus der Tierhaltung) in Biogasanlagen bis 2025 auf 30 Prozent des gesamten Wirtschaftsdüngeraufkommens angenommen. Danach wird dieser Anteil bis 2035 konstant fortgeschrieben. Der angenommene Zubau basiert auf EEG 2017, (§ 4 (4), § 28 (3) und § 44). Im Rahmen des „Ausbaupfads EEG 2017“ werden künftig auch bestehende Anlagen gefördert, wenn sie Auflagen bezüglich der Gärsubstratzusammensetzung einhalten. Der maximale Substrateinsatz von Mais und Getreide wird ab dem Jahr 2017/18 schrittweise auf unter 50 Prozent abgesenkt. Es wird daher angenommen, dass Biogasaltanlagen, die eine neue Förderung nach dem „Ausbaupfad EEG 2017“ in Anspruch nehmen, ihren Maisanteil im Gärsubstrat entsprechend reduzieren werden. Die installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen nimmt den Annahmen zufolge unter Einfluss des „Ausbaupfads EEG 2017“ bis 2027 um rund 10 Prozent ab. In der Folge kommt es zu einem Rückgang des Silomaisanbaus zur Gärsubstraterzeugung und einer Ausdehnung sonstiger Kulturen zum Gärsubstratanbau wie Feld- und Klee gras. Der Anteil von Anlagen ohne gasdichte Abdeckung der Gärrestlager bleibt auf dem Niveau von 2015. Durch eine verstärkte Kofermentierung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen werden Methan- und Lachgasemissionen aus der Dunglagerung vermieden.
- b) Fortschreibung des Flächenzuwachses des ökologischen Landbaus wie im Durchschnitt des Zeitraums 2010 bis 2015: Ziel der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2016) ist ein Flächenanteil von 20 Prozent ökologischer Landbau an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Zur Umsetzung dieses Ziels hat das BMEL in einem Beteiligungsprozess die Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau erarbeitet und im Jahr 2017 veröffentlicht. Darin steht die Schaffung geeigneter politischer Rahmenbedingungen für die relevanten Wirtschaftsbeteiligten im Vordergrund. Zudem gibt die Zukunftsstrategie einen Blick auf die Durchlässigkeit der ökologischen und der konventionellen Produktionsweise – von einem Nebeneinander zu einem Miteinander. Im nationalen Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) wurde die Förderung des ökologischen Landbaus in der Periode 2014–2017 angehoben. Durchschnittlich beträgt der Anstieg der Förderung ca. 20 Prozent. Bis zum Jahr 2030 wird von einer Ausdehnung der ökologisch bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche von derzeit 7,5 Prozent auf 12 Prozent ausgegangen. Dieser Annahme liegen die durchschnittlichen Flächenzuwächse zwischen 2005 und 2025 zugrunde. Aus den letzten Jahren lässt sich kein klarer Trend ablesen. So lagen die Flächenzuwächse in den Jahren 2013 und 2014 bei 1 bzw. 0,3 %. In 2016 und 2017 lagen sie bei ca. 15 und 10 %. So hohe Zuwachsraten hatte es zuletzt 2000 und 2001 gegeben, allerdings sind sie nach 2001 wieder deutlich zurückgegangen. Der Ausbau des Flächenanteils des ökologischen Landbaus trägt in erster Linie durch den Verzicht auf Stickstoff-Mineraldünger zur Minderung des Stickstoffumsatzes und der Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden bei.

2.7.8.2. Ordnungsrecht

- c) Die Novelle der Düngeverordnung ist im Juni 2017 in Kraft getreten. Die Novelle umfasst neue und erhöhte Anforderungen in den Bereichen Düngeplanung, Bewertung der betrieblichen Nährstoffbilanzen (Nährstoffvergleich), Sperrfristen für die Ausbringung von Düngemitteln im Herbst und Winter, Mindestlagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger, Anforderungen an emissionsreduzierte Ausbringungstechniken und -verfahren sowie Obergrenzen für die Ausbringung von Stickstoff aus organischen Düngemitteln pro Hektar. Diese lassen einen effizienteren und ressourcenschonenderen Einsatz von Stickstoff und somit einen Rückgang des Stickstoffüberschusses erwarten. Um Emissionen reaktiven Stickstoffs im

Sektor Landwirtschaft zu verringern, wird im Zuge von Effizienzsteigerungen bei der Düngung eine deutliche Senkung der Stickstoffüberschüsse angestrebt. Dies hat eine Verminderung der Lachgasemissionen aus der Düngung zur Folge.

- d) Zwischen 2028 und 2032 soll gemäß Deutscher Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2016) der Stickstoffüberschuss in der Gesamtbilanz auf 70 kg N/ha verringert werden. Es wird angenommen, dass die Steigerung der Stickstoffausnutzung und die Begrenzung der N-Salden zu einer Senkung der Stickstoff-Mineraldüngung um ca. 20 Prozent gegenüber den Jahren 2010 bis 2014 führen.

2.7.9. LULUCF

In der Quellgruppe LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) traten im Jahr 2016 im Saldo über alle Landnutzungen Netto-Kohlenstofffestlegungen in Höhe von ca. 14,5 Mt CO₂-Äq. auf. In den Kategorien Ackernutzung, Grünlandnutzung, Siedlungen und Feuchtgebiete entstanden Netto-Emissionen in Höhe von zusammen 45,5 Mt CO₂-Äq. Der größte Teil stammt aus der Entwässerung organischer Böden zur landwirtschaftlichen Nutzung. Emissionen entstehen aber auch aus Siedlungsflächen auf Moorböden, aus dem Torfabbau und aus der Umwandlung von Grünland in Ackerland. Innerhalb dieser Flächennutzungen wird in geringem Umfang auch Kohlenstoff festgelegt, z. B. durch Umwandlung von Ackerland in Grünland und den Aufwuchs von Gehölzen auf Acker- und Grünlandflächen. In Wäldern und Holzprodukten werden zusammen 60 Mt CO₂-Äq. pro Jahr an Kohlenstoffvorräten aufgebaut (in Wäldern 57,7 Mt, in Holzprodukten 2,3 Mt). Maßnahmen im LULUCF-Sektor adressieren die Umwandlung von Grünland in Ackerland, landwirtschaftliche Flächen auf organischen Böden (Moorstandorte) und den Erhalt von Wald als Senke. Darüber hinaus ist in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel festgelegt, den Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche (Flächenverbrauch) bis 2020 auf 30 ha pro Tag zu reduzieren (Bundesregierung 2016).

- a) Begrenzung der Nutzung neuer Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke bis 2030 auf unter 30 Hektar pro Tag.
- b) Die Grünlanderhaltung im Rahmen der Greening-Auflagen der GAP wird in Deutschland besonders anspruchsvoll umgesetzt. Nach der bis zum Jahr 2020 geltenden Regelung müssen Betriebe, die Direktzahlungen erhalten und den Greening-Auflagen unterliegen, vor einer Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland eine behördliche Autorisierung einholen und darüber hinaus eine gleich große Ersatzfläche nachweisen, auf der neues Dauergrünland etabliert werden muss. Die Erhaltung des Dauergrünlands wird zudem durch neue Regelungen einer Reihe von Bundesländern unterstützt. Wie die Flächennutzungsstatistik zeigt, ist der Rückgang der Dauergrünlandfläche nach 2010 zum Erliegen gekommen. Für die Zeit nach 2020 wird angenommen dass die Grünlanderhaltung über die Geltung der aktuellen EU-Agrarpolitik hinaus bis zum Jahr 2035 fortgesetzt wird.
- c) In Bezug auf Waldbewirtschaftung und den Holzproduktespeicher wird auf Basis der aktuellen, am Thünen-Institut vorliegenden Daten und Berechnungen analysiert, inwieweit Wald und Holzprodukte in Deutschland weiterhin eine Kohlenstoffsенке bleiben. Es wird angenommen, dass sich die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Waldnutzung nicht ändern. Dabei wird entsprechend der durch (IPCC 2013) beschriebenen Methodik unterstellt, dass sich die Nutzungsstruktur bei den Holzprodukten nicht ändert.
- d) Der Schutz von Moorböden ist eine weitere Maßnahme im *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020*. Alle moorreichen Länder haben Moorschutzprogramme aufgestellt und fördern Moorschutzprojekte mit Finanzierungen aus dem Europäischen Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) und aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), z.T. untersetzt mit konkreten flächenbezogenen Zielen. Die Umsetzung

von Moorschutzprojekten durch die Länder wird daher als Maßnahme des MMS abgebildet. Die Abschätzung der Wirkungen erfolgt auf Basis einer Fortschreibung der in der aktuellen Finanzierungsperiode für den Moorschutz verfügbaren Budgets und der Kosten und Flächenumfänge bereits umgesetzter Projekte. Es wird angenommen, dass bis zum Jahr 2030 16.000 ha Acker auf Moorböden zu Grünland umgewandelt werden, 53.700 ha Grünland vernässt werden (Umwandlung in Feuchtgebiet), und 17.900 ha entwässerte Feuchtgebietsflächen vernässt werden.

2.7.10. Abfallwirtschaft

Vorbemerkung: Hier werden nur Maßnahmen beschrieben, die nicht-energetische Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft adressieren. Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs und/oder der energiebedingten Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft sind entsprechend der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars in den Abschnitten 2.7 bis 2.7.5 beschrieben.

Die maßgeblichen klimawirksamen regulatorischen Rahmenbedingungen für den Abfallsektor waren seit 1993 das Wirken der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) nachfolgend seit 2001 der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) und nachfolgend ab 2009 der Deponieverordnung, die Regelungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) von 1996 bzw. ab 2012 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWVG), sowie die Regelungen der Gewerbeabfallverordnung und der Verpackungsverordnung nachfolgend des Verpackungsgesetzes von 2017.

2.7.10.1. Ordnungsrecht

a) Deponieverordnung

Die relevanten rechtlichen Regelungen entstammen insbesondere der Abfallablagerungsverordnung von 2001, die ab dem 1. Juni 2005 die Ablagerung unbehandelter Organik haltiger Abfälle (und damit der für die Ausgasung von Methan verantwortlichen organischen Stoffe) unterbindet und eine anderweitige Entsorgung – Abfallvorbehandlung – z.B. thermische Behandlung (insbesondere) oder mechanisch-biologische-Abfallbehandlung erfordert. Die Regelungen der Abfallablagerungsverordnung sind 2009 in die Deponieverordnung eingeflossen, die auch die diesbezüglichen Regelungen der TASI ersetzt.

b) Kreislaufwirtschaftsgesetz

Am 30.3.2011 hat die Bundesregierung die Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes beschlossen. Das Gesetz ist am 1. Juni 2012 in Kraft getreten. Durch Umsetzung der fünfstufigen Abfallhierarchie der EU-Abfallrahmenrichtlinie wird dem Recycling eine höhere Bedeutung als der energetischen Verwertung beigemessen. Gemäß der Novelle dieser Richtlinie aus dem Jahr 2018 müssen ab dem Jahr 2025 mindestens 55 Prozent aller Siedlungsabfälle recycelt werden. Seit 1.1.2015 sind zudem nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz überlassungspflichtige Bioabfälle aus privaten Haushaltungen flächendeckend getrennt zu erfassen und zu verwerten. Seitdem haben zahlreiche weitere Landkreise und Kommunen die getrennte Bioabfallerfassung und -verwertung neu eingeführt. Eine vollständige Getrenntfassung ist jedoch noch nicht umgesetzt. Bislang sind ca. 55 Prozent der Einwohner Deutschlands an die getrennte Bioabfallerfassung angeschlossen.

c) Verpackungsgesetz

Im Frühjahr 2017 wurde das Verpackungsgesetz verabschiedet, welches im Januar 2019 in Kraft getreten ist und die Verpackungsverordnung von 1998 ablöst. Darin werden die Verwertungsquoten für Verpackungen in einem zweistufigen Verfahren erheblich angehoben. Die erste An-

hebung erfolgt mit Inkrafttreten ab Januar 2019, die zweite Anhebung ab Januar 2022. Emissionsreduktionen durch die Steigerung des Recycling-Anteils wirken sich jedoch nicht auf die Treibhausgasemissionen im Sektor Abfall aus, sondern in den Sektoren Energie und Industrie, wenn z.B. aufgrund zunehmender Anteile beim Recycling weniger dieser Abfälle verbrannt werden.

d) Gewerbeabfallverordnung

Die neue Gewerbeabfallverordnung ist am 1.8.2017 in Kraft getreten. Darin werden insbesondere die Anforderungen der fünfstufigen Abfallhierarchie für den Bereich der gewerblichen Siedlungsabfälle und bestimmter Bau- und Abbruchabfälle umgesetzt. Neben einer restriktiven Getrennthaltungspflicht wird eine Vorbehandlungspflicht für gewerbliche Abfallgemische konkretisiert und Anforderungen an die Vorbehandlungsanlagen festgeschrieben²⁴. Ziel ist ein verstärktes Recycling bei Gewerbeabfällen zu erreichen. Emissionsreduktionen durch die Steigerung des Recyclings in diesem Bereich werden sich jedoch nicht auf die Treibhausgasemissionen im Sektor Abfall auswirken, sondern in den Sektoren Energie und Industrie, wenn z.B. aufgrund zunehmender Anteile beim Recycling weniger dieser Abfälle verbrannt werden.

2.7.10.2. Finanzielle Anreize

e) Förderung der Deponiebelüftung

Seit 2013 wird die direkte Deponiebelüftung zur Reduktion des Methanbildungspotenzials im Rahmen der NKI-Kommunalrichtlinie gefördert. Durch Weiterführung und Intensivierung dieser Maßnahme, wie im *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020* beschrieben, insbesondere durch intensivere Information und Motivation der betroffenen Akteure sowie Erhöhung der maximalen Zuwendung, wurden bis Oktober 2018 bisher 43 beantragte Projekte genehmigt. Damit ist das Ziel, bis 2018 insgesamt etwa 120, insbesondere größere Deponien einer Belüftung zuzuführen, nicht erreicht worden. In der Programmlaufzeit der aktuellen NKI-Kommunalrichtlinie war die Förderung der Deponiebelüftung bis Ende 2019 gesichert. Eine Weiterführung bis zum Jahr 2022 ist inzwischen beschlossen. Am 1.1.2019 ist die neue Kommunalrichtlinie in Kraft getreten. Eine Förderung der Deponiebelüftung ist somit bis Ende 2022 gesichert. Innerhalb des Mit-Maßnahmen-Szenarios werden die letzten Belüftungsmaßnahmen 2022 genehmigt und im Jahr 2024 beginnen. Die damit verbundenen Einsparungen werden innerhalb der kommenden 10 Jahre realisiert. Es wird angenommen, dass die Maßnahmen 2034 abgeschlossen sein werden.

²⁴ Diese Vorschriften gelten ab dem 1. Januar 2019: [http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/wasser-abfallwirtschaft-download/artikel/gewerbeabfallverordnung-gewabfv/?tx_ttnews\[backPid\]=872&cHash=4df6a3326d7b79d274694322d9037fc6](http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/wasser-abfallwirtschaft-download/artikel/gewerbeabfallverordnung-gewabfv/?tx_ttnews[backPid]=872&cHash=4df6a3326d7b79d274694322d9037fc6)

3. Quantifizierung der Wirkungen der Maßnahmen und Instrumente im Klimaschutz

3.

3.1. Sektorale Projektionen

3.1.1. Verkehr

3.1.1.1. Methodik

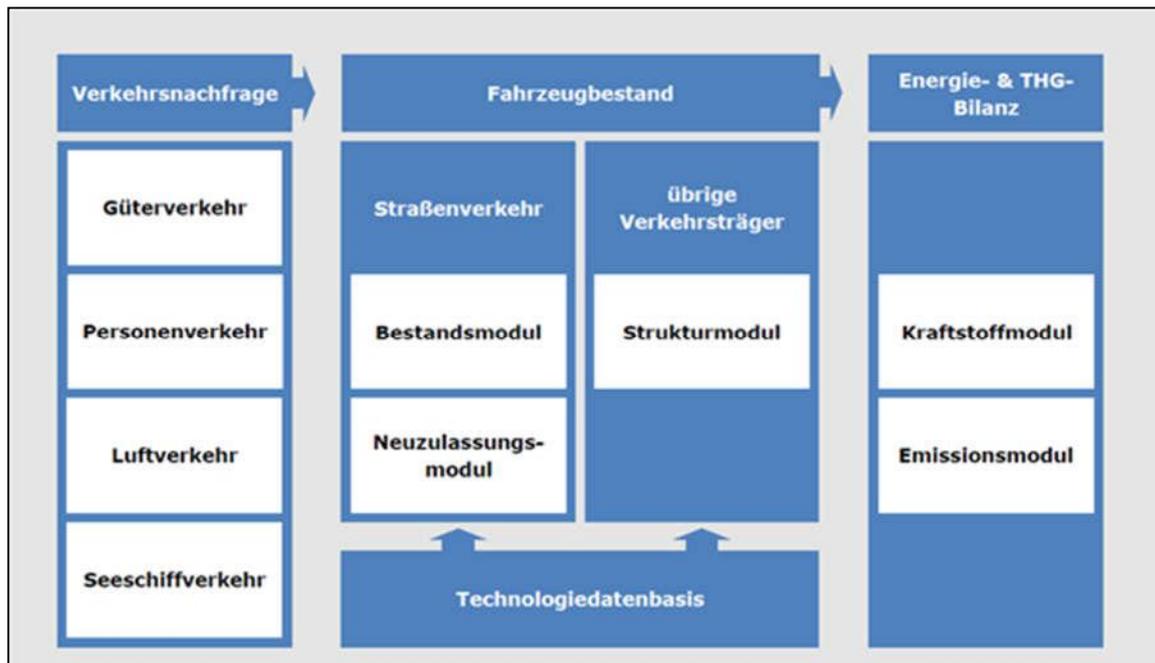
Die Grundlage der Bestimmung des Endenergieverbrauchs und der erzeugten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors bildet das vom Öko-Institut im Rahmen der Studie „Treibhausgasneutraler Verkehr 2050“ (Öko-Institut 2013) entwickelte TEMPS²⁵-Modell, welches in mehreren Projekten angewendet und weiterentwickelt wurde.

TEMPS ermöglicht es, die Entwicklung von Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen des Verkehrs für unterschiedliche Szenarien zu quantifizieren und dabei Veränderungen der Verkehrsnachfrage, im Fahrzeugbestand und beim Kraftstoffeinsatz abzubilden. Das Modell besteht aus den drei Komponenten Verkehrsnachfrage, Fahrzeugbestand (inkl. Technologiedatenbank) und Energie- & Treibhausgasbilanz (Abbildung 11). Alle Entwicklungen können dabei von 2010 in jahresfeinen Schritten bis 2050 modelliert werden, wobei diese Studie auf den Zeitraum bis 2035 begrenzt wird.

Zur Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage werden Preiselastizitäten genutzt, die einer Literaturrecherche entnommen sind. Für den Personenverkehr wird auf empirisch abgeleitete Werte von Hautzinger et al. (2004) zurückgegriffen. Für den motorisierten Individualverkehr ist darin eine Preiselastizität von -0,3 auf Kraftstoffpreisänderungen sowie eine Kreuzpreiselastizität für den öffentlichen Verkehr von 0,13 angegeben. Im Güterverkehr sind Elastizitäten aus de Jong et al. (2010) entnommen. Für Änderungen der Wegekosten im Straßengüterverkehr wird dort anhand einer Literaturrecherche ein konsistentes Set an Elastizitäten angegeben und mit -0,6 in Bezug auf die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs bestimmt. Die Kreuzelastizität für andere Verkehrsträgeroptionen wird dabei auf 0,3 abgeschätzt, sodass in dieser Studie für den Schienengüterverkehr und die Binnenschifffahrt jeweils mit einer Kreuzelastizität von 0,15 auf Wegekostenänderungen im Straßengüterverkehr gerechnet wird.

²⁵ TEMPS – Transport Emissions and Policy Scenarios

Abbildung 11: Flussdiagramm zum TEMPS-Modell



Quelle: Öko-Institut et al. 2017a

Die Komponente *Fahrzeugbestand* des TEMPS-Modells dient dazu, die Technologie- und Effizienzentwicklung der Verkehrsträger abzubilden. Dies erfolgt aufgrund der Dominanz des Straßenverkehrs bei Pkw, Lkw und Bussen detailliert auf Fahrzeugebene (auf Basis verschiedener Kategorien); für die übrigen Verkehrsträger wird die Entwicklung auf einer aggregierteren Systemebene ohne Bezug auf Einzelfahrzeuge modelliert. Für den Bestand im Jahr 2010 dient dabei für alle Verkehrsträger TREMOD (Knörr et al. 2014) als Grundlage. Die Fortschreibung der Effizienzentwicklung und der Neuzulassungen variiert je nach Szenario in Abhängigkeit von den angenommenen Maßnahmen.

Die Komponente Energie- und Treibhausgasbilanz des TEMPS-Modells berechnet mittels der spezifischen Energieverbräuche der Verkehrsträger in Jahresschritten den Endenergieverbrauch für den Verkehrssektor, der für die Berechnung der Treibhausgasemissionen benötigt wird. Der Endenergieverbrauch bezieht sich in diesem Papier auf die Berichterstattung gemäß des Zentralen Systems Emissionen (ZSE). Da die Modellierung des Verkehrssektors in dieser Studie auf das Inlandsprinzip zurückgreift, wird eine Kalibrierung auf die Energiebilanz für die vorliegenden Jahre (einschließlich 2017) jahresscharf für die Energieträger vorgenommen. Die somit ermittelten Kalibrierungsfaktoren für 2017 werden in der Bestimmung des Endenergieverbrauchs bis 2035 als konstant angesetzt.

Generell ist auf einige unterschiedliche Zuordnungen zwischen Treibhausgasinventar einerseits und Energiebilanz andererseits hinzuweisen:

- Im *Treibhausgasinventar* (umfasst jeweils sowohl Emissionen als auch Aktivitätsraten²⁶) werden dem nationalen Verkehr folgende Bereiche zugeordnet: Ziviler inländischer Flugverkehr, Straßen- und Schienenverkehr, Binnen- und Küstenschiffahrt sowie Pipelinetransport. Der internationale zivile Flugverkehr und die internationale Seeschiffahrt sind nur nachrichtlich als sogenannte „memo items“ enthalten. Land- und forstwirtschaftlicher Ver-

²⁶ Im Treibhausgasinventar wird nicht von Energieverbräuchen gesprochen sondern allgemeiner von Aktivitätsraten.

kehr ist in der Quellgruppe Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei enthalten und der bauwirtschaftliche Verkehr in der Industrie. Militärischer Verkehr wird der Quellgruppe „andere Bereiche“ zugeordnet. Außerdem ist anzumerken, dass im Treibhausgasinventar auch Schmierstoffe im Energieverbrauch des Verkehrs enthalten sind.²⁷

- ▶ In der *Energiebilanz* sind im Endenergieverbrauch des Verkehrs der zivile Flugverkehr (Kerosinabsatz in Deutschland), der Straßen- und Schienenverkehr sowie Binnen- und Küstenschifffahrt enthalten. Hochseebunkerungen der internationalen Seeschifffahrt sind weder im Endenergie- noch im Primärenergieverbrauch enthalten.²⁸ Land-, forst- und bauwirtschaftlicher sowie militärischer Verkehr sind im Endenergieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen enthalten. Der Energiebedarf von Erdgasverdichtern ist kein Endenergiebedarf, sondern er gehört in der Energiebilanz zum Umwandlungssektor. Schmierstoffe sind in der Energiebilanz nicht als Endenergieverbrauch des Verkehrs sondern als nicht-energetischer Verbrauch erfasst.

TEMPS modelliert keine Sonderverkehre (land- und forstwirtschaftlicher Verkehr, bauwirtschaftlicher Verkehr, militärischer Verkehr und Erdgasverdichterstationen für den Pipelinetransport). Land- und forstwirtschaftlicher Verkehr, bauwirtschaftlicher Verkehr und militärischer Verkehr werden (entsprechend der Energiebilanzzuordnung) innerhalb des GHD-Sektors modelliert. Die Energieverbräuche des bauwirtschaftlichen Verkehrs werden anschließend für die Emissionsberechnung in die Industrie transferiert. Pipelinetransport wird gesondert modelliert, aber da diese beiden Sonderverkehre nur einen kleinen Teil des gesamten Verkehrs ausmachen, wurde hier keine maßnahmengetriebene Modellierung umgesetzt, sondern die Energieeinsätze (und damit die Emissionen) des Pipelinetransports orientiert sich in der Projektion an dem Gesamtverbrauch an Erdgas. Da der Energiebedarf von Erdgasverdichtern kein Endenergieverbrauch ist, wird er auch nicht als solcher aufgeführt, ist aber im gesamten Primärenergieverbrauch (Kapitel 3.2.1) enthalten.

Die Berechnung der CO₂-Emissionen erfolgt in TEMPS in zwei unterschiedlichen Varianten. Die erste Variante berechnet die Emissionen gemäß der Inventarlogik und ist auch die für den Projektionsbericht relevante. Das heißt Stromverbräuche und Biokraftstoffe werden mit Null bewertet. Es werden keine Vorkettenemissionen betrachtet. Die zweite Variante berücksichtigt Vorkettenemissionen (durch z.B. Stromerzeugung). Werden Vorkettenemissionen für ein besseres Verständnis mit betrachtet, wird im Kontext der Studie explizit darauf hingewiesen.

3.1.1.2. Annahmen und Parameter

In diesem Abschnitt wird auf die konkrete Modellierung und die dafür getroffenen Annahmen der Maßnahmenwirkung der einzelnen in Kapitel 2.7.2 aufgeführten Maßnahmen eingegangen. Die für Verkehrsnachfrageänderungen hinterlegten Preiselastizitäten sind im vorigen Abschnitt dokumentiert.

Für die Maßnahmen des MMS wurden weitgehend Methodik und Annahmen aus der Bewertung des *Aktionsprogramms Klimaschutz 2020* übernommen (Öko-Institut & ISI 2018).

a) Ausweitung Lkw-Maut

²⁷ Die Zuordnung der Schmierstoffe zum Verkehr ist notwendig, da Schmierstoffe (zumindest teilweise) in den Motoren mitverbrannt werden und folglich auch Emissionen entstehen.

²⁸ Energieverbräuche der Seeschifffahrt (Hochseebunkerungen) sind in der Energiebilanz zwar im Energieaufkommen enthalten, tragen aber (ebenso wie Ausfuhr und Bestandsaufstockungen) nicht zum Primärenergieverbrauch bei.

Quantifiziert wird der Effekt der Ausdehnung der Lkw-Maut auf alle Bundesstraßen ab Juli 2018.

Für die Berechnung der Maßnahme werden die Mautsätze des aktuellen Wegekostengutachtens (siehe Tabelle 18) verwendet. Dem gegenübergestellt wird ein Szenario mit den bisher gültigen Mautsätzen aus dem Wegekostengutachten 2013-2017 sowie der ersten und zweiten Ergänzung (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Angenommene Mautsätze in ct / km im MMS bis einschließlich 2018 und auch weiterführend für das OMS

	Lkw > 7,5t zGG	Lkw < 7,5t zGG
Mautpflichtiges Netz 2016	13,6	0
Mautpflichtiges Netz inkl. aller B-Str.	14,0	0

Quelle: Alfen Consult GmbH et al. 2014a, 2014b; Korn et al. 2014

Tabelle 18: Mautsätze in ct / km im MMS ab 2019

	Teilmautsatz Infrastruktur	Externe Kosten
Lkw mit einem zGG ab 7,5t bis <12t	8,0	1,7
Lkw mit einem zGG ab 12t bis 18t	11,5	1,7
Lkw mit weniger als 4 Achsen und einem zGG ab 18t	16,0	1,7
Lkw mit 4 und mehr Achsen und einem zGG ab 18t	17,4	1,7

Quelle: Korn et al. 2018

Hinterlegt wird, dass die Anpassungseffekte (Verlagerung, Auslastung) bis zum Jahr 2020 vollständig zum Tragen kommen.

b) Förderung Elektromobilität

Es wird die Wirkung der Kaufprämie auf die Neuzulassungsstruktur mit dem TEMPS-Modell des Öko-Instituts berechnet. Mit den bereit gestellten Fördermitteln können maximal 300.000 (nur BEV) bis 400.000 (nur PHEV) Fahrzeuge gefördert werden. Jedoch sind nicht alle dieser Fahrzeuge als zusätzlich gegenüber einer Situation ohne Kaufprämie zu werten. Die Wirkung der Kaufprämie wird durch den Vergleich des MMS mit einem (hypothetischen) Szenario ohne Kaufprämie ermittelt.

Es wird ermittelt, dass knapp drei von vier Fahrzeugen zusätzlich angeschafft werden und eins von vier Fahrzeugen (22 %) auch ohne Förderung angeschafft worden wäre. Dabei fällt der Mitnahmeeffekt bei Plug-in-Fahrzeugen mit 20 % geringer aus als bei den BEVs mit 25 %. Auch auf Herstellerseite kann es zu Mitnahmeeffekten kommen. So gab es beispielsweise beim Renault Zoe, auf den knapp ¼ der gestellten Anträge entfallen, schon vor Einführung der staatlichen Kaufprämie einen Rabatt von 5.000 Euro, welcher vollständig durch den Hersteller getragen wurde. Seit Einführung der Kaufprämie gibt es immer noch einen Rabatt von 5.000 Euro; es werden davon jedoch 2.000 Euro aus staatlichen Fördermitteln finanziert. Daher wird angenommen, dass es zusätzlich auch auf Seiten der Hersteller einen Mitnahmeeffekt gibt, d.h. dass bei 25 % der Fahrzeuge die Einführung der Kaufprämie keine Wirkung auf den tatsächlich gezahlten Kaufpreis durch die Nutzer hat (wie beim Renault Zoe).

Bei multiplikativer Wirkung der Effekte wird insgesamt also angenommen, dass insgesamt 57 % der geförderten Fahrzeuge zusätzlich angeschafft werden. Die Neuzulassungen wurden mit dem Neuzulassungsmodell TEMPS des Öko-Instituts berechnet (siehe Tabelle 19). Bis 2017 sind die Neuzulassungszahlen des KBA hinterlegt (KBA 2018).

Tabelle 19: Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Berechnungen des TEMPS-Modells

Jahr	2016	2017	2018	2019	gesamt
Anzahl zugelassener Fahrzeuge	25.194	54.248	105.222	125.408	310.072
davon EV, zusätzlich	6.156	15.537	29.640	29.955	81.288
davon PHEV, zusätzlich	8.885	16.750	33.006	42.092	100.732

Quelle: KBA 2018; Berechnungen mit dem TEMPS-Modell des Öko-Instituts

Flankierend für den Markthochlauf der Elektromobilität wirken die Maßnahmen zur Beschaffung in der Bundesregierung, der Nationale Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (hier insbesondere die Förderung der Ladeinfrastruktur), sowie die steuerlichen Vergünstigungen.

c) Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs

Es wird die Erhöhung (um rund 0,8 Mrd. Euro im Jahr 2016) und eine stärkere Dynamisierung (jährliche Erhöhung um 1,8 % statt 1,5 %) der Regionalisierungsmittel gegenüber der vorher gültigen Situation bewertet und die Effekte quantifiziert. Ebenso wird die Anhebung der GVFG-Mittel auf 1 Mrd. € ab 2021 bewertet.

Es wird angenommen, dass eine Erhöhung der Mittel einen Zusammenhang zu Angebotsumfang, Service und Preis hat. Zur Bewertung werden Kurzzeit-Elastizitäten für die Nutzungsänderung herangezogen. Litman (2016a) schlägt aufgrund einer umfangreichen Literaturrecherche für die Preiselastizität -0,2 bis -0,5 und für die Service-Elastizität 0,5 bis 0,7 vor. Da eine Erhöhung der verfügbaren Mittel die Preise senken, aber auch das Angebot steigern kann, wird von einer Elastizität von 0,5 ausgegangen. Da die Regionalisierungsmittel und auch die Mittel aus dem GVFG nur einen Teil der ÖPNV-Finanzierung darstellen, muss die Erhöhung auf die Gesamtkosten des Systems angewandt werden, um den Einfluss einer Mittelsteigerung zu bestimmen. Laut Deutscher Bundestag (2016) betragen die Gesamtkosten des ÖPNV im Jahr 2012 24,5 Mrd. €. Für die Berechnung der Elastizitäten werden 25 Mrd. € als Basis für 2015 genommen. Davon ausgehend werden die zusätzlichen Mittel mit den Elastizitäten verrechnet.

Durch die finanzielle Stärkung des ÖPNVs kommt es zu einem Anstieg der Verkehrsleistung des ÖPNV um insgesamt 1,9 %. Weiterhin wird angenommen, dass 80 % der zusätzlichen Verkehrsleistung im ÖPNV vom MIV verlagert werden (Litman 2016b). Daher kommt es zu einer Reduktion der Verkehrsleistung um insgesamt 0,2 % bezogen auf die gesamte Verkehrsleistung im MIV. Die übrigen 20 % entstehen durch zusätzlich induzierte Mehrverkehre. Die Wirkung wird ab 2016 bewertet.

Die Förderung des E-Ticketing und zunehmende Digitalisierung werden als flankierende Maßnahme beurteilt und mit hoch gewählten Elastizitäten berücksichtigt. Somit wirken die Förderungen im öffentlichen Verkehr etwas stärker auf die Nachfrageentwicklung, als dies ohne die Flankierung der Fall wäre.

d) Weiterführung der Förderung von Erd- und Flüssiggas bis 2026 bzw. 2022

Erdgas und Autogas haben im Vergleich zu Benzin und Diesel einen deutlich niedrigeren CO₂-Gehalt je MJ Kraftstoff. Allerdings entstehen durch die vergünstigten Kraftstoffe auch Rebound-Effekte (d.h. höhere Fahrleistungen, siehe z.B. Odeck und Johansen (2016)). Des Weiteren sind die Vorkettenemissionen der Kraftstoffherstellung bei Erdgas und Flüssiggas ebenfalls geringfügig höher als die Vorkettenemissionen von Benzin bzw. Diesel. In vorangegangenen Projektionsberichten wurde der Förderung von Erd- und Flüssiggas kein Minderungspotential bezüglich der CO₂-Emissionen angerechnet. Analog dazu wird auch die Abschaffung der Steuerbegünstigung mit keinen Mehr- oder Minderemissionen bewertet.

e) Anpassung der Treibhausgasquote und Einführung eines Unterziels für fortschrittliche Kraftstoffe

Eine detaillierte Beschreibung zu den Annahmen der Entwicklung bei den Biokraftstoffen im MMS ist in Kapitel 2.5.1.4 zu finden. Die Anpassung der THG-Quote und die Einführung eines Unterziels für fortschrittliche Kraftstoffe führen vor allem dazu, dass Anreize zum Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen gesetzt werden und gleichzeitig weniger Anbaubiomasse eingesetzt wird. Sie führen jedoch nicht zu einer Steigerung der eingesetzten Mengen an Biokraftstoffen. Auch durch die Vorgaben der RED II ist keine Steigerung des Biokraftstoffanteils über die THG-Quote hinaus zu erwarten. Denn durch die Multiplikatorenregelung bei der Anrechnung von EE-Strom im Schienen- und Straßenverkehr sowie bei fortschrittlichen Biokraftstoffen können die Ziele der RED II auch bei einem nach 2020 konstant bleibenden Biokraftstoffanteil erreicht werden. Es wird also angenommen, dass die Maßnahme nicht zu einer Änderung des Biokraftstoffanteils insgesamt, sondern nur zu einer Änderung der Zusammensetzung führt.

3.1.1.3. Ergebnisse der Projektion

3.1.1.3.1. Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors ist in Tabelle 20 dargestellt. Gegenüber 2005 steigt der Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs bis zum Jahr 2020 um 7,2 % an. Bis zum Jahr 2035 wird gegenüber 2005 ein leichter Rückgang des Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrssektors um 1,9 % erreicht. Ursache dafür ist vor allem die Zunahme der Verkehrsleistung, welche durch die autonom stattfindende Effizienzsteigerung bei den Fahrzeugen (vor allem bei Pkw) nur knapp überkompensiert wird. Durch den sinkenden Anteil von Diesel-Pkw und den steigenden Anteil von Benzinfahrzeugen nimmt der Endenergieverbrauch von Benzin-Pkw – entgegen des in den letzten Jahren zu beobachtenden Trends – leicht zu.

Der Endenergieverbrauch des internationalen Verkehrs steigt weiter an, so dass der Endenergieverbrauch des gesamten Verkehrs bis 2020 gegenüber 2005 um 9,7 % ansteigt. Dieser Trend setzt sich bis 2030 fort und geht erst nach 2030 dann leicht zurück, so dass der Endenergieverbrauch des gesamten Verkehrs im Jahr 2035 um 3,4 % höher liegt als 2005.

Der Einsatz von Biokraftstoffen nimmt bis 2020 um etwa 19,5 % gegenüber 2010 auf 142 PJ zu und sinkt dann auf Grund der als konstant angenommenen Beimischung leicht. Der wachsende Anteil elektrischer Fahrzeuge sowie der ebenfalls zunehmende Schienenverkehr resultiert in einem steigenden Stromverbrauch des Verkehrssektors in Höhe von insgesamt 106 PJ im Jahr 2035. Davon sind 40 PJ auf den Schienenverkehr und 68 PJ auf den batterieelektrischen Straßenverkehr zurückzuführen.

Tabelle 20: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MMS in PJ

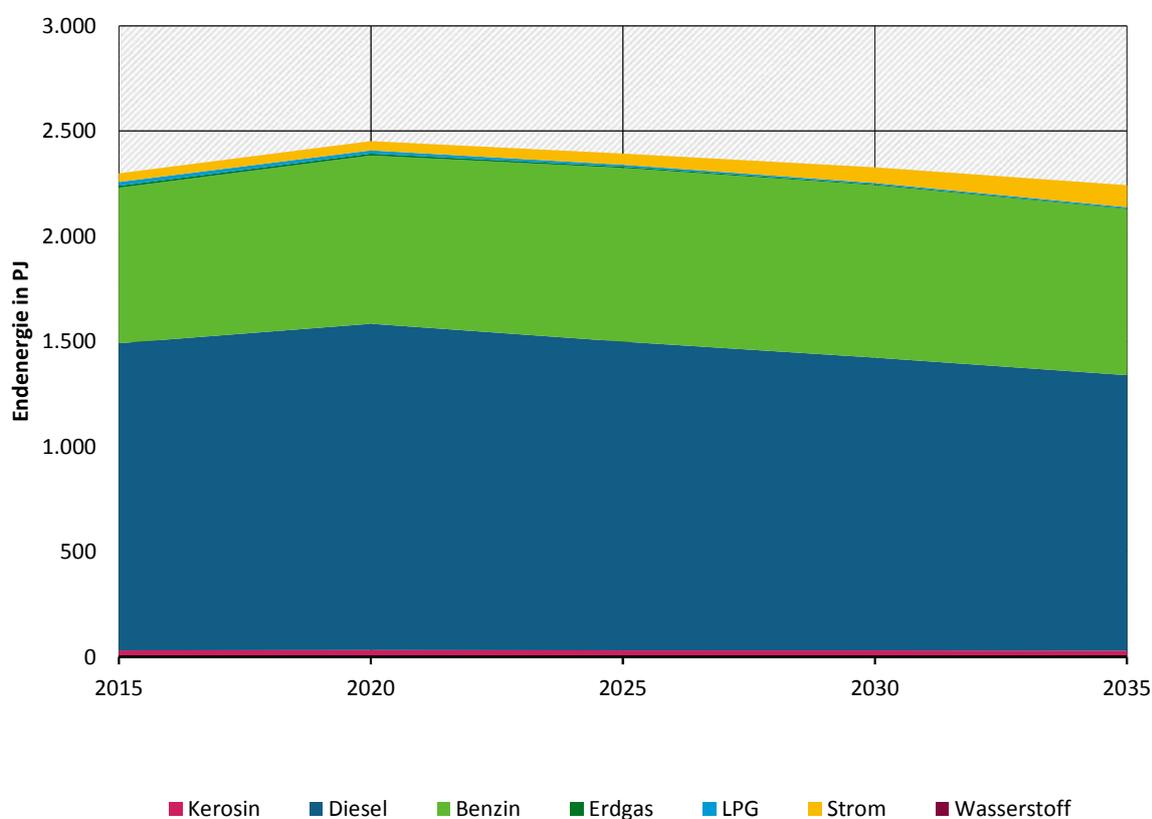
Brennstoff	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Benzin	993	792	709	752	775	769	741
Diesel	1.115	1.199	1.437	1.458	1.379	1.308	1.231
LPG	2	22	19	15	9	6	5
Erdgas	3	9	7	6	4	3	3
(Bio-) Ethanol	7	31	31	49	50	50	48
Biodiesel	72	91	75	93	88	83	78
Biogas	0	0	1	3	2	2	1
Strom	58	60	42	44	52	75	106
Heizöl	7	6	6	6	6	6	6

Brennstoff	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Kerosin	34	34	32	32	32	32	30
Summe (national)	2.293	2.243	2.360	2.458	2.398	2.334	2.249
Internat. Flugverkehr	310	328	357	384	415	433	412
Seeschifffahrt	90	104	106	112	118	124	124
Summe Gesamt	2.693	2.675	2.822	2.954	2.931	2.891	2.785

Quelle: (AGEB 2008-2016), (UBA 2018b, 2018c), Berechnungen des Öko-Instituts. Diesel inklusive andere Mineralölprodukte.

Abbildung 12 veranschaulicht den Verlauf des Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrs zwischen 2015 und 2035 im MMS.

Abbildung 12: Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs (ohne Sonderverkehre) im MMS



Quelle: eigene Berechnung

3.1.1.3.2. Bewertung der Einzelmaßnahmen

Tabelle 21 weist die Emissionen durch die bewerteten Einzelmaßnahmen im MMS aus. Bei der Ausweisung der CO₂-Emissionen ist zu beachten, dass nur die direkten Emissionen bewertet werden. Die Vorkettenemissionen zum Beispiel durch Stromverbrauch sind in den jeweiligen Sektoren verortet. Die Minderungen wurden dabei gegenüber einer (hypothetischen) Situation ohne Maßnahme ermittelt.

Die größte Minderungswirkung wird für die Ausweitung der Lkw-Maut ermittelt. Durch die steigenden Kilometerpreise und eine Ausweitung des bemaßneten Netzes steigen die Transportkos-

ten, was zu einer Reduktion der Fahrleistung u.a. durch Verlagerung und verbesserte Auslastung führt.

Die Förderung der Elektromobilität durch die Kaufprämie bis zum Jahr 2020 ergibt einen moderaten Minderungseffekt von 0,3 Mt CO₂ im Jahr 2020; durch das Ausscheiden der geförderten Fahrzeuge²⁹ aus dem Bestand geht der Minderungsbeitrag bis 2030 zurück. Im Vergleich zum Projektionsbericht 2017 fällt der Minderungsbeitrag für die Jahre 2020 und 2025 um 0,2 Mt geringer aus, was auf die geringere Anzahl der tatsächlich geförderten Fahrzeuge (in 2016-2018) zurückzuführen ist. Es werden nur die direkten Emissionen bewertet. Die Emissionen für die Strombereitstellung sind im Rahmen der sektorübergreifenden Modellierung dem Stromsektor zuzuordnen.

Tabelle 21: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2018	0,7	0,8	0,8	0,9
Förderung Elektromobilität (Kaufprämie)	F	2016	0,3	0,2	0,1	0,1
Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs	F	2016	0,1	0,2	0,2	0,2
Weiterführung der Förderung von Erd- und Flüssiggas bis 2026 bzw. 2022	E	2018	0	0	0	0
Anpassung der Treibhausgasquote und Einführung eines Unterziels für fortschrittliche Kraftstoffe	R	2018	0	0	0	0
Gesamt			1,1	1,3	1,2	1,2

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

3.1.1.3.3. Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen

Tabelle 22 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Verkehr (einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr sowie Erdgaspipelineverdichtern als Sonderverkehr) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die gesamten THG-Emissionen im MMS auf ca. 191 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Steigerung von fast 5 % gegenüber 1990. Das Emissionsniveau des Jahres 2016 wird im Jahr 2020 zunächst übertroffen; in den folgenden Jahren sinken die Emissionen nach 2020 leicht. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen bei 208 Mt CO₂e, was einer Steigerung von gut 14 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht. Die Emissionen sinken jedoch nur wenig in den Folgejahren bis 2030. In den Fünfjahresschritten sinken die Emissionen um 1 % bzw. 2 %. Eine größere Steigerung ist nach 2030 zu verzeichnen. Bis 2035 sinken die Emissionen in den fünf Jahren um 5 %.

Wie in Kapitel 2.5.1.1 beschreiben gibt es ein stetiges Wachstum der Verkehrsleistungen, sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr. Bis 2020 ist dies auch maßgeblich bestimmend für die Emissionsentwicklung. Ab 2020 kann der weitere Anstieg der Verkehrsleistung durch Effizienz-

²⁹ Als Beispiel: Ein Fahrzeug, welches über die Kaufprämie im Jahr 2019 gekauft wurde, jedoch im Jahr 2030 aus dem Bestand ausgeschieden ist (Aufgrund von Weiterverkauf in andere Länder, oder Verschrottung, etc.), kann dem Minderungseffekt der Prämie im Jahr 2030 nicht mehr angerechnet werden.

anstiege (hierzu zählt auch Elektromobilität) sogar leicht überkompensiert werden, so dass die Emissionen leicht zurückgehen.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass die Emissionsreduktionsmaßnahmen relativ betrachtet am stärksten die Methanemissionen adressieren, hier werden zwischen 1990 und 2035 über 90 % der Emissionen reduziert. Bei CO₂ gibt es im MMS eine Steigerung der Emissionen im Jahr 2035 gegenüber 1990. Die Lachgasemissionen steigen ebenso an, CO₂ ist und bleibt aber das mit Abstand dominierende Gas mit 99 % an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors im Jahr 1990 wie auch 2035.

Tabelle 22: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e								
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	180,3	189,9	184,9	199,4				
MMS					206,0	203,9	199,4	189,4
CH ₄ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	1,3	0,3	0,2	0,1				
MMS					0,2	0,2	0,2	0,2
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	1,4	1,4	1,6	2,0				
MMS					2,0	2,0	1,9	1,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	183,0	191,5	186,7	201,6				
MMS					208,2	206,0	201,5	191,4
Veränderung ab 1990 in %								
Entwicklung 1990 – 2016		4,7	2,0	10,2				
MMS					13,8	12,6	10,1	4,6
Veränderung ab 2005 in %								
Entwicklung 2005 – 2016			-2,5	5,2				
MMS					8,7	7,6	5,2	-0,1

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: In der Abgrenzung des NIR: mit Pipeline-Transport sowie mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt

3.1.1.3.4. Vergleich mit dem Projektionsbericht 2017

Im Folgenden sollen die Ergebnisse noch kurz mit dem Projektionsbericht 2017 verglichen werden.

Insgesamt liegen die THG-Emissionen im Jahr 2020 14,8 Mt und im Jahr 2030 12,9 Mt höher als im Projektionsbericht 2017. Wesentliche Ursache dafür sind die deutlichen Zunahmen bei den Fahrleistungen (siehe Abschnitt 2.5.1.1). Dies hat in den letzten Jahren (zusammen mit weiteren Faktoren) zu einem deutlichen Anstieg der THG-Emissionen geführt, so dass bereits das Ausgangsniveau der THG-Emissionen in 2017 deutlich höher liegt als im vorigen Projektionsbericht

berechnet wurde (Basisjahr der Berechnungen im Projektionsbericht 2017 war das Jahr 2014). Die Fahrleistungen steigen auch in der Projektion bis 2030/2035 stärker an, als im Projektionsbericht 2017 hinterlegt. Im MIV steigt die Fahrleistung im Zeitraum 2016 bis 2030 um 9,6 Prozent und damit um 6,8 Prozentpunkte stärker als im Projektionsbericht 2017 (dort: 2,8 %). Die Fahrleistungen bei den LNF steigen um 44 % anstatt 21 % im selben Zeitraum. Bei den schweren Nutzfahrzeugen steigt die Fahrleistung um vier Prozentpunkte mehr (23 % statt 19 %).

Folgende Aspekte erklären die höheren Emissionen im MMS in 2030 gegenüber dem Projektionsbericht 2017:

- a) Die steigenden Fahrleistungen im Pkw-Verkehr erhöhen die CO₂-Emissionen um rd. 5,6 Mt, gleichzeitig führt die etwas höhere Effizienz der Flotte zu einer Reduktion der Emissionen um ca. 2,6 Mt CO₂. Insgesamt gibt es leicht weniger Elektrofahrzeuge, jedoch mit einem höheren Anteil an rein batterieelektrischen Fahrzeugen. Es findet ein deutlicher Umschwung von Diesel- auf Benzinfahrzeuge statt. Im Vergleich zum Projektionsbericht 2017 liegen die Neuzulassungen der Diesel-Pkw in 2030 um 12 Prozentpunkte niedriger, der Anteil an Benzinern steigt um 14 Prozentpunkte.
- b) Höhere Effizienzsteigerungen bei den LNF u.a. durch einen höheren Anteil von batterieelektrischen LNF (Minderung um 0,6 Mt CO₂) wirken den stark steigenden Fahrleistungen (2,4 Mt CO₂ Mehremissionen) etwas entgegen, trotzdem steigen die CO₂-Emissionen im Vergleich zum Projektionsbericht 2017.
- c) Für die schweren Nutzfahrzeuge wird eine geringere Effizienzentwicklung angenommen als bisher (0,2 % p.a. statt 0,7 % p.a.), dies führt zu Mehremissionen von 3,5 Mt CO₂ im Jahr 2030. Gepaart mit der steigenden Fahrleistung, welche zu Mehremissionen von 1,9 Mt CO₂ führen, ergeben sich im Schwerlastverkehr deutlich höhere Emissionen.
- d) Durch einen leicht geringeren Anteil an Biokraftstoffen (0,4 Prozentpunkte) ergeben sich Mehremissionen von 0,5 Mt CO₂ im Verkehrssektor.

3.1.2. Gebäude – Wärme- und Kältebereitstellung

3.1.2.1. Methodik

Für die Berechnung der Szenarien und die Wirkungsabschätzung der Einzelinstrumente werden unterschiedliche Methoden angewendet. Zur Ermittlung der Wärmebedarfsentwicklung und der eingesetzten Technologien bis zum Jahr 2035 wird das Simulationsmodell Invert/EE-Lab eingesetzt. Daneben wird die Wirkung ausgewählter wirkmächtiger Einzelinstrumente über einen bottom-up-Ansatz abgeschätzt, der auf der Skalierung von Instrumentenindikatoren wie Förderolumina und spezifischen Einsparungen basiert.

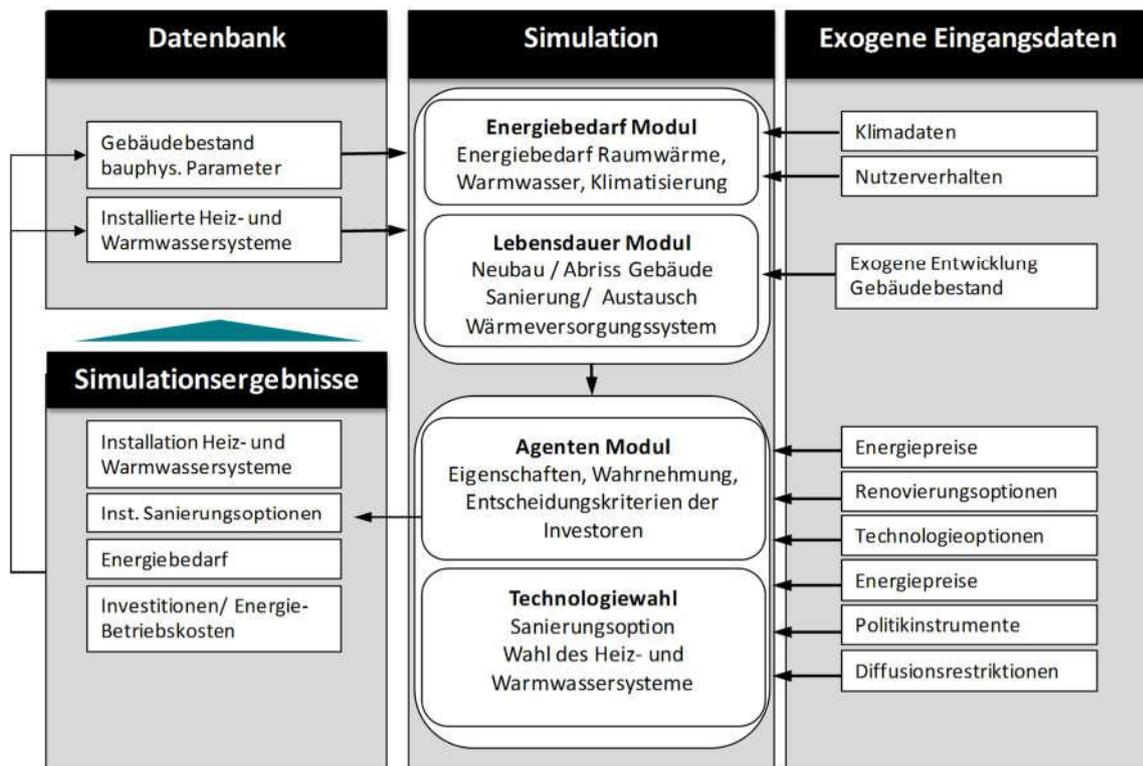
Sektormodellierung des Gebäudebestands

Das Modell Invert/EE-Lab ist von der Energy Economics Group der *Technischen Universität Wien* entwickelt worden und wird gemeinsam mit dem Fraunhofer ISI und IREES in vielen nationalen und europäischen Projekten eingesetzt und weiterentwickelt.

Methodisch stellt Invert/EE-Lab ein dem Bottom-up-Ansatz folgendes, technoökonomisches Simulationsmodell dar, mit dem Optionen des Energiebedarfs und dessen Deckung für Wärme (Raumwärme und Warmwasser) sowie Klimatisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden ermittelt und die Auswirkungen verschiedener Förderinstrumente in Jahresschritten abgebildet werden können (Abbildung 13). Grundlage des Modells ist eine detaillierte Darstellung des Gebäudebestands nach Gebäudetypen, Baualtersklassen und Sanierungszuständen mit relevanten bauphysikalischen und ökonomischen Parametern einschließlich der Technologien zur Bereit-

stellung von Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung. Darauf aufbauend wird der Heiz- und Kühlenergiebedarf unter Einbeziehung von Nutzerverhalten und Klimadaten ermittelt. Die Investitionsentscheidung in Technologien und Effizienzmaßnahmen wird unter Berücksichtigung von investorenspezifischen Entscheidungskalkülen und Hemmnissen sowie Energieträgerpotentialen ermittelt (vgl. Kranzl et al. 2013; Müller 2015; Müller & Biermayr 2011; Steinbach 2013, 2015).

Abbildung 13: Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab



Quelle: (Steinbach, 2015)

Mit INVERT/EE-Lab ist es möglich, die Auswirkung unterschiedlicher Politikinstrumente und Ausgestaltungsvarianten auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Gebäudebereich in Szenarien zu analysieren. Für eine realitätsnahe Simulation des Einsatzes erneuerbarer Energien im Gebäudebereich werden u.a. folgende relevante Zusammenhänge im Modell abgebildet:

- a) Berücksichtigung investorenspezifischer Hemmnisse und Kalküle bei der Investitionsentscheidung in Wärmeversorgungssysteme und Effizienzmaßnahmen.
- b) Das Temperaturniveau des Wärmeverteilungssystems wird in der Simulation berücksichtigt, hier besonders die Interaktion zwischen diesem und den Wirkungsgraden bzw. Arbeitszahlen der Bereitstellungstechnologien. Dies ist in besonderem Maße für eine realitätsnahe Simulation des Einsatzes von Wärmepumpen in älteren Gebäuden von Bedeutung.
- c) Die Modellierung der Energiebereitstellung aus solarthermischen Anlagen erfolgt auf monatlicher Basis unter Berücksichtigung der entsprechenden solaren Einstrahlung. Zudem wird entsprechend der Geometrie der Referenzgebäude die den solarthermischen Anlagen zur Verfügung stehende Dachfläche im Modell berücksichtigt.
- d) Politikinstrumente zur Förderung von EE-Wärme und Effizienzmaßnahmen wie Investitionszuschüsse (Marktanreizprogramm), Nutzungspflichten (EEWärmeG) oder haushaltsunabhängige Umlagesysteme werden technologie- und gebäudespezifisch (Neubau, Bestand, öffentliche Gebäude) definiert.

Darüber hinaus erfolgt eine Berücksichtigung der Limitierung erneuerbarer Energieträger über definierte Kostenpotenziale inklusive deren Entwicklung über den Simulationszeitraum.

Abschätzung der Einzelinstrumentenwirkungen über Instrumentenindikatoren

Die Abschätzung der Wirkung einzelner Politikinstrumente erfolgt anhand bestehender Evaluationen oder Auswertungen der entsprechenden Instrumente. In der Regel werden dabei die im Rahmen einer Instrumentenevaluation festgestellten spezifischen Einsparungen (z.B. Endenergieeinsparung pro 1 Mio. Euro abgefragtes Fördervolumen oder pro Förderfall) mit den entsprechenden Aktivitätsgrößen (z.B. Anstieg des zur Verfügung stehenden Förderbudgets oder der Anzahl an angenommenen Förderfällen) skaliert. Hierbei handelt es sich z.B. um die Evaluierungsberichte für die KfW-Förderprogramme (IWU & Fraunhofer IFAM 2013, 2014, 2015, 2017, 2018), (FhG IFAM 2015), für das Marktanreizprogramm (Fichtner et al. 2011, 2012, 2014a, 2014b, 2016) sowie für das Heizungsaltanlagenlabel (IZT & Öko-Institut 2016). Sofern die betrachteten Instrumente bisher nicht evaluiert wurden, werden die Instrumentenwirkungen durch eigene Abschätzungen auf Basis geeigneter Indikatoren ermittelt.

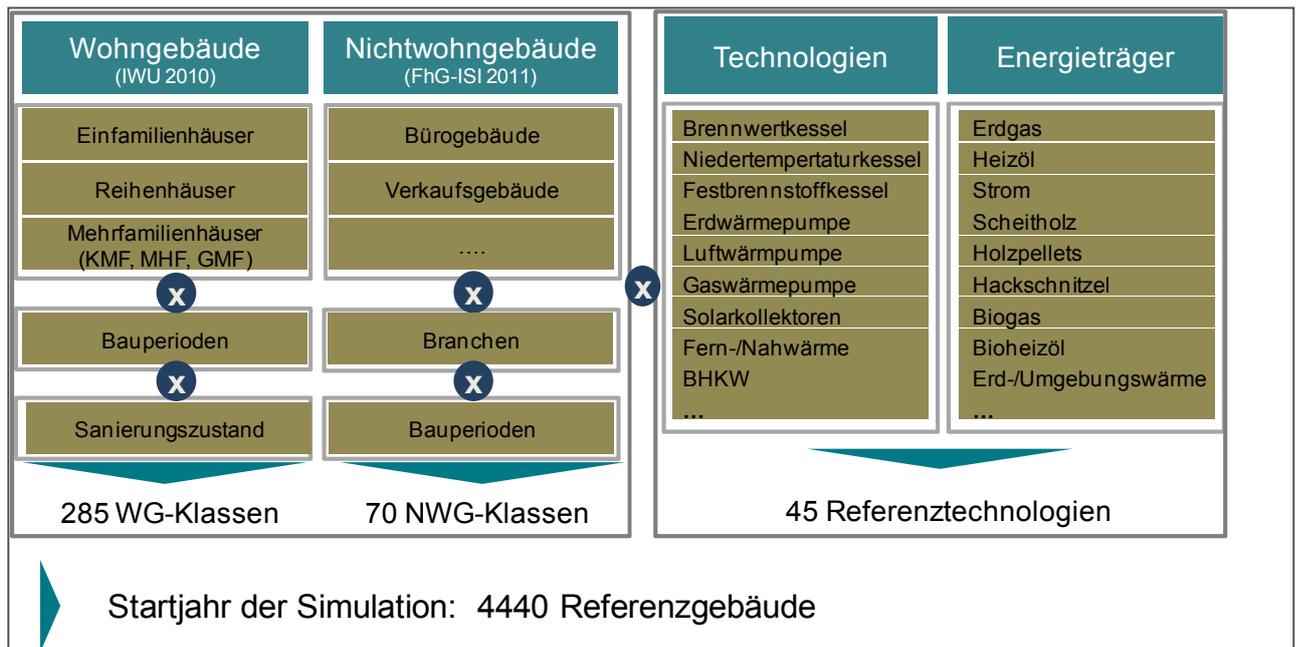
Da Maßnahmen immer in Kombination als Bündel von Instrumenten wirken, muss berücksichtigt werden, dass es zu Wirkungsüberschneidungen kommt. Beispielsweise münden erst die Kombination aus einer Energieberatung sowie die Möglichkeit der finanziellen Förderung in eine Investitionsentscheidung zu Gunsten einer energetischen Gebäudesanierung. Um bei der Instrumentenbewertung Doppelzählungen zu vermeiden, muss also die mit der Sanierung einhergehende Einsparung auf die involvierten Instrumente aufgeteilt werden. Bei der Wirkungsabschätzung auf Einzelinstrumentenebene werden die Überschneidungseffekte in Form sogenannter Instrumentenfaktoren berücksichtigt. Dabei handelt es sich um einen Faktor zwischen 0 und 1, mit dem die Wirkung eines Instruments, die aus seiner isolierten Betrachtung abgeschätzt wird, multipliziert wird.³⁰ Beispielsweise wird für die Wirkung der Energieeinsparverordnung im Bereich des Neubaus davon ausgegangen, dass auch zukünftig rund die Hälfte aller Neubauten durch die KfW gefördert wird. Entsprechend wird hier ein Instrumentenfaktor von 0,5 angesetzt. Die Wirkung des nationalen Effizienzlabels für Heizungsaltanlagen überschneidet sich mit den Wirkungen des Anreizprogramms Energieeffizienz, der EnEV-Austauschpflicht für alte Heizkessel, der KfW-Förderung sowie im Falle des Austauschs zu Gunsten erneuerbarer Energien mit dem MAP. Entsprechend müssen im Rahmen der Wirkungsabschätzung die Überschneidungen mit den anderen Instrumenten herausgerechnet werden.

3.1.2.2. Annahmen und Parameter

Der Gebäudebestand der Sektoren private Haushalte und GHD in Deutschland wird im Modell detailliert abgebildet. Der Bestand wird für das Startjahr der Simulation in 4.440 unterschiedliche Referenzgebäude unterschieden, wobei ein Referenzgebäude eine Verschneidung von Gebäudetyp, Baualter und Sanierungszustand sowie derzeit eingesetztem Heizungssystem entspricht (siehe Abbildung 14). Dies erlaubt die Berücksichtigung gebäude- und technologiespezifischer Faktoren bei der Simulation der Technologiewahl auf einem sehr disaggregierten Niveau.

³⁰ Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das gesamte Potenzial, welches mit den einzelnen Instrumenten erschlossen werden kann, im Vorfeld aufzuteilen, so dass in der Summe das Potenzial nicht doppelt eingerechnet wird. Dieser Ansatz unterstellt jedoch, dass mit den Instrumenten auch wirklich unterschiedliche Potenziale adressiert werden.

Abbildung 14: Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/EE-Lab



Quelle: Eigene Abbildung Fraunhofer ISI

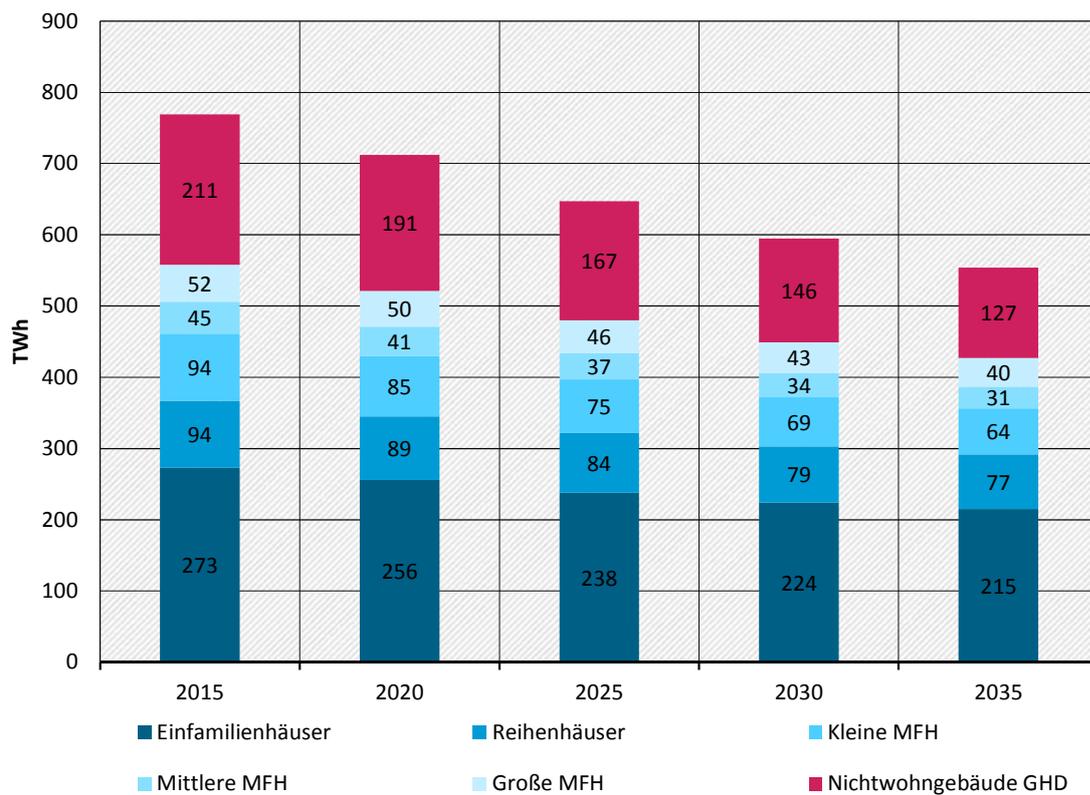
Derzeit werden 45 verschiedene Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser unterschieden, welche über detaillierte technische und ökonomische Daten abgebildet werden. Die Referenzgebäudetypologie mit den entsprechenden Zuordnungen von Gebäuden und Technologien wird auf Basis der Erhebungen „Datenbasis Wohngebäude“ (Diefenbach et al. 2010) sowie der Gebäudetypologie von Nichtwohngebäuden aus der Studie „Energieverbrauch im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ (Schloman et al. 2014) ermittelt. Damit wird der Gebäudebestand in Deutschland zum Jahr 2008 abgebildet, welches das Basisjahr der Simulation darstellt. Der aus der Modellrechnung resultierende Energiebedarf ist auf die temperaturbereinigten Werte der Anwendungsbilanzen sowie der EE-Wärmebereitstellung nach AGEE-Stat kalibriert.

3.1.2.3. Ergebnisse der Projektion

3.1.2.3.1. Entwicklung des Endenergiebedarfs

Abbildung 15 zeigt die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Wärmebereitstellung im MMS. Entsprechend der sektoralen Aufteilung, welche durch die angewendeten Simulationsmodelle bedingt ist, umfasst dieser die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden sowie Nichtwohngebäuden im GHD-Sektor. Die Ergebnisse sind hier dargestellt nach Gebäudekategorien. Im Modell wird wie oben dargestellt weiter differenziert nach Baualterklassen und bereits nachträglich erfolgter Sanierung, sodass auch das bereits gehobene Potential im Bestand berücksichtigt ist. Die Entwicklung des Endenergiebedarfs resultiert aus den Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle sowie der Verbesserung der Effizienz der Wärmeversorgung im Falle des Heizkesseltauschs. Die mittlere durchschnittliche energetische Sanierungsrate liegt dabei im Simulationszeitraum bis 2035 bei 1,48 %.

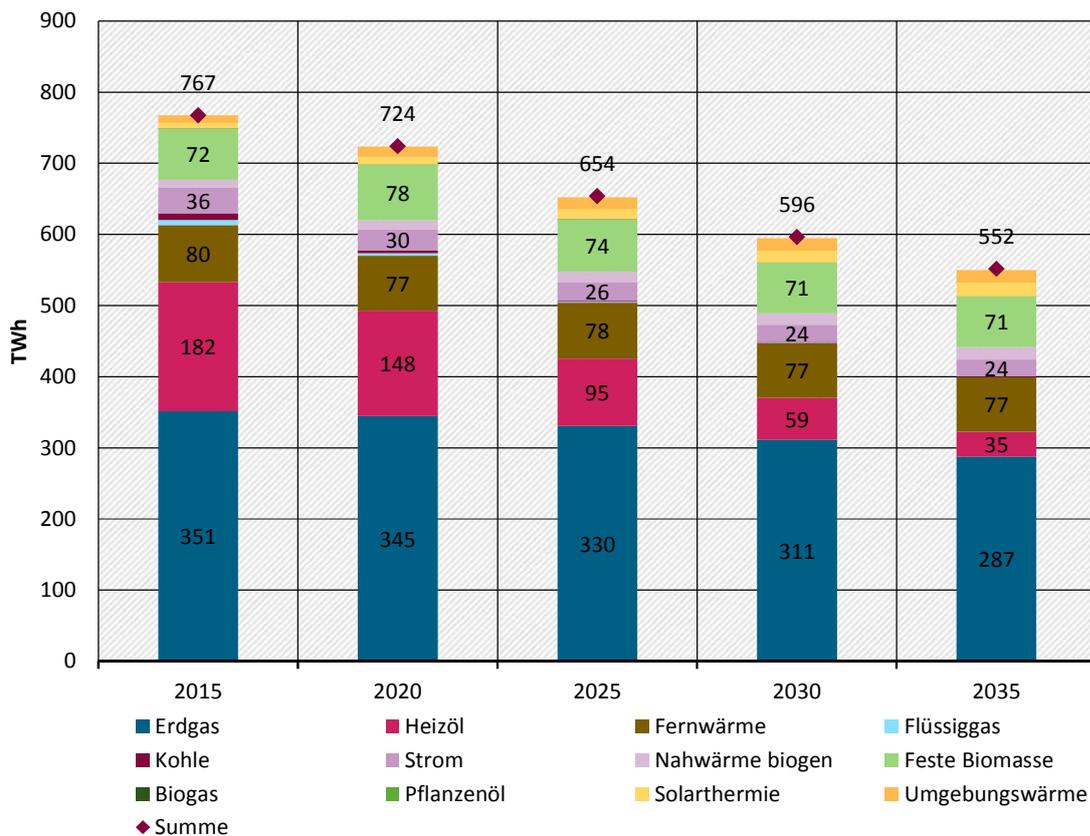
Abbildung 15: Endenergiebedarfsentwicklung der Wärmebereitstellung nach Gebäudekategorien im MMS



Quelle: Berechnung IREES

Die dargestellte Endenergieentwicklung bilanziert neben den fossilen Brennstoffen, Fernwärme und Strom auch die erneuerbare Wärmebereitstellung durch biogene Brennstoffe, Solarthermie und Umgebungswärme (Abbildung 16). Der Endenergiebedarf sinkt im Zeitraum 2015 bis 2035 um 215 TWh, was einem Rückgang um 28 % entspricht. Der Einsatz fossiler Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung sinkt um 226 TWh, während der Anteil EE-Wärme an der Wärmebereitstellung auf 23 % im Jahr 2035 ansteigt. Der größte Anteil bei den dezentralen EE hat die feste Biomasse (Pellet-, Scheitholz- und Hackschnitzelkessel). Aufgrund des insgesamt niedrigeren Wärmebedarfs liegt die Wärmebereitstellung durch feste Biomasse in 2035 jedoch insgesamt rund 1 TWh niedriger als im Jahr 2015. Die biogene Nahwärme leistet hingegen einen um 6 TWh höheren Beitrag zur Wärmeversorgung in Gebäuden. Die größten Steigerungen werden bei der Umweltwärme durch Erd- und Luftwärmepumpen sowie der Solarthermie erzielt, deren Beitrag sich zusammen bis 2035 auf rund 36 TWh verdoppelt. Der Rückgang des Strombedarfs um rund 12 TWh ist insbesondere auf den Austausch konventioneller Stromheizungen (Direktheizung, Nachtspeicheröfen) zurückzuführen, der teilweise durch den durch Wärmepumpenausbau bedingten zusätzlichen Strombedarf aufgefangen wird. Die Verwendung von Kohle zu Heizwecke ist bis 2035 komplett ersetzt. Die Verwendung von Heizöl für die Wärmebereitstellung reduziert sich absolut im Zeitraum 2015 bis 2035 um 81 %, während Erdgas nur um 18 % reduziert wird. Damit steigt der Marktanteil von Erdgas an der Wärmeversorgung von rund 46 % auf 52 % im Jahr 2035.

Abbildung 16: Endenergieentwicklung nach Energieträgern im MMS



Quelle: Berechnung IREES

3.1.2.3.2. Bewertung der Einzelmaßnahmen

Im Folgenden erfolgt eine Bewertung einer Auswahl zentraler wirkmächtiger Politikinstrumente für den Gebäudebereich. Im MMS sind dies die Förderprogramme der KfW für energieeffizientes Bauen und Sanieren, das Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien (MAP), die neuen Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizsystemen (Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen) sowie die Energieeinsparverordnung (EnEV).

Die Beschreibung, welche Annahmen zur Ausgestaltung der Einzelmaßnahmen zu Grunde liegen, findet sich in Kapitel 2.7.3. Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des MMS erfolgt gegenüber einem Ohne-Maßnahme-Szenario (OMS). Im Rahmen des OMS wird unterstellt, dass die betroffene Einzelmaßnahme nicht existiert und somit keine Wirkung entfalten kann. Die Wirkung der Einzelmaßnahmen wird ab dem Jahr 2018 abgeschätzt, so dass die kumulierten jährlichen Einsparungen den Zeitraum zwischen 2018 und dem jeweiligen Betrachtungsjahr erfassen. Auch wenn eine Maßnahme schon vor 2018 existiert (z.B. die KfW-Förderprogramme), werden ihre Wirkungen erst ab dem Jahr 2018 quantifiziert. Tabelle 23 zeigt eine Übersicht der untersuchten Einzelmaßnahmen und die entsprechende Referenz im Vergleichsszenario (OMS).

Tabelle 23: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (Ohne-Maßnahme-Szenario)	Instrumentenfaktor
KfW-Programme für ener-	Im Vergleichsszenario ohne KfW-Programme werden weder	0,9

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (<i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i>)	Instrumentenfaktor
gieeffizientes Bauen und Sanieren	energieeffiziente Neubauten noch Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden gefördert. Neubauten erfolgen auf das seitens der EnEV (2014) geforderte Mindestniveau. Bei Sanierungen wird angenommen, dass die im Rahmen des MMS durch die KfW-Programme induzierten Sanierungsmaßnahmen ausbleiben.	
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	Im Vergleichsszenario werden die entsprechenden Förderungen für EE-Wärmeerzeuger abgestellt. Es wird angenommen, dass die im Rahmen des MMS durch das MAP induzierten Investitionen in EE-Wärmeanlagen ausbleiben.	0,9
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	Im Vergleichsszenario bleiben die infolge der Programme induzierten Maßnahmen (v.a. Austausch Heizkessel oder Heizungspumpe, hydraulischer Abgleich) aus.	0 – 0,8 (unterschiedlich für die verschiedenen Programme)
Förderprogramm Wärmenetze 4.0	Im Vergleichsszenario bleiben die infolge des Förderprogramms induzierten Maßnahmen (Zubau innovativer Wärmenetze mit hohem E-Anteil) aus.	1,0
Energieeinsparverordnung	Neubau: „Einfrieren“ der Mindestanforderungen an neue Gebäude auf das Niveau der EnEV 2014. Gebäudebestand: „Ausschalten“ der bedingten Sanierungspflicht; dabei wird angenommen, dass in rund der Hälfte aller Sanierungsfälle dennoch eine EnEV-konforme energetische Modernisierung stattfindet; hinsichtlich der Nachrüstverpflichtung für Heizkessel wird angenommen, dass Kessel, die älter als 30 Jahre sind, nur halb so oft ausgetauscht werden wie unter den Anforderungen der EnEV.	0,5 – 0,8 (unterschiedlich für Neubau, Gebäudebestand)

Quelle: Öko-Institut

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die abgeschätzten Einsparungen an fossilen Brennstoffen, die damit einhergehende Reduktion direkter Treibhausgasemissionen sowie die Auswirkungen auf die sektorale Stromnachfrage.

Tabelle 24 zeigt zunächst die durch die Einzelmaßnahmen realisierten Einsparungen an fossiler Endenergie. Die höchsten Einsparungen werden dem Marktanreizprogramm, den KfW-Programmen für energieeffizientes Bauen und Sanieren sowie der Energieeinsparverordnung (EnEV) zugerechnet. Bei letzterem trägt insbesondere das Programmelement „Energieeffizient Sanieren“ den größten Einsparbeitrag bei, bei der Energieeinsparverordnung die bedingten Sanierungspflichten. Bei allen Förderprogrammen, die den Austausch alter Heizungssysteme zu Gunsten effizienterer Heizkessel und Heizverteilsysteme induzieren (z.B. das Anreizprogramm Energieeffizienz), wird die Wirkung der entsprechenden Maßnahmen in Form eines Vorzieheffekts abgeschätzt. Dieser Effekt bewirkt, dass die Heizungstechnik früher ausgetauscht wird als im Zuge der autonomen Entwicklung ohne die entsprechenden Förderprogramme.

In Summe führen die bewerteten Instrumente zwischen 2018 und 2035 zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs an fossilen Brennstoffen von rund 478 PJ (135 TWh). Diese Einsparung liegt um rund 20 % unter den Einsparungen, die über die Modellierung abgeschätzt werden (vgl. Abbildung 16). Eine Erklärung für diese Differenz liegt darin, dass neben den bewerteten Instrumenten eine Reihe weiterer Instrumente (z.B. die Vielzahl an Informations- und Beratungsprogrammen; für die gesamte Maßnahmenübersicht s. Kapitel 2.7.3) den Endenergiebedarf des Sek-

tors adressiert, d.h. mit der vorgenommenen Einzelinstrumentenbewertung nur ein Teil der Einsparungen erfasst wird.

Tabelle 25 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus den Brennstoffeinsparungen resultieren. Zu beachten ist dabei, dass die ausgewiesenen Werte keine Emissionen aus dem sektoralen Strom- und Fernwärmeverbrauch erfassen, da diese im Umwandlungssektor bilanziert werden.

Tabelle 24: Einsparungen fossiler Brennstoffe für ausgewählte Maßnahmen

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2018	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2018	8	24	64	104	144
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2018	9	28	74	120	166
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	F	2018	1	3	8	12	15
Förderprogramm Wärmenetze 4.0	F	2018	0	1	7	15	22
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2018	14	30	74	112	132

Anmerkung: * Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme, Strom und Biomasse

Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 25: Direkte Minderungen an Treibhausgasemissionen für ausgewählte Maßnahmen

Direkte Emissionsminderung* [Mt CO ₂ e]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2018	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2018	0,5	1,5	4,1	6,7	9,3
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2018	0,8	2,3	6,2	10,1	13,9
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	F	2018	0,1	0,2	0,9	1,4	1,6
Förderprogramm Wärmenetze 4.0	F	2018	0,0	0,1	0,5	1,0	1,5
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2018	0,9	1,9	4,8	7,3	8,6

Anmerkung: * Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme, Strom und Biomasse

Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 26 zeigt die Auswirkungen der Einzelmaßnahmen auf die Stromnachfrage des Gebäudesektors. Bei der Stromnachfrage kommt es zu einer Überlagerung von zwei gegenläufigen Effekten: Die meisten Einzelmaßnahmen bewirken Effizienzsteigerungen im Heizsystem, die in der Regel auch zu Einsparungen beim Hilfsstrombedarf führen (z.B. infolge des Austauschs ineffizienter Heizungspumpen). Hinzu kommt der Austausch elektrischer Widerstands- oder Direktheizungen, was ebenfalls zu einem Rückgang des sektoralen Strombedarfs führt. Gegenläufig dazu

verhält sich der durch einige der Maßnahmen (z.B. dem MAP) induzierte Zubau elektrischer Wärmepumpen, der zu einer Zunahme der Stromnachfrage des Gebäudesektors führt.

Tabelle 26: Auswirkung auf Stromnachfrage für ausgewählte Maßnahmen

Stromeinsparung [TWh]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2018	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2018	-0,4	-1,3	-3,5	-5,7	-7,9
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2018	-0,1	-0,3	-0,7	-1,2	-1,7
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	F	2018	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	0,0
Förderprogramm Wärmenetze 4.0	F	2018	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2018	-0,2	-0,6	-1,5	-2,4	-3,2

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

Quelle: Berechnung Öko-Institut

3.1.2.3.3. Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen

Tabelle 27 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 49 Mt CO_{2e}. Dies entspricht einer Reduktion von knapp 63 % gegenüber 1990. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von knapp 56 %. Im Jahr 2020 liegen die gesamten Emissionen bei rund 79 Mt CO_{2e}, was einem Rückgang von ca. 40 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht. Treiber für die Emissionsreduktion ist der Rückgang des Heizölbedarfs. Hier sind zwei Effekte zu berücksichtigen. Zum einen reduziert sich der Wärmebedarf durch Sanierungsmaßnahmen. Hierbei ist Heizöl überproportional rückläufig, da Heizkessel überwiegend in alten unsanierten Gebäuden betrieben werden. Zum anderen reduziert sich der Marktanteil von Heizkesseln durch Heizungstausch.

Durch die verabschiedeten Maßnahmen sinken die Emissionen im MMS zwischen 2020 und 2035 um 12 % bis 18 % in den betrachteten Fünfjahreszeiträumen. Der stärkste Emissionsrückgang in einem Fünfjahreszeitraum ist zwischen den Jahren 2020 und 2025 zu beobachten. In diesen Zeitraum fällt die Verschärfung des Neubaustandards auf Niedrigstenergiegebäudestandard. Dass der stärkste Rückgang des Energiebedarfs und damit der Emissionen in diesen Zeitraum fällt, ist aber insgesamt auch auf die Dynamik bei der Sanierung zurückzuführen und darauf, dass in diesen Zeitraum aufgrund der Altersverteilung des Gebäudebestandes eine höhere Anzahl an Gebäuden zur Sanierung anstehen. So liegt die Instandsetzungsrate und energetische Sanierungsrate in diesem Zeitraum am höchsten.

CO₂ ist und bleibt das mit Abstand dominierende Gas mit 98 % an den Gesamtemissionen der Haushalte im Jahr 1990 wie auch 2035. Betrachtet man die Entwicklung der verschiedenen Gase, so ist zu erkennen, dass sich die Emissionsreduktionsmaßnahmen hauptsächlich auf die CO₂- und N₂O-Emissionen auswirken. Zwischen 2016 und 2035 ergibt sich für CO₂ ein Rückgang um 38 % und für Lachgas ein Rückgang um 33 %. Bei den CH₄-Emissionen ergibt sich hingegen zwischen 2016 und 2035 keine Minderung. Diese Emissionen entstehen zum überwiegenden Teil bei der Verbrennung von Biomasse, die bis 2020 deutlich zunimmt, während die Emissionen aus der Verbrennung von Stein- und Braunkohle abnehmen. Nach 2020 bleiben die Emissionen aus

der Verbrennung von Biomasse bis 2035 auf ähnlichem Niveau. Dies erklärt, warum sich keine Minderung im Zeitverlauf ergibt. Im Vergleich zum Jahr 1990 ist die Reduktion der N₂O-Emissionen mit 75 % am höchsten, gefolgt von der Reduktion der CH₄-Emissionen um 68 % und der Reduktion der CO₂-Emissionen um 62 %.

Tabelle 27: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035	
Mt CO ₂ e									
CO₂-Emissionen									
Entwicklung 1990 – 2016	128,6	111,0	105,5	90,3					
MMS					77,8	64,0	54,9	48,4	
CH₄-Emissionen									
Entwicklung 1990 – 2016	2,5	0,7	1,1	0,8					
MMS					0,8	0,8	0,8	0,8	
N₂O-Emissionen									
Entwicklung 1990 – 2016	0,8	0,3	0,4	0,3					
MMS					0,3	0,2	0,2	0,2	
Summe CO₂+CH₄+N₂O									
Entwicklung 1990 – 2016	131,9	112,0	107,0	91,5					
MMS					78,9	65,0	55,9	49,4	
Summe CO₂+CH₄+N₂O		Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-15,1	-18,9	-30,6					
MMS					-40,2	-50,7	-57,6	-62,6	
Summe CO₂+CH₄+N₂O		Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 2005 – 2016			-4,4	-18,3					
MMS					-29,6	-41,9	-50,1	-55,9	

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Tabelle 28 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 gehen die Emissionen dieser drei Gase im MMS auf 27 Mt CO₂e zurück, was einem Rückgang von rund 70 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht. Die stärksten Emissionsminderungen wurden zwischen 1990 und 2005 verzeichnet, als die Emissionen um rund 46 % zurückgingen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Gase fällt auf, dass es bei CH₄ zu einer starken Emissionsreduktion nach 1990 kam, jedoch zu einer Erhöhung nach 2005. Diese Emissionen bleiben von 2016 bis 2035 auf einem vergleichbaren Niveau, liegen dann aber immer noch rund 80 % unter dem Niveau von 1990. Die CO₂-Emissionen sinken bis 2035 um 69 % im Vergleich zu 1990, die N₂O-Emissionen um 60 %. Wie in den vorherigen Kapiteln dargestellt, entfällt der größte Teil des Energieverbrauchs auf Raumwärme und Warmwasser, sodass entsprechend auch der größte Teil der Emissionen aus diesen Anwendungen zuzurechnen sind. Die Reduktion der Emissionen ist daher auf Energieeffizienzmaßnahmen und den Energieträgerwechsel zurückzuführen.

Dabei wirkt sich der Wechsel von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Wärmesysteme auf die Gesamtbilanz aus, während der Wechsel zu Fernwärme und Strom erst einmal nur zu einer Verschiebung der Emissionen in den Umwandlungssektor führt – durch Maßnahmen in den Umwandlungssektoren werden diese Emissionen jedoch auch reduziert.

Tabelle 28: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im GHD-Sektor (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	86,2	47,6	47,2	44,5				
MMS					43,4	37,8	32,0	26,5
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	2,0	0,1	0,2	0,4				
MMS					0,4	0,4	0,4	0,4
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,3	0,2	0,2	0,2				
MMS					0,2	0,1	0,1	0,1
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	88,4	47,8	47,6	45,1				
MMS					44,0	38,3	32,5	27,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-45,9	-46,2	-49,0				
MMS					-50,2	-56,7	-63,2	-69,5
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			-0,6	-5,7				
MMS					-8,0	-19,9	-32,0	-43,5

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: In der Abgrenzung des NIR: mit energetischen Emissionen der Landwirtschaft und des Militärs, ohne wirtschaftlichen Verkehr

3.1.3. Private Haushalte – Strom

3.1.3.1. Methodik

Wie in den vorangegangenen Projektionsberichten erfolgt auch im vorliegenden Bericht die Berechnung der zukünftigen Stromnachfrage der Haushaltsgeräte in den privaten Haushalten mit der Energienachfrageplattform FORECAST (siehe auch Kapitel 3.1.4.1). Diese Energienachfrageplattform wird auch zur Berechnung der Nachfrage in den Sektoren GHD und Industrie verwendet (Kapitel 3.1.1.3.4/3.1.4). Das Sektormodell für den Haushaltssektor, FORECAST-Residential, setzt sich neben einem Modul für die Haushaltsgeräte auch aus Modulen für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung sowie einem Modul für die Berechnung der Stromnachfrage durch Elektromobilität zusammen. Im Rahmen dieser Studie kommt jedoch ausschließlich das Geräte-Modul zum Einsatz. Die anderen Teilbereiche der Endenergienachfrage des Haus-

haltssektors werden bereits über andere Modelle (siehe Kapitel 3.1.1.1 zum Verkehr und Kapitel 3.1.2.1 zu den Gebäuden) abgedeckt.

FORECAST-Residential setzt sich aus folgenden Gerätekategorien zusammen, die im Modell des Weiteren nach Technologien und/oder Effizienzklassen differenziert werden:

- a) Große elektrische Haushaltsgeräte (darunter: Kühl- und Gefriergeräte, Spülmaschinen, Waschmaschinen, Trockner, Herde)
- b) IKT-Endgeräte (darunter: Desktop-Computer, PC-Bildschirme, Laptops, Fernseher, Set-Top-Boxen, Modem/Router)
- c) Elektrische Kleingeräte (darunter: Kaffeemaschinen, Staubsauger, Bügeleisen, Toaster, Fön, Mikrowelle, Dunstabzugshaube)
- d) Beleuchtung
- e) Klimageräte
- f) Sonstige elektrische Anwendungen: diese Kategorie stellt ein Restaggregat dar, das alle in den übrigen Bereichen noch nicht berücksichtigten elektrischen Anwendungen in den privaten Haushalten umfasst. Diese Kategorie beinhaltet sowohl eine Vielzahl an weiteren elektrischen Kleingeräten (u.a. Rasierer) als auch die Stromnachfrage potentiell neuer Geräte, die bis 2035 neu in den Markt diffundieren.

Die aufgeführten Gerätekategorien beinhalten bis auf die Herde ausschließlich strombasierte Anwendungen. Bei den Kochherden wird zusätzlich die Gasnachfrage berechnet.

Aufgrund der hohen Datenverfügbarkeit über die Anzahl und die durchschnittlichen spezifischen Verbräuche von Haushaltsgeräten wird deren Endenergienachfrage über ein Bestandsmodell berechnet. Da für die Berechnung der Bestandsumwälzung auch vergangenheitsbezogene Daten zu erheben sind, werden in einem vorgelagerten Schritt empirische Zeitreihen für die jahresspezifische Geräteanzahl und den spezifischen Verbrauch der Geräte ermittelt bzw. geschätzt. Die Projektion des Gerätebestandes erfolgt mittels einer logistischen Funktion, die sich aus einer Kleinsten-Quadrate-Abweichung, basierend auf der empirischen Bestandsentwicklung und einer geschätzten Sättigungsgrenze, berechnet.

Die Bestandsumwälzung bzw. die Marktdiffusion neuer Geräte erfolgt anhand einer gerätespezifischen Lebensdauer mit normalverteilter Ausfallwahrscheinlichkeit, durch die der Zeitpunkt des Lebensdauer-Endes eines alten Gerätes und des Lebensdauer-Anfangs eines neuen Gerätes determiniert wird. Die Wahl der Technologien bzw. Effizienzklassen der ersetzten Altgeräte und des Bestandszuwachses, die als Neugeräte in den Bestand diffundieren, orientiert sich an der Ausgestaltung eines Szenarios, insbesondere an den implementierten Mindesteffizienzstandards, welche durch die Ökodesign-Richtlinie definiert werden, und Schätzungen für den Eintritt neuer Technologien und Effizienzklassen in den Markt. Die jährliche Endenergienachfrage aller Geräte errechnet sich demzufolge aus dem spezifischen Verbrauch (basiert entweder auf den Betriebsstunden bspw. bei Fernsehern oder auf der Anzahl an Zyklen pro Jahr bspw. bei Spülmaschinen), der durchschnittlichen Ausstattungsrate pro Wohneinheit (beispielsweise der Anzahl der Beleuchtungspunkte pro Wohneinheit oder der Anteil der Haushalte mit Klimageräten) und der Anzahl der privaten Haushalte.

Dieser Aufbau gilt grundsätzlich für alle berücksichtigten Gerätekategorien mit Ausnahme des Restaggregats der sonstigen elektrischen Anwendungen. Bei dieser Kategorie lässt sich dieser Ansatz aufgrund der großen Heterogenität nicht durchführen. Die Stromnachfrage im Basisjahr wird für die sonstigen elektrischen Anwendungen daher als Differenz zur Stromnachfrage laut

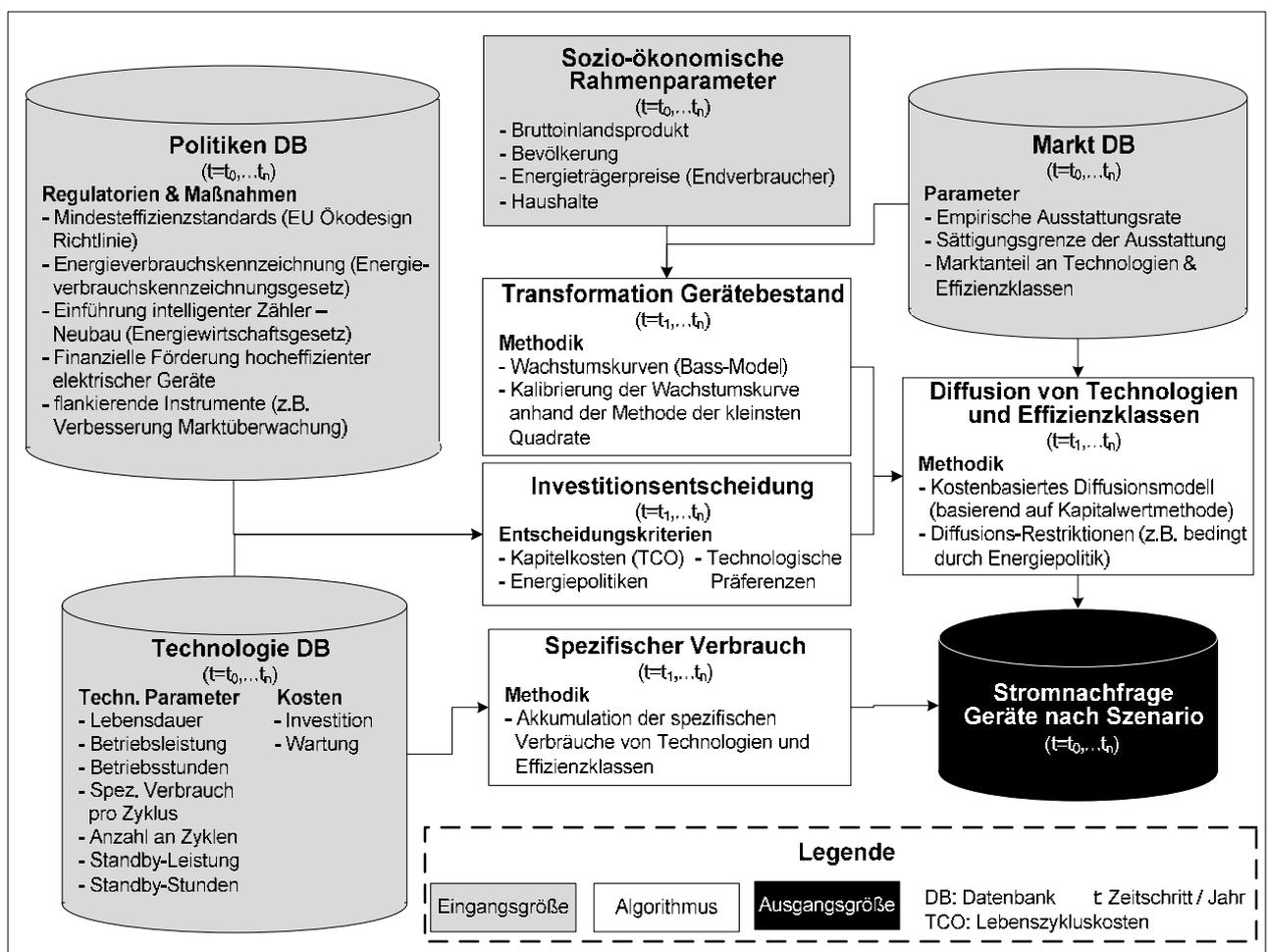
der Energiebilanz (ohne den Verbrauch für Raumwärme und Warmwasser) ermittelt und für die Zukunft anhand einer abgeschätzten Ausstattungsrate fortgeschrieben.

Um auch die Kosten für unterschiedliche Diffusionspfade in den Szenarien bestimmen zu können, wird für alle berücksichtigten Anwendungen eine Wirtschaftlichkeitsbewertung mittels der Kapitalwertmethode durchgeführt, die folgende Kostenkategorien berücksichtigt (Elsland 2016):

- a) Spezifische Investitionen der Geräte unter Berücksichtigung von Kostenlernfaktoren
- b) Stromkosten der Geräte
- c) Wartungskosten der Geräte

Ein Überblick über die qualitativen Zusammenhänge der Modellberechnung ist in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17: Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul)



Quelle: Elsland 2016

Die bestehenden Politiken, welche Auswirkungen auf den Stromverbrauch in privaten Haushalten haben, sind eng mit einander verwoben. Insbesondere durch das Zusammenwirken der Politiken können diese ihre volle Wirkung entfalten. Ein Beispiel hierfür ist die Kombination aus der Ökodesign-Richtlinie und der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung. Eine Bewertung auf Einzelmaßnahmenebene durch instrumentenscharfe Zurechnung von Energie- und Treibhausgaseinsparungen gestaltet sich daher methodisch schwierig. Um dennoch eine Abschätzung der Effekte der zentralen Politikinstrumente zu gewährleisten, werden die Ergebnisse des MMS

mit einem Szenario verglichen, in dem die zu bewertenden Maßnahmen nicht implementiert sind. Die Wirkung des Instrumentes wird durch Differenzbildung zum MMS ermittelt. Mögliche Überlagerungseffekte werden dabei berücksichtigt, so dass es zu keiner Doppelzählung kommt. Tabelle 29 grenzt die zu quantifizierenden Maßnahmenwirkungen ab und definiert die entsprechenden Vergleichsszenarien.

Tabelle 29: Vorgehen zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahmen	Vorgehen zur Quantifizierung
Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie und EU-Energielabel-Verordnung	Um die Effekte der EU-Energielabel-Verordnung sowie der Mindeststandards nach Ökodesign zu quantifizieren, wird ein Vergleichsszenario ohne die beiden Maßnahmen gerechnet und mit den gemeinsamen Wirkungen der beiden Instrumente ab dem Jahr 2009 (Ökodesign) bzw. 2010 (Energielabel) verglichen. Zuletzt wird die Aufteilung der Wirkung zwischen den beiden Maßnahmen abgeschätzt.
Ökosteuer	Zur Abschätzung der Wirkung der Ökosteuer wird ein Szenario gerechnet, in dem der Strompreis für Endverbraucher ab dem Jahr 2008 um die betreffenden Beträge geringer ist.
NTRI	Die Berechnung der Einsparwirkung der NTRI basiert auf einer Bottom-up-Abschätzung, welche auf Basis der durch die NTRI beeinflussten Kaufentscheidungen – als wesentlicher Aktivitätsgröße – vorgenommen wurde.
STEP up! Strom (Anteil Strom private Haushalte)	Zur Abschätzung der Wirkung der STEP up! Maßnahme werden die Einsparungen zunächst basierend auf dem NAPE-Sachstandsbericht sektorübergreifend berechnet. Anschließend wird über eine Abschätzung der Anteile der Sektoren der Effekt für die privaten Haushalte kalkuliert.
Beratung einkommensschwacher Haushalte (Stromspar-Check)	Die Abschätzung der Wirkung des Pilotprogramms Einsparzähler erfolgte als Bottom-up Wirkungsabschätzung.

Quelle: Fraunhofer ISI

Wie im Vorgängerbericht werden im MMS als relevante Maßnahmen die Mindeststandards basierend auf der EU-Ökodesign-Richtlinie, die EU-Energielabel-Verordnung, die Ökosteuer, die wettbewerblichen Ausschreibungen (STEP up! Strom), die NTRI, sowie die Beratung einkommensschwacher Haushalte (Stromspar-Check) abgeschätzt. Seit der vorangegangenen Berichtsphase wurden keine zusätzlichen Maßnahmen implementiert, welche hier Berücksichtigung finden sollten.

Tabelle 30 gibt an, für welche Maßnahmen die Einzelbewertung bzw. die Modellbewertung mit dem Modell FORECAST durchgeführt wurde. Weiterhin wird für Maßnahmen mit Einzelbewertung angegeben, in welcher Höhe Überschneidungen und Mitnahmeeffekte berücksichtigt wurden. Mitnahmeeffekte berücksichtigen, dass z.B. Effizienzinvestitionen auch ohne Förderprogramm durchgeführt worden wären. Überschneidungen berücksichtigen die vielen (häufig gewollten) Überschneidungen und Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen. Für Maßnahmen, die mit FORECAST bewertet wurden, werden entsprechende Effekte in den Modellrechnungen auch berücksichtigt, können jedoch nicht ausgewiesen werden. Unsicherheiten bei Überschneidungen und Mitnahmeeffekten sind noch sehr hoch und die empirische Datenlage ist sehr lückenhaft. Es steht jedoch außer Frage, dass die Bedeutung von entsprechenden Überschneidungseffekten bei der Bewertung des gesamten Policy Mixes aufgrund der steigenden

Anzahl an Maßnahmen immer stärker wird. Ein einfaches Aufsummieren der Einzelwirkung der Maßnahmen würde das Gesamtpotenzial deutlich überschätzen.

Tabelle 30: Übersicht der Maßnahmen in privaten Haushalten: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten

Maßnahme	Methode	Überschneidung	Mitnahmeeffekte
Mindeststandards	FORECAST	Keine Ausweisung möglich	Keine (Ordnungsrecht)
EU-Energielabel-Verordnung	FORECAST		
Ökologische Steuerreform	FORECAST		
Step up! Strom (Anteil Strom privater Haushalte)	Bottom-Up Einzelbewertung	Keine Überschneidungen	Gering
NTRI	Bottom-Up Einzelbewertung	Gering	Sehr gering
Energieberatung für einkommensschwache Haushalte (Stromspar Check)	Bottom-Up Einzelbewertung	Keine Überschneidungen	Sehr gering

Grundsätzlich ist die Abgrenzung der NTRI zu den EU-Energielabel-Versordnung und den Mindeststandards schwierig, da diese auf die gleichen Gerätegruppen wirken (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2019). Um Überschneidungseffekte gering zu halten, wurde im Folgenden eine konservative Variante der Wirkungsabschätzung gerechnet. Aufgrund dieser konservativen Annahme fließen Mitnahmeeffekte per Definition nicht in die Maßnahmenbewertung ein, da die Bewertung direkt auf der Abschätzung der tatsächlich beeinflussten Kaufentscheidungen basiert (Fraunhofer ISI & et al. bevorstehend).

Die Maßnahmeneffekte des Stromspar Checks weist keine nennenswerten Überschneidungen zu den anderen Maßnahmen auf, da sich dieses Förderprogramm an einkommensschwache Haushalte richtet. Diese spezielle Zielgruppe wird von anderen Maßnahmen kaum erreicht (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2019). Zudem werden Mitnahmeeffekte minimal eingeschätzt, da diese Maßnahme Haushalte erreicht, welche sich zu kostendeckenden Preisen voraussichtlich keine Stromsparchecks leisten könnten (Fraunhofer ISI & et al. bevorstehend).

3.1.3.2. Annahmen und Parameter

Gerätebestand

Der Gerätebestand wird hier über die geschätzte Entwicklung der Ausstattungsraten ermittelt, die mit der angenommenen Anzahl an Haushalten (siehe Kapitel 2.5.2.1) multipliziert wird. Wie in den vorangegangenen Berichten, orientieren sich die Annahmen zur Entwicklung der Ausstattungsraten an den in den Politikscenarien VI (Bundesregierung 2013) zu Grunde gelegten Trends bzw. für IKT an den Prognosen aus (Fraunhofer IZM 2015). Die erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten zeigt Tabelle 31.

Die jeweiligen Ausstattungsraten der privaten Haushalte mit elektrischen Haushaltsgeräten im Basisjahr 2016 werden auf Grundlage der regelmäßigen Veröffentlichungen des ZVEI ermittelt. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung wird für die meisten großen elektrischen Haushaltsgeräte von einer Sättigung ausgegangen und daher mit nur noch geringfügig steigenden oder

konstanten Ausstattungsraten gerechnet. Der moderate Bestandszuwachs ist daher überwiegend auf den angenommenen Anstieg der Anzahl an Haushalten von 39,5 Mio. im Jahr 2010 auf rund 43,1 Mio. im Jahr 2035 zurückzuführen. Lediglich bei Spülmaschinen und Wäschetrocknern wird bis 2035 noch eine Erhöhung der Ausstattungsrate angenommen. Insgesamt wird dieser Teil des Stromverbrauchs in den kommenden Jahren jedoch überwiegend durch Ersatzbeschaffungen bestimmt.

Für IKT-Geräte wird hingegen für die meisten hier berücksichtigten Gerätegruppen mit weiter steigenden Ausstattungsraten gerechnet. Dies gilt insbesondere für Laptops, Set-Top-Boxen und Router, wo noch deutliche Bestandszuwächse zu erwarten sind. Lediglich für Desktop-PCs wird eine sinkende Ausstattungsrate angenommen, da erwartet wird, dass diese weiterhin vermehrt durch Laptops ersetzt werden. Bei den dieses Verbrauchssegment insgesamt dominierenden Fernsehern dürfte sich allerdings die heute schon hohe Ausstattungsrate von rund 1,6 TV-Geräten pro Haushalt in Deutschland nur noch moderat erhöhen.

Das Modul Beleuchtung wird im Berechnungsmodell über die Anzahl der Beleuchtungspunkte pro Wohneinheit abgebildet. Hier wird mit einer weitgehend konstanten Anzahl von 33 bis 35 Beleuchtungspunkten gerechnet. Schwierig zu bestimmen ist aufgrund der unzureichenden Datenlage der heutige und zukünftige Bestand an Klimageräten in privaten Haushalten. Die Abschätzung erfolgt hier in Anlehnung an die Review-Studie in Lot 10 (EU Commission 2018) zu Raumklimageräten in privaten Haushalten und eine darauf aufbauende Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (Barthel et al. 2010).

Tabelle 31: Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten

Gerätebestand (Anzahl Geräte in Tausend)	2015	2020	2025	2030	2035
Große elektrische HH-Geräte					
Kühlschränke	43.434	44.787	45.299	45.682	46.115
Gefrierschränke	28.671	29.786	30.313	30.758	31.248
Waschmaschinen	38.844	40.081	40.531	40.874	41.281
Geschirrspüler	28.507	30.276	31.118	31.653	32.106
Trockner	23.411	27.872	30.581	32.240	33.317
Herde (Gas- und Elektroherde)	41.100	42.243	42.575	42.809	43.118
IKT -Endgeräte					
Desktop-PC	35.699	38.450	37.491	33.220	26.944
Computer-Bildschirm	24.824	36.887	38.223	39.440	40.690
Laptops	16.974	21.853	27.154	33.768	42.411
Fernseher	63.590	67.552	70.078	72.318	74.564
Set-Top-Boxen	38.227	41.445	43.720	44.873	45.865
Router	25.453	27.450	28.785	29.915	30.963
Beleuchtung	1.356.167	1.420.335	1.455.311	1.484.724	1.514.607
Klimageräte	2.758	4.334	6.046	7.808	9.516

Quellen: Barthel et al. (2010), BITKOM (2008), EuP Preparatory Studies Lot 10 (2008), Institut für System- und Innovationsforschung (2009), GfK (2002-2010), ZVEI (2006-2009), StBA (2010), StBA (2014), Fraunhofer IZM (2015), Van Holsteijn et al. (2014), Schätzung Fraunhofer ISI

Spezifischer Geräteverbrauch

Der spezifische Stromverbrauch der einzelnen Gerätekategorien wird im Modell durch die jeweiligen Nutzungszeiten in den verschiedenen Betriebszuständen, die Verteilung der Anteile der Energieeffizienzklassen an den Geräteverkäufen sowie die spezifische Leistungsaufnahme in den verschiedenen Betriebszuständen bestimmt. Letztere wiederum wird insbesondere durch die jeweiligen Anforderungen an Mindesteffizienzstandards durch die Ökodesign-Richtlinie bestimmt. Welche Annahmen dazu getroffen werden, wird gerätespezifisch in Zusammenhang mit der Quantifizierung dieser Maßnahme dargestellt (siehe dazu die entsprechenden Ausführungen im nachfolgenden Kapitel 3.1.3.3). Auch die Anteile der Energieeffizienzklassen an den Geräteverkäufen werden zumindest am unteren Rand durch die Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie beschränkt, wodurch weniger effiziente Klassen zunehmend nicht mehr auf den Markt gebracht werden dürfen.

Die Nutzungszeiten in den verschiedenen Betriebszuständen sind vor allem für die IKT-Geräte relevant. Hier wird im Modell überwiegend auf die Annahmen in (Fraunhofer IZM 2015) zurückgegriffen. Für viele IKT-Geräte wird dabei von weiter steigenden Nutzungszeiten ausgegangen. Dies führt zu einer teilweisen Kompensation technischer Effizienzverbesserungen der Geräte und zu einem entsprechend geringeren Rückgang – oder sogar Anstieg – des spezifischen Stromverbrauchs. Den gleichen Effekt haben Trends wie größere Fernseher und eine erhöhte Leistungsfähigkeit der Geräte (so genannter direkter Rebound-Effekt).

Die auf der Basis dieser Annahmen erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs im MMS zeigt Tabelle 32. Danach liegt der erwartete Rückgang des spezifischen Stromverbrauchs für die großen elektrischen Geräte zwischen den Jahren 2015 und 2035 zwischen 14 und 33 %. Im Bereich der IKT-Geräte fallen die erwarteten spezifischen Verbrauchsreduktionen sehr unterschiedlich aus, da manche Geräte einen Technologiewechsel erfahren, während andere leistungstärker werden und sich der Verbrauch daher kaum senkt (bspw. Laptops) oder noch deutlich erhöht (insb. Fernseher). Bei Klimageräten wird im MMS ein Anstieg des spezifischen Verbrauchs von rund 12 % bis 2035 erwartet. Die Entwicklung wird hier durch verlängerte Nutzungszeiten einerseits und die angenommenen Anteile der Effizienzklassen an den künftigen Geräteverkäufen andererseits bestimmt.

Tabelle 32: Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MMS

Spezifischer Geräteverbrauch	2015	2016	2020	2025	2030	2035
	kWh/ Gerät	MMS: Veränderung gegenüber 2015 in %				
Große elektrische HH-Geräte						
Kühlschränke	223,5	-3,5	-17,9	-27,3	-29,1	-30,4
Gefrierschränke	232,1	-2,8	-14,2	-27,4	-29,2	-30,5
Waschmaschine	163,3	-1,7	-8,8	-17,4	-19,6	-21,0
Geschirrspüler	363,6	-1,7	-8,0	-12,7	-12,6	-13,9
Trockner	211,1	-3,9	-17,6	-30,7	-32,2	-33,0
Elektroherd	771,2	-0,3	-3,4	-7,0	-10,7	-14,8
IKT-Endgeräte						
Desktop-PC	58,4	-0,5	-2,7	-7,2	-11,1	-11,1
Computer-Bildschirm	36,5	-4,9	-19,5	-36,7	-39,2	-39,2
Laptops	30,1	0,0	2,0	1,3	-1,0	-1,0
Fernseher	146,4	-0,3	0,7	5,3	10,2	15,1
Set-Top-Boxen	50,2	0,4	1,2	1,4	1,4	0,2
Router	71,2	0,0	-3,8	-9,3	-13,3	-13,3

Spezifischer Geräteverbrauch	2015	2016	2020	2025	2030	2035
Beleuchtung pro Haushalt	195,1	-5,3	-28,6	-47,2	-62,8	-66,5
Klimaanlage	378,4	-1,4	-3,2	4,4	10,9	12,1

Quellen: Barthel et al. (2010), BITKOM (2008), EuP Preparatory Studies Lot 10 (2008), Institut für System- und Innovationsforschung (2009), GfK (2002-2010), ZVEI (2006-2009), StBA (2010), StBA (2014), Fraunhofer IZM (2015), Van Holsteijn en Kemna B.V. et al. (2014), Schätzung Fraunhofer ISI

3.1.3.3. Ergebnisse der Projektion

Einen Überblick über die Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte im MMS nach Anwendungsbereichen gibt Tabelle 33. Dabei verzeichnen die privaten Haushalte von 2015 bis 2035 einen kontinuierlichen Rückgang des Stromverbrauchs. Bei der weißen Ware wird insgesamt von einer relativ gleichbleibenden Ausstattungsrate ausgegangen, lediglich der Anteil der Trockner wird sich voraussichtlich in den kommenden Jahren noch leicht erhöhen. Bei der weißen Ware ist der zu erwartende Rückgang des Stromverbrauchs durch Effizienzsteigerungen so groß, dass er den zusätzlichen Stromverbrauch hinzukommender Geräte, durch die größere Anzahl an Haushalten, überkompensiert. Gegenteiliges ist bei den IKT-Endgeräten der Fall: trotz des teils beträchtlichem Rückgangs des spezifischen Energieverbrauchs der meisten IKT-Geräte (eine Ausnahme bilden die Fernseher) führen die angenommenen deutlich höheren Ausstattungsraten zu einem deutlichen Anstieg des Energieverbrauchs. Im Beleuchtungsbereich führt der Wechsel zu LED-Beleuchtung zu deutlich niedrigeren spezifischen Verbräuchen, bei etwa gleichbleibenden Ausstattungsraten, wodurch der Stromverbrauch hier kontinuierlich abfällt. Im Gegensatz dazu wird bei den Klimageräten sowohl von einem deutlichen Anstieg der Ausstattungsraten als auch von höheren spezifischen Verbräuchen durch mehr Leistungsfähigkeit ausgegangen. In Folge dessen wird der Stromverbrauch für Klimaanlage bis 2035 deutlich ansteigen.

Tabelle 33: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MMS

Stromverbrauch MMS	2010	2015	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh						
Weißer Ware	39,8	38,0	37,4	35,1	32,3	32,3	32,3
Elektroherd	14,2	16,5	17,0	18,4	19,6	18,5	17,4
IKT-Endgeräte	16,3	16,9	17,0	17,9	18,6	19,4	20,4
Beleuchtung	10,3	7,9	7,5	5,6	4,1	2,9	2,6
Klimaanlage	0,6	1,0	1,1	1,6	2,4	3,3	4,0
Sonstiger Strom	26,2	31,7	31,5	30,6	29,1	27,7	27,0
Summe	107,3	112,1	111,5	109,3	106,2	104,2	103,7

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Auf Grundlage der oben dargestellten Annahmen ergeben sich durch diese Maßnahmen im Jahr 2020 jährliche Einsparungen in Höhe von rund 20 TWh. Im Jahr 2030 steigen diese auf rund 35,2 TWh und im Jahr 2035 auf 39,8 (siehe nachfolgende Tabelle 34). Die größten Einsparungen ergeben sich durch die Ökodesign-Richtlinie (25,5 TWh in 2035) gefolgt von der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (8,2 TWh in 2035). Im Vergleich zum vorangegangenen Bericht liegen die berechneten Einsparungen der STEP up! Maßnahme deutlich niedriger. Dies basiert auf deutlich detailliertere Berechnungen, welche die Diskrepanz zwischen den eingestellten und den tatsächlich abgerufenen Mitteln berücksichtigt. Diese derzeit bestehende Diskrepanz wurde von der Politik aufgegriffen und die Maßnahme überarbeitet, sodass ab 2019 von einer deutlichen Steigerung der Einsparwirkung im Vergleich zu den Vorjahren ausgegangen wird. Diese Steigerung ist in der Berechnung der Wirkung entsprechend berücksichtigt.

Tabelle 34: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MMS

Maßnahme	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	Einsparungen am Stromaufkommen				
			2015	2020	2025	2030	2035
TWh							
Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie	R	Schrittweise Umsetzung seit 2009	6,0	15,8	21,7	23,1	25,5
EU-Energielabel-Verordnung	R/I	Quantifiziert ab Einführung des neuen Energielabels 2010	1,9	3,2	5,7	7,2	8,2
Ökosteuer	E	Quantifiziert ab 2008	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
STEP up! Strom (Anteil Strom privater Haushalte)	E	Quantifiziert ab 2017	-	0,1	0,2	0,3	0,3
NTRI	I	Quantifiziert ab 2017	-	0,3	1,1	2,1	3,1
Energieberatung für einkommensschwache Haushalte (Stromspar Check)	I	Quantifiziert ab 2009	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Flankierende Instrumente		Laufende Umsetzungsmaßnahmen					
Summe aller Einzelmaßnahmen			8,4	20,0	30,4	35,2	39,8

Quelle: Schätzung Fraunhofer ISI

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

3.1.4. Industrie

3.1.4.1. Methodik

Für die Erstellung von Szenarien zur Entwicklung von THG-Emissionen und Energiebedarf in den Sektoren Industrie, GHD (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) sowie Haushaltsgeräte wird das **Energienachfragemodell FORECAST³¹** eingesetzt. Die Bewertung von Einzelmaßnahmen erfolgt je nach Datenlage und Maßnahmenausgestaltung ebenfalls mit dem Modell FORECAST oder über eine Einzelbewertung anhand von Maßnahmenkennwerten.

Methodisch basiert das Modell FORECAST auf einem technologiespezifischen Bottom-up-Ansatz, welcher erlaubt, die zukünftige Entwicklung von Energieverbrauch und THG-Emissionen an die technologische Entwicklung in den Sektoren zu knüpfen. Dieser Ansatz ermöglicht zum einen, technologische Trends und ihre Auswirkungen auf die Dynamik des Energieverbrauchs zu berücksichtigen. Zum anderen erlaubt er Rückschlüsse auf die Realitätsnähe der Energieszenarien, indem jedem Szenario eine spezifische technologische Entwicklung zugrunde liegt.

Das Modell FORECAST ist entsprechend der Energiebilanzen auf der Ebene der Endenergie in die Sektoren Industrie, GHD und Haushalte unterteilt. Wenngleich die generelle Methodik der Modellierung in den jeweiligen Sektormodulen vergleichbar ist (bottom-up, Simulation), so unterscheidet sich der Aufbau der Sektormodule teils deutlich, abhängig von Datenverfügbarkeit und technologischer Struktur. Die einzelnen Module berücksichtigen somit die strukturellen Charakteristika der Sektoren.

Die Struktur der Sektormodule basiert für alle Sektoren auf einem vergleichbaren Vorgehen, welches in zwei generelle Schritte unterteilt werden kann.

³¹ Weitere Informationen siehe <http://www.forecast-model.eu/>

- a) Zunächst werden die wesentlichen Bestimmungsfaktoren (Aktivitätsgrößen) festgelegt, deren Entwicklung eine möglichst direkte Korrelation mit dem Energieverbrauch aufweist (Anzahl Haushalte, industrielle Produktion, Anzahl Beschäftigte). Prognosen dieser Aktivitätsgrößen ermöglichen eine Projektion des Energieverbrauchs, die zunächst technologischen Wandel zu gesteigerter Energieeffizienz unberücksichtigt lässt (Frozen-Efficiency).
- b) In einem zweiten Schritt wird die Entwicklung der Technologiestruktur modelliert, welche sich auf die Energieintensität auswirkt. Jedes der drei Modelle berücksichtigt die Charakteristika von Technologiestruktur und Energieverbrauch des jeweiligen Sektors. Während für die Haushalte der Bestand an Geräten über Verschiebungen zwischen den Effizienzklassen explizit modelliert wird, wird der technische Wandel in der Industrie über die Diffusion von neuen und effizienteren Techniken oder Verfahren modelliert. Die Diffusionsgeschwindigkeit hängt direkt mit der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zusammen. Um jedoch auch die Tatsache zu berücksichtigen, dass aufgrund verschiedener Hemmnisse selbst wirtschaftliche Maßnahmen mit kurzer Amortisationszeit nur langsam Verbreitung finden, wird das Kriterium für die Wirtschaftlichkeit deutlich ambitionierter als für andere Investitionen angenommen (etwa 50% der Maßnahmen mit 2-3 Jahren Amortisationszeit werden umgesetzt).

Im Folgenden wird das Sektormodul FORECAST-Industry beschrieben, während das Modul FORECAST-Tertiary in Abschnitt 3.1.5.1 und FORECAST-Residential in Abschnitt 3.1.3.1 beschrieben ist.

FORECAST-Industry ist hierarchisch aufgebaut und unterteilt die Industrie anhand der Energiebilanzen in einzelne Wirtschaftszweige bzw. Subsektoren. Diesen sind Prozesse zugeordnet, welche durch einen spezifischen Energieverbrauch und eine Aktivitätsgröße beschrieben werden.

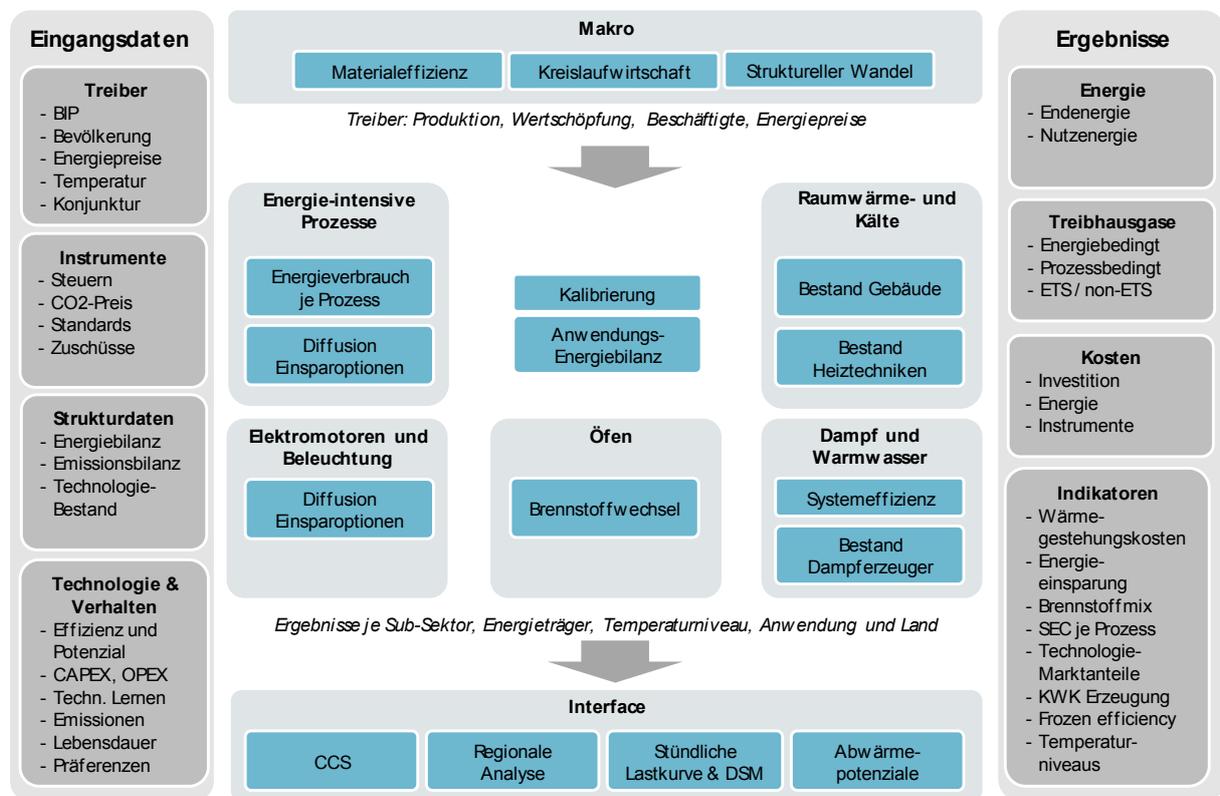
Eine große Herausforderung bei der bottom-up-Modellierung der Industrie ist die große Vielfalt an unterschiedlichen Prozessen und Unternehmen, welche technologisch im Modell abgebildet werden müssen. Entsprechend orientiert sich die Struktur des Modells zum einen an der Struktur des Industriesektors, wobei möglichst homogene Bereiche (z.B. Raumwärme) zusammengefasst werden, und zum anderen an der Datenverfügbarkeit. Bezüglich der Technologiestruktur können die Technologiefelder/Module energieintensive Prozesse, Elektromotorsysteme (und Beleuchtung), Raumwärme, Industrieöfen (Brennstoffwechsel) und Warmwasser- und Dampferzeugung und Verteilung unterschieden werden (siehe auch Abbildung 18 zur grundlegenden Struktur des Modells):

Energieintensive Prozesse bilden die Struktur der energieintensiven Subsektoren auf Prozessebene ab – als Beispiel kann der Hochofenprozess bei der Stahlherstellung genannt werden. In diesem Modul wird die Diffusion von Effizienztechniken basierend auf ihrer Amortisationsdauer simuliert. Annahmen und Methodik sind ausführlich in Fleiter et al. (2012a; 2013) zusammengefasst.

- a) *Elektromotorsysteme und Beleuchtung* finden in sämtlichen Branchen und verschiedenen Prozessen Anwendung: Elektromotoren werden zum Beispiel sowohl in der Papierherstellung als auch in der Stahlherstellung eingesetzt. Beiden Technologiegruppen sind Einsparmaßnahmen zur Effizienzverbesserung zugeordnet, in der Regel in der Form neuer Technologien oder organisatorischer Maßnahmen.
- b) Der *Raumwärmebedarf* wird über Flächenkennwerte je Subsektor berechnet. Dies beruht auf einem Bestandsmodell, in dem die Gebäude- und Anlagenumwälzung anhand der Altersstruktur modelliert wird. Es werden die Bereiche Gebäudehülle und Heizungssystem unterschieden. Eine detaillierte Modellbeschreibung findet sich in Biere (2015).

- c) Der Wärmebedarf in *Industrieöfen* liegt vorwiegend im Temperaturniveau über 500°C vor und beruht auf den Berechnungen des Moduls *Energieintensive Prozesse*. In diesem Modul wird der Brennstoffwechsel je Subsektor simuliert, wobei Parameter wie die Energiepreise, der CO₂-Preis sowie die historischen Trends berücksichtigt werden (Rehfeldt et al. 2018).
- d) *Warmwasser- und Dampferzeugung und -verteilung* werden in einer Vielzahl von Prozessen vor allem in der chemischen Industrie, dem Papier- und dem Nahrungsmittelgewerbe benötigt. Aufgrund der Ähnlichkeit der technischen Systeme wird die Dampferzeugung in FORECAST im Sinne einer Querschnittstechnik modelliert. Dabei wird sowohl ein Effizienzfortschritt bei den häufig schlecht gedämmten Dampfsystemen, wie auch eine Bestandsmodellierung der Dampferzeuger berücksichtigt. Der technische Wandel wird anhand von alternativen Wärmeerzeugern abgebildet, deren Einsatz mittels „discrete choice“ Methode simuliert wird (siehe z.B. Jaccard (2005)). Eine umfassende Beschreibung des Moduls findet sich in Biere (2015).

Abbildung 18: Überblick des Modells FORECAST-Industry



Quelle: Darstellung Fraunhofer ISI

Die Branchenstruktur des Industriemodells (Tabelle 35) orientiert sich an der Einteilung der Energiebilanzen. Nach Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) umfasst sie die beiden Sektoren „Verarbeitendes Gewerbe“ (WZ 2008 Nr. „C“) und Teile des Sektors „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ (WZ 2008 „B“), die nicht der Energiegewinnung dienen.

Tabelle 35: Branchenstruktur von FORECAST-Industry (angelehnt an AGEb)

Wirtschaftsbereiche Industrie	WZ 2008
Gew. v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau	8
Ernährung und Tabak	10, 11, 12
Papiergewerbe	17

Wirtschaftsbereiche Industrie	WZ 2008
Grundstoffchemie	20.1
Sonstige chemische Industrie	20 und 21 ohne 20.1
Gummi- u. Kunststoffwaren	22
Glas u. Keramik	23.1, 23.2, 23.31, 23.4
Verarbeitung v. Steine u. Erden	23 ohne 23.1, 23.2, 23.31 und 23.4
Metallerzeugung	24.1
NE-Metalle, -gießereien	24.4 und 24.5
Metallbearbeitung	24.2, 24.3 und 25
Maschinenbau	28 ohne 28.23
Fahrzeugbau	29, 30
Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe	übrige Nummern außer 5.1, 5.2, 6, 9, 19.1 und 19.2

Quelle: Fraunhofer ISI

Für eine weitergehende Modellbeschreibung wird an (Fleiter et al. 2018) verwiesen.

Die Wirkung von politischen Maßnahmen kann entsprechend über eine vergleichende Analyse alternativer Modellläufe berechnet werden, in denen ausgewählte Parameter, wie z.B. die Energiepreise oder Technologiekosten entsprechend der Maßnahmen variiert werden. Wenngleich dieser Ansatz für bestimmte Maßnahmentypen sehr gut geeignet ist (z.B. CO₂-Preise, Steuern, Mindeststandards), so kann er besonders für eher diffuser wirkende Maßnahmen (z.B. Energieberatung oder Energiemanagement) nicht genutzt werden. Für diese Maßnahmen wird eine Einzelmaßnahmenbewertung durchgeführt, die sich nach Möglichkeit an vorhandenen Maßnahmenevaluationen orientiert.

In jedem Fall wird das Modell FORECAST genutzt, um Technologie- und Emissionspfade bis zum Jahr 2035 zu berechnen. Somit wird sichergestellt, dass die resultierende Technologieentwicklung einem möglichst realitätsnahen Rahmen folgt, selbst wenn viele Maßnahmen über Einzelbewertungen quantifiziert werden.

Tabelle 36 gibt an, für welche Maßnahmen die Einzelbewertung bzw. die Modellbewertung mit dem Modell FORECAST durchgeführt wurde. Weiterhin wird für Maßnahmen mit Einzelbewertung angegeben, welche Abzüge für Überschneidungen mit andere Maßnahmen und Mitnahmeeffekte berücksichtigt wurden. Für Maßnahmen, die mit FORECAST bewertet wurden, werden entsprechende Effekte in den Modellrechnungen auch berücksichtigt, können jedoch nicht ausgewiesen werden. Mitnahmeeffekte berücksichtigen, dass z.B. Effizienzinvestitionen auch ohne Förderprogramm durchgeführt worden wären. Überschneidungen berücksichtigen die vielen (häufig gewollten) Überschneidungen und Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen. Dies ist z. B. der Fall, wenn Effizienzinvestitionen im Rahmen einer Energieberatung identifiziert wurden und dann in der Umsetzung von einem Förderprogramm profitieren. Diese Überschneidung stellt keine Doppelförderung dar, muss jedoch bei der Maßnahmenwirkung korrigiert werden (die Einsparwirkung der Effizienzinvestition wird jeder Maßnahme nur zur Hälfte zugerechnet). Die angegebenen Prozentwerte für Überschneidungen und Mitnahmeeffekte reduzieren entsprechend die Brutto-Wirkung der Maßnahmen. Die Herleitung der Annahmen zu Mitnahmeeffekten und Überschneidungen wird in den Abschnitten zu den einzelnen Maßnahmen diskutiert. Unsicherheiten bei Überschneidungen und Mitnahmeeffekten sind noch sehr hoch und die empirische Datenlage ist sehr lückenhaft. Es steht jedoch außer Frage, dass die Bedeutung von entsprechenden Überschneidungseffekten bei der Bewertung des gesamten Policy Mixes aufgrund der steigenden Anzahl an Maßnahmen immer stärker wird. Ein einfaches Aufsummieren der Einzelwirkung der Maßnahmen würde das Gesamtpotenzial deutlich überschätzen.

Tabelle 36: Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten

Szenario	Maßnahme	Methode	Überschneidung	Mitnahmeeffekte
MMS	Emissionshandel	FORECAST	n.V.	n.V.
MMS	Ökologische Steuerreform	FORECAST	n.V.	n.V.
MMS	Spitzenausgleich	Einzelbewertung	20-39 %	10 %
MMS	EEG-Umlage	FORECAST	n.V.	n.V.
MMS	Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	Einzelbewertung	45 %	10 %
MMS	Energieberatung Mittelstand	Einzelbewertung	20 %	n.V.
MMS	Mindeststandards I	FORECAST	n.V.	n.V.
MMS	Förderung Querschnittstechniken	Einzelbewertung	30 %	25 %
MMS	Förderung von Kälte und Klimaanlagen im Gewerbe	Einzelbewertung	15%	20%
MMS	500 Effizienznetzwerke	Einzelbewertung	30 %	0 %
MMS	Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Strom)	Einzelbewertung	20 %	15 %
MMS	Energieaudit Nicht-KMU	Einzelbewertung	30 %	10 %
MMS	Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	Einzelbewertung	15 %	15 %
MMS	KfW-Energieeffizienzprogramm	Einzelbewertung	30 %	30 %
MMS	NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen	Einzelbewertung	0 %	n.v.

3.1.4.2. Annahmen und Parameter

EU-Emissionshandel

Für die Quantifizierung der Wirkungen des EU-Emissionshandels stellen die Zertifikatspreise die zentrale Annahme dar (2020: 15 Euro/t CO₂, 2025: 23, 2030: 35, 2035: 43, siehe Abschnitt 2.3). Die Preise verbessern im Modell die Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Technologien und CO₂-armer Energieträger. Entsprechend gewinnen diese höheren Marktanteile und verbreiten sich schneller im Anlagenbestand.

Das Modell FORECAST-Industry ermöglicht aufgrund der prozessspezifischen Struktur die Berücksichtigung der Preise der Emissionszertifikate nur für Prozesse, die tatsächlich dem Emissionshandel unterworfen sind. Eine Schwierigkeit bei der Modellierung ist dennoch die Abgrenzung der Unternehmen, die am Emissionshandel teilnehmen. Die energieintensiven Prozesse wurden entsprechend Tabelle 37 dem Emissionshandel zugeordnet. Ausnahmeregeln wie z.B. der Ausschluss von Papier- und Kartonfabriken mit einer jährlichen Kapazität unter 7.300 Tonnen Papier können nicht berücksichtigt werden. Diese kleinen Anlagen fallen aufgrund des niedrigen Beitrags zu den gesamten THG-Emissionen der Branche allerdings kaum ins Gewicht.

Tabelle 37: Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und -produkte des Modells FORECAST zum Emissionshandel nach Sektoren

Prozess
Roheisen und Stahl
Direkte Reduktion, Elektrostahl – EAF, Oxygenstahl – Hochofen, Schmelzreduktion, Walzstahl
Zementklinker und Kalk

Prozess

Gips, Kalkbrennen, Klinker Brennen (halbtrocken), Klinker Brennen (trocken), Ziegel

Nichteisenmetalle

Aluminium Gießereien, Aluminium Walzen, Aluminium primär, Aluminium sekundär, Aluminium Strangpressen, Kupfer primär, Kupfer sekundär, Kupferbearbeitung, Primärzink, Sekundärzink

Keramische Erzeugnisse durch Brennen

Feuerfestkeramik, Fliesen, Platten, Andere, Haushaltswaren, Sanitärkeramik, Technische Keramik

Glas einschließlich Glasfasern

Behälterglas, Flachglas, Glasfasern, Übriges Glas

Zellstoff, Papier und Pappe

Altpapierstoff, Holzstoff – Verfahren, Papier, Zellstoff – Verfahren

Chemische Produkte

Adipinsäure, Ammoniak, Ethylen, Industrieruß, Methanol, Polycarbonat, Polyethylen, Polypropylen, Salpetersäure, Soda

Andere

Zucker

Quelle: Fraunhofer ISI

Während einige industrielle Prozesse explizit dem Emissionshandel unterworfen sind, sind andere Anlagen nur über die Gruppe der „Verbrennungsanlagen“ berücksichtigt. Diese umfasst sämtliche Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mindestens 20 MW, unabhängig von der sektoralen Zugehörigkeit. Entsprechend wird im Modell FORECAST bei der industriellen Dampferzeugung der Emissionshandel nur für Anlagen größer 20 MW berücksichtigt.

Der Einfluss des CO₂-Zertifikatspreises auf die Investitionsentscheidung der Unternehmen folgt somit einem Simulationsansatz, bei dem die Unternehmen nicht zwangsläufig optimieren, sondern stattdessen nach Amortisationszeit entscheiden oder aufgrund nicht monetärer Faktoren bei einer Ersatzinvestition wieder das gleiche System beschaffen. Es wird angenommen, dass Unternehmen den zukünftigen Preispfad nicht kennen und stattdessen bei der Investitionsbewertung von konstanten CO₂-Preisen ausgehen. Das bedeutet, eine Investition, die im Jahr 2030 getätigt wird, wird mit einem CO₂-Preis von 35 Euro/t CO₂ bewertet.

Mögliche Rückwirkungen des Zertifikatspreises auf Produktionsmengen, erhöhte Strompreise sowie dynamische Innovationseffekte werden in der Modellierung nicht berücksichtigt. Die ausgewiesene Wirkung basiert alleine auf dem Einfluss des CO₂-Zertifikatspreises auf die Investitionsentscheidung der Unternehmen.

Ökologische Steuerreform

Die Modellierung der im Rahmen der ökologischen Steuerreform eingeführten Strom- und erhöhten Energiebesteuerung erfolgt über eine Anpassung der im Modell hinterlegten Energiepreise. Dieser Ansatz ähnelt der oben beschriebenen Modellierung des Emissionshandels.

Hierbei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass für bestimmte Industriezweige und Unternehmen im Rahmen der ökologischen Steuerreform Steuerbegünstigungen vorgesehen wurden bzw. diese in der Vergangenheit einen ermäßigten Steuersatz bezahlten. Diese Steuerbegünstigungen werden derzeit u.a. auf ihre Wirkung und Zielsetzung sowie Notwendigkeit evaluiert. Dennoch wird für die Modellierung mangels anderweitiger Informationen angenommen, dass die mittleren Steuersätze bis zum Jahr 2035 konstant bleiben.

Neben den im Folgenden beschriebenen Vergünstigungen durch den so genannten Spitzenausgleich und die allgemeine Vergünstigung der Stromsteuer, sind die in Tabelle 38 aufgeführten Prozesse direkt von der Energie- und Stromsteuer ausgenommen.

Die in Tabelle 41 und Tabelle 42 aufgeführte Wirkung enthält nicht die Effekte durch den so genannten Spitzenausgleich, welche wie im Folgenden beschrieben, separat quantifiziert werden.

Tabelle 38: Von der Strom- bzw. Energiesteuer vollständig entlastete Produktionsprozesse

Prozess	Stromsteuer	Energiesteuer
Thermische Abfall- oder Abluftbehandlung		x
Verwendung gleichzeitig zu Heizzwecken und zu anderen Zwecken als Heiz- oder Kraftstoff		x
Elektrolyse	x	
Herstellung von:		
Glas und Glaswaren	x	x
Keramischen Erzeugnissen	x	x
Keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten	x	x
Ziegeln	x	x
Sonstiger Baukeramik	x	x
Zement	x	x
Kalk	x	x
Gebranntem Gips	x	x
Erzeugnissen aus Beton, Zement und Gips	x	x
Keramisch gebundenen Schleifkörpern	x	x
Mineralischen Isoliermaterialien	x	x
Erzeugnissen aus mineralischen Isoliermaterialien	x	x
Katalysatorträgern aus mineralischen Stoffen	x	x
Waren aus Asphalt und bituminösen Erzeugnissen	x	x
Waren aus Graphit oder anderen Kohlenstoffen	x	x
Erzeugnissen aus Porenbetonherzeugnissen	x	x
Prozesse der vorgenannten Erzeugnisse und Vorprodukte		
Trocknen	x	x
Kalzinieren	x	x
Brennen	x	x
Schmelzen	x	x
Erwärmen	x	x
Warmhalten	x	x
Entspannen	x	x
Tempern	x	x
Sintern	x	x
Metallerzeugung und -bearbeitung (nur Wärmestrom bzw. Energieerzeugnisse zum Verheizen)	x	x
Im Rahmen der Herstellung von Metallerzeugnissen für die:		

Prozess	Stromsteuer	Energiesteuer
Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh-, und Stanzteilen	x	x
Gewalzten Ringen	x	x
Pulvermetallurgischen Erzeugnissen	x	x
Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung	x	x
Chemische Reduktionsverfahren	x	x

Quelle: Fraunhofer ISI

Spitzenausgleich im Rahmen des EnergieStG und des StromStG

Zur Quantifizierung der Einsparungen durch die verpflichtende Einführung von Energiemanagementsystemen (EMS) im Rahmen der Energie- und Stromsteuergesetze wird angenommen, dass die eingeführten Energiemanagementsysteme eine entsprechende Wirkung entfalten wie für vergleichbare Systeme in der Vergangenheit beobachtet wurde.³²

In einer aktuellen Evaluation (Nabitz et al. 2016) wird die Wirkung von EMS in KMU im Rahmen des Förderprogramms erhoben. Demnach bewirken EMS im Mittel jährliche Stromeinsparungen von 4 % des Stromverbrauchs der Unternehmen. Geht man davon aus, dass zwischen Evaluation und Einführung der EMS im Mittel zwei Jahre lagen, wurden somit in den umgesetzten EMS-Systemen jedes Jahr 2 % neue jährliche Stromeinsparungen induziert. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass diesen Zahlen lediglich eine kleine Stichprobe von 34 Unternehmen zugrunde liegt. Weiterhin bezieht sich die Evaluation auf die Einführungsphase der EMS, in der vermutlich zunächst die großen Einsparpotenziale erschlossen werden. Eine mögliche zukünftige Sättigung der Einsparpotenziale ist offen. Weitere empirische Informationen zur Wirkung von EMS sind derzeit nicht bekannt. Es wird daher für die Berechnung zusätzlich auf Erkenntnisse aus der Wirkung von Energieeffizienznetzwerken zurückgegriffen. Demnach erreichen diese zusätzliche jährliche Stromeinsparungen von im Mittel etwa 0,6 % des Stromverbrauchs der Unternehmen.

Entsprechend ist ungewiss, welcher der beiden Werte, 0,6 % oder 2 % für den Spitzenausgleich, realitätsnahe Annahmen darstellt. Da bei EMS im Rahmen des Spitzenausgleichs unklar ist, wie diese in den Unternehmen „gelebt“ werden, wird in der Bewertung von 0,6 % jährlicher Einsparwirkung ausgegangen. Es ist zu befürchten, dass ein großer Teil der Unternehmen die EMS lediglich einführt, um den Spitzenausgleich zu erhalten, was ein deutlicher Unterschied der Unternehmensmotivation zur evaluierten Stichprobe darstellt (Nabitz et al. 2016).

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass einige Unternehmen auch ohne Spitzenausgleich ein EMS eingeführt hätten. Die Wirkung des Spitzenausgleichs darf diese ohnehin umgesetzten EMS nicht berücksichtigen, wenngleich nicht bekannt ist, auf wie viele Unternehmen dies zutrifft. Für die Hochrechnung wurde davon ausgegangen, dass 10 % der Unternehmen, die ein EMS umgesetzt haben, dies auch ohne Spitzenausgleich gemacht hätten. Relativ gut schätzen lässt sich der Anteil des Produzierenden Gewerbes, der vom Spitzenausgleich profitiert. Laut Subventionsbericht (BMF 2015) der Bundesregierung sind für das Jahr 2016 1,8 Mrd. Euro Steuermindereinnahmen aufgrund des Spitzenausgleichs zu verzeichnen, wovon 1,6 Mrd. auf den Stromverbrauch (§ 10 StromStG) und 0,2 Mrd. auf die Energieerzeugnisse entfallen (§ 55 EnergieStG). Die stromverbrauchenden Unternehmen erhalten im Mittel eine Vergünstigung von 14 Euro je MWh Strom.

³² Für den Projektionsbericht 2015 wurde für die Quantifizierung ein Ansatz gewählt, welcher auch das Effizienzziel des gesamten produzierenden Gewerbes einbezieht. In den aktuellen Berechnungen wird hingegen lediglich die Wirkung der Einführung der Energiemanagementsysteme berechnet, unabhängig vom Effizienzziel des gesamten produzierenden Gewerbes.

Bei Berücksichtigung weiterer Überschneidungen mit Programmen zur Investitionsförderung sowie "sowieso"-Effekten durch Unternehmen, die auch ohne Spitzenausgleich ein EMS eingeführt hätten, ergibt sich eine Reduktion der Wirkung um etwa 45 % (23 % Überschneidungen BesAR, 20 % Überschneidungen andere Programme, 10 % Mitnahmeeffekte).³³

Besondere Ausgleichsregelung (BesAR) des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG)

Die Hochrechnung der Wirkung der BesAR erfolgt ähnlich wie die oben beschriebene Berechnung des Spitzenausgleichs über die Wirkung der eingeführten Energiemanagementsysteme. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es zwischen Spitzenausgleich und BesAR Überschneidungen gibt. Wenn Unternehmen bereits für die Vergünstigungen im Rahmen des Spitzenausgleichs ein Energiemanagementsystem eingeführt haben, so kann dieses auch für die Vergünstigungen der BesAR angerechnet werden. Entsprechend wird für die überschneidende Strommenge (etwa 65 TWh) die Wirkung beider Maßnahmen anteilig reduziert. Dies senkt die Wirkung der BesAR um etwa ein Drittel. Insgesamt ergibt sich eine Reduktion der Brutto-Wirkung um etwa 50 % (30 % Überschneidung Spitzenausgleich, 20 % Überschneidung andere Programme, 10 % Mitnahmeeffekte).

Tabelle 39 zeigt eine Übersicht der Voraussetzungen für Vergünstigungen nach BesAR und Spitzenausgleich. Wengleich diese Tabelle viele Details nicht enthalten kann, so genügt sie um die oben erwähnte Überschneidung zu illustrieren: Viele der stromintensiven Unternehmen erhalten sowohl den Spitzenausgleich als auch die anteilige Befreiung von der EEG-Umlage, wenn sie ein Energiemanagementsystem einführen. Alleine bei den ohnehin von der Energie- und Stromsteuer ausgenommenen Prozessen (§9a StromStG, § 51 EnergieStG) kann sicher davon ausgegangen werden, dass sich die Instrumente nicht überschneiden. In Summe entsprachen die Prozesse bei Strom etwa 39 TWh im Jahr 2017, während sich die von der BesAR betroffene (privilegierte) Strommenge im produzierenden Gewerbe im gleichen Jahr auf 102 TWh belief (Prognos 2016b). Folglich sind 38 % hiervon überschneidungsfrei. Allerdings ist unklar, wie viele der Unternehmen auch ohne BesAR bereits ein Energiemanagementsystem eingeführt hätten.

Tabelle 39: Überschneidungen bei der Wirkung der BesAR sowie des Spitzenausgleichs (grün: Entlastung gekoppelt an EMS; blau: Entlastung ohne Anforderung; orange: keine Entlastung; grau: keine Belastung); Mengenangaben für 2017

Segment ^[1]		Besondere Ausgleichsregelung der EEG-Umlage (BesAR)		Spitzenausgleich im EnergieStG und StromStG ^[4]
Strom >5 GWh/a	Prozesse ^[2]	Entlastung wenn EMS und SKI > 14/17/20 % ^[3]	(102 TWh) ^[5]	Ausgenommen (~39 TWh)
	Keine Prozesse	Entlastung wenn AS und SKI > 14/17/20 % ^[3]		Entlastung bis 90 %, wenn min. 1000 Euro/ a Stromsteuer und Netto-RV-Einsparung negativ sowie EMS eingeführt
Strom 1-5 GWh/a				
Strom < 1 GWh/a		Keine Privilegierung		123 TWh bekommen Spitzenausgleich

³³ Die einzelnen Reduktionsfaktoren sind dabei multiplikativ zu berücksichtigen (Summe Wechselwirkungen = 1-0,9*0,8*0,77).

Brennstoffe	Keine Prozesse	-	88 TWh bekommen Spitzenausgleich
	Prozesse ^[2]	-	Ausgenommen (~102 TWh)

Anmerkung: EMS: Energiemanagementsystem oder EMAS; AS: Alternative Systeme; RV: Rentenversicherung; SKI: Stromkostenintensität

[1] Neben dem Produzierenden Gewerbe betreffen das EnergieStG und das StromStG auch die Land- und Forstwirtschaft und die BesAR auch den Stromverbrauch für Fahrtstrom von Schienenbahnen. Beides ist hier nicht berücksichtigt.

[2] Es ist theoretisch auch möglich, dass die Ausnahmen auf Basis einzelner Prozesse in Unternehmen mit weniger als 5 GWh jährlichem Stromverbrauch gewährt werden. Jedoch ist dieser Anteil vermutlich gering.

[3] Bei der Stromkostenintensität gelten nach EEG 2017 unterschiedliche Grenzwerte von 14 %, 17 % und 20 %

[4] Betroffener Energieverbrauch berechnet über Steuermindereinnahmen laut Subventionsbericht (BMF 2015);

[5] Privilegierter Letztverbrauch stromintensiver Unternehmen (§§64 und §§103 EEG 2017) (Klingler et al. 2018)

Energieberatungen Mittelstand

Die Modellierung des Instruments baut auf den beiden veröffentlichten Evaluationen des Programms auf (IREES & Fraunhofer ISI 2010, 2014; PWC 2018). Diese bieten eine umfassende empirische Grundlage für die Berechnung der Programmwirkung. Eine aktuellere Evaluation von (PWC 2018) konnte nicht mehr für die Berechnung berücksichtigt werden. Die getätigten Annahmen werden in diesem Abschnitt mit den Ergebnissen der neuen Evaluation verglichen.

Für die Projektion wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Beratungen bei jährlich 1500 konstant bleibt (Vergleich Projektionsbericht 2017: 6000). Der angenommene Wert ist mit der in (PWC 2018) angegebenen Anzahl abgeschlossener Förderungen in 2015 (1407), 2016 (1725) und 2017 (1049) stimmig.

Bei der Einsparwirkung der Beratung werden die Mittelwerte der beiden Evaluationen fortgeschrieben. Die Stromeinsparung je Beratung beläuft sich demnach auf etwa 50 MWh/a und die Brennstoffeinsparung auf etwa 160 MWh/a. Es wird von einer mittleren Lebensdauer der umgesetzten Maßnahmen von 12 Jahren ausgegangen. Laut (PWC 2018) liegen die mittleren jährlichen Einsparungen je Unternehmen zwischen 120 MWh/a (2017) und 170 MWh/a (2016), was etwas niedriger als die angenommenen Werte ist, jedoch insgesamt noch konsistent scheint.

Es wird weiterhin angenommen, dass die Wirkung des Programms gemessen in eingesparten Energiemengen zu 85 % auf die Industrie und zu 15 % auf den Sektor GHD entfällt. Bei Betrachtung der Anzahl der Unternehmen zeigt sich laut (PWC 2018), dass der Großteil der Teilnehmer (46 %) im produzierenden Gewerbe tätig ist und dieser Anteil über die Jahre ansteigt. Da die Unternehmen des produzierenden Gewerbes einen um ein Vielfaches höheren Energiebedarf (und Energieeinsparungen) als Unternehmen aus Handel, Gastgewerbe und Dienstleistungen aufweisen, scheint die Annahme, dass 85% der energetischen Wirkung auf die Industrie entfällt, realistisch.

Die in das Programm aufgenommenen Förderung von Abwärmekonzepten sowie die Umsetzungsbegleitung erhöhen die angenommenen Energieeinsparungen je Beratung im Vergleich zu den Annahmen im Projektionsbericht 2015 leicht.

Ein weiteres Kriterium, das langfristig die Wirkung des Beratungsprogramms eingrenzt, ist die Beschränkung auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Laut einer Auswertung des Statistischen Bundesamtes (Kless & Veldues 2008) machen KMU zwar ca. 97 % der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes aus. Sie stellen jedoch nur 45 % der Beschäftigten und erwirtschaften lediglich 23 % des Umsatzes. Betrachtet man die Anzahl der Beschäftigten bzw. den Umsatz als groben Indikator für den Anteil der KMU am industriellen Energieverbrauch, so können mit der

Energieberatung Mittelstand maximal 23-45 % des gesamten Einsparpotenzials im Verarbeitenden Gewerbe erschlossen werden.

EU-Ökodesign-Richtlinie

Für die Quantifizierung der Wirkung werden die folgenden Annahmen getroffen. Die EU-Ökodesign-Richtlinie fördert vorwiegend produktbezogene Effizienzverbesserungen und lässt Verbesserungen des Gesamtsystems außer Acht. So gibt eine Mindestanforderung zum Wirkungsgrad von Pumpen keine Anreize zu Verbesserungen des Gesamtsystems, in das die Pumpe eingebunden ist. Es wird für die Berechnung davon ausgegangen, dass die Anforderungen befolgt werden. Die Anforderungen werden auf Ebene der einzelnen Produktgruppen quantifiziert.

Die Modellierung im MMS richtet sich nach den umgesetzten Durchführungsmaßnahmen der Lose (bzw. den Verordnungen). Es werden demnach nur Lose modelliert, für die zum Stichtag 31.7.2016 bereits Verordnungen in Kraft getreten sind. Für die Industrie sind die folgenden Lose betroffen:

- a) Los 1: Boiler und Kombiboiler (Verordnung VO 813/2013)
- b) Los 8: Bürobeleuchtung (Verordnung VO 245/2009, Änderung 347/2010)
- c) Los 9: Straßenbeleuchtung (Verordnung VO 245/2009, Änderung 347/2010)
- d) Los 11: Elektromotoren (Verordnung VO 640/2009, Änderung 4/2014)
- e) Los 11: Umwälzpumpen (Verordnung VO 641/2009, Änderung 622/2012)
- f) Los 11: Ventilatoren (Verordnung VO 327/2011)
- g) Los 11: Wasserpumpen (Verordnung VO 547/2012)
- h) ENTR Los 1 Kühl- und Gefriergeräte
- i) Los 6 (ENTR) Klima- und Lüftungsanlagen > 12 kW (VO 1253/2014)

Von diesen Losen ist zu erwarten, dass sie deutliche Auswirkungen auf den industriellen Energieverbrauch haben werden. Darüber hinaus sind weitere Verordnungen in Kraft getreten, die zwar den Industriesektor nicht explizit ausschließen, jedoch in ihrer Wirkung vorwiegend auf den GHD-Sektor oder die Haushalte abzielen und in der Industrie vermutlich nur eine marginale Wirkung haben werden. Diese Lose werden hier nicht berücksichtigt. Für eine umfassende Beschreibung der Methodik wird auf Fleiter et al. (2015) verwiesen.

Förderprogramm Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand

Für die Berechnung der Programmwirkung kann auf eine aktuelle Evaluation der Programmwirkung (dena 2016) sowie eine Kurzstudie zur LED-Förderung (Fraunhofer ISI 2014) zurückgegriffen werden. Im von der Evaluationsstudie der dena erfassten Zeitraum betrafen etwa 80 % der geförderten Maßnahmen den Einsatz von LED-Technik, welche jedoch seit dem 1.5.2015 nicht mehr förderfähig war. Für die Projektion genutzte Kennwerte sind somit stark durch die Eigenschaften der LED-Maßnahmen geprägt und können in Zukunft aufgrund eines veränderten Maßnahmenbündels abweichen. Weiterhin ist zum 10. Mai 2016 eine Novellierung des Programms in Kraft getreten, welche eine Reihe weiterer Änderungen mit sich geführt hat. Unter anderem sind nun auch Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitenden förderfähig.

Für die Projektion wird angenommen, dass jährlich 25 Millionen Euro Fördermittel abgerufen werden.

Die Zuschüsse machen im Mittel 26 % des gesamten Investitionsvolumens aus (dena 2016). Die Amortisationsdauer der meisten Maßnahmen schwankt zwischen 2 und 5 Jahren (dena 2016).

Für die Förderwirkung wird davon ausgegangen, dass je Euro Förderung eine jährliche Einsparung von 0,032 PJ erreicht wird.

Laut dena (2016) hätten mehr als 25 % der Unternehmen nach eigenen Angaben die Investitionen auch ohne Zuschuss durchgeführt. Entsprechend wird die Programmwirkung um diesen Anteil Mitnahmeeffekte gemindert. Ein Vergleich mit einer Kontrollgruppe nicht geförderter Unternehmen deutet auf einen noch höheren Anteil Mitnahmeeffekte hin, der je nach Maßnahmentyp und Unternehmensart (klein/mittel) bis zu 50 % betragen kann (dena 2016).

Die geförderten Maßnahmen zielen vorwiegend auf eine Minderung des Stromverbrauchs ab. Diese werden ergänzt durch Maßnahmen im Bereich der Wärmerückgewinnung, die den Bedarf anderer Brennstoffe vermindern. Es wird angenommen, dass sich 90 % der geförderten Investitionen auf den Stromverbrauch beziehen. Es wird ferner davon ausgegangen, dass 75 % der geförderten Maßnahmen das verarbeitende Gewerbe betreffen und 25 % den Sektor GHD. Diese Anteile werden durch die Evaluation der dena bestätigt - wenn die LED-Maßnahmen herausgerechnet werden.

Energieauditpflicht für Nicht-KMU (Umsetzung Art. 8 EED)

Die Berechnung der Wirkung einer Energieauditpflicht für Nicht-KMU setzt zunächst voraus, dass die unter diese Regelung fallenden Unternehmen identifiziert werden können und ihr Energieverbrauch geschätzt werden kann. Dies stellt eine große Herausforderung dar, da die Energiebilanz zum einen keinerlei Informationen zu den Größenklassen der Unternehmen aufweist und zum anderen vielfältige Überschneidungen mit anderen Programmen berücksichtigt werden müssen. So sind Unternehmen, welche bereits ein Energiemanagementsystem umgesetzt haben, von dieser Regelung ausgenommen (dies kann im Rahmen des Spitzenausgleichs oder der Besonderen Ausgleichsregelung geschehen sein).

Die Projektion der Maßnahmenwirkung beruht auf den zur Ausarbeitung des *NAPE* (Fraunhofer ISI et al. 2014), des *Aktionsprogramms Klimaschutz 2020* (Öko-Institut & ISI 2018) sowie der Evaluation (IREES & adelphi 2017) getroffenen Annahmen. Demnach sind in Deutschland etwa 50.000 Unternehmen betroffen, was bei einem Vierjahreszyklus für die Audits bedeutet, dass jedes Jahr 12.500 Audits durchgeführt werden müssen. Wenngleich die Audits nicht gleichmäßig über die vier Jahre verteilt durchgeführt werden, so wird dies in dem genutzten vereinfachten Modell dennoch unterstellt. In Fraunhofer ISI et al. (2014) wird davon ausgegangen, dass ein Audit etwa 1,5 % des Energieverbrauchs eines Unternehmens einspart, wenn alle Maßnahmen umgesetzt würden. In (IREES & adelphi 2017) wird eine mittlere Einsparung durch Audits von etwa 4 % des Energieverbrauchs aller Unternehmen angegeben (inkl. Dienstleistungssektor). Zum Vergleich, für die Energieberatung Mittelstand wurde eine Einsparung von 5 % je Audit berechnet (Fleiter et al. 2012b). Diese gilt für KMU und bei Berücksichtigung von Maßnahmen, die für die spätere Umsetzung zurückgestellt wurden. Ohne diese Maßnahmen läge die Einsparung bei lediglich 3 %. Geht man davon aus, dass einzelne Audits in Großunternehmen typischerweise nur einen Teil des Energieverbrauchs adressieren, scheinen 1,5 % Einsparungen durchaus realistisch.

Diese Brutto-Wirkung wird um Mitnahmeeffekte sowie Überschneidungseffekte mit anderen Programmen korrigiert. Laut Evaluation (IREES & adelphi 2017) hätten 6 % der Unternehmen auch ohne Pflicht einen Audit durchgeführt und 17 % mit Einschränkungen. Es wird entsprechend im Mittel davon ausgegangen, dass 10 % der Audits auch ohne Pflicht durchgeführt worden wären. Weiterhin wird die Brutto-Wirkung um 30 % reduziert, um Überschneidungen mit anderen Programmen zu korrigieren, wie z.B. den Anreizen zur Einführung eines EMS im Rahmen von Spitzenausgleich und BesAr.

Laut Fraunhofer ISI et al. (2014) entfallen etwa 1.500 PJ Endenergieverbrauch auf Unternehmen, welche verpflichtet sind, ein regelmäßiges Audit durchzuführen. Hiervon entfallen 30 % auf den Sektor GHD und 70 % auf die Industrie.

Energieeffizienznetzwerke

Ausgehend vom Niveau im November 2018 von etwa 200 Netzwerken³⁴ zeigt sich seit 2016 ein jährlicher Zuwachs von etwa 50 Netzwerken. Entsprechend wird davon ausgegangen, dass dieser Zuwachs anhält und im Jahr 2024 etwa 500 Netzwerke aktiv sind. In den Folgejahren bleibt die Anzahl Netzwerke konstant.

Aus bisherigen Erfahrungen geht hervor, dass die vorgeschlagenen und durchgeführten Effizienzmaßnahmen vorwiegend im Bereich der Querschnittstechniken angesiedelt sind (Jochem et al. 2010). Laut aktuellen Evaluationsergebnissen (Jochem & Idrissova 2014) haben Netzwerke jährliche mittlere Endenergieeinsparungen von etwa 6,5 GWh/Netzwerk aufgewiesen (bei durchschnittlich 12 Unternehmen je Netzwerk). Für die Wirkungsschätzung wird davon ausgegangen, dass in Zukunft auch kleinere und weniger energieintensive Unternehmen an Netzwerken teilnehmen. Weiterhin liegt die mittlere Anzahl der Unternehmen je Netzwerk derzeit bei etwa 10. Beides führt zu einer niedrigeren Einsparung je Netzwerk von etwa 3 GWh/a. Diese Annahmen entsprechen einem jährlichen Energieeffizienzfortschritt von etwa 2 % und werden durch eine aktuelle Veröffentlichung bestätigt, wonach viele Netzwerke einen Effizienzfortschritt von 1-2 % erreichen, aber einige auch bei 2-4 % liegen (Durand et al. 2018).

Es wird weiterhin angenommen, dass die mittlere Lebensdauer der umgesetzten Einsparmaßnahmen zehn Jahre beträgt – allerdings sind bei diesem relativ neuen Instrument noch keine Langzeitbeobachtungen verfügbar.

Richtlinie für die Förderung der Abwärmevermeidung und -nutzung

Es wird angenommen, dass Unternehmen die Förderhöchstbeträge beantragen, was in einer mittleren Förderquote von 35 % der förderfähigen Investitionskosten resultiert. Das jährliche Fördervolumen liegt 2020 bei etwa 175 Millionen Euro und fällt dann um jährlich 10 %, um Sättigungseffekte abzubilden. Überschneidungen mit anderen Programmen werden mit 15 % korrigiert. Die Fördereffizienz wird mit 0,053 GJ/(Euro a) angenommen.

Für die Maßnahmenbewertung werden ähnliche Kennwerte unterstellt, wie sie für das (beendete) Förderprogramm zu energieeffizienten und klimaschonenden Produktionsprozessen ermittelt wurden (Prognos 2016a). Entsprechend wird von einer mittleren Amortisationsdauer von sechs Jahren (ohne Förderung) und einer mittleren Lebensdauer von zwölf Jahren ausgegangen. Auch hier werden die Mitnahmeeffekte mit 15 % berücksichtigt.

KfW-Energieeffizienzprogramm

Die genutzten Kennwerte beruhen auf einer entsprechenden Evaluation (Prognos 2014). Es wird nur der Bereich der nicht-gebäudebezogenen Investitionen berücksichtigt. Dies sind z.B. Investitionen in Maschinenpark und Querschnittstechniken. Ausgehend von einer Darlehenssumme von etwa 1 Mrd. Euro in 2012 (für diesen Bereich) wird von einem Anstieg auf 2,5 Mrd. Euro bis 2019 und danach von einem konstanten Verlauf ausgegangen. Für die Fördereffizienz wird eine jährliche Energieeinsparung von 0,0022 PJ/Euro unterstellt. Ein Großteil der Investitionen adressiert den Brennstoffbedarf (~80 %) und es wird eine Lebensdauer von 13 Jahren unterstellt.

³⁴ <http://www.energieeffizienznetzwerke.org/initiative/unsere-netzwerke/> (Zugriff: 14.11.2018)

Es wird von erheblichen Überschneidungen mit anderen Programmen wie der Energieberatung Mittelstand ausgegangen (~30 %). Des Weiteren werden die Einsparungen um weitere 30 % reduziert, um mögliche Mitnahmeeffekte zu berücksichtigen. Hierzu sind allerdings keine empirischen Informationen verfügbar.

3.1.4.3. Ergebnisse der Projektion

Die im Sektor Industrie und GHD quantifizierten Maßnahmen sind in Tabelle 40 aufgelistet und beschrieben. Bis auf die Maßnahme „Förderung von Kälte- und Klimaanlage im Gewerbe“ adressieren alle Maßnahmen (u.a.) den Sektor Industrie.

Tabelle 40: Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)
Emissionshandel	E	Handel mit Emissionszertifikaten (Cap and trade). Betrifft vorwiegend energieintensive Industrie.	Wirkung berechnet ab 2010
Ökologische Steuerreform	E	Steuer auf Strom und weitere Energieträger (viele Industrieprozesse sind ausgenommen bzw. erhalten Vergünstigungen)	Wirkung berechnet ab 2010
Spitzenausgleich	V	Vergünstigungen bei der Strom- und Energiesteuer sind geknüpft an Energiemanagementsysteme und Selbstverpflichtung der Industrie zum Effizienzfortschritt.	Wirkung berechnet ab 2010
Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	F	Vergünstigungen bei der EEG-Umlage durch die Einführung von Energiemanagementsystemen	In Kraft seit 2008
Energieberatung Mittelstand	F	Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Zielgruppe: KMU	In Kraft seit 2008
Mindeststandards	R	Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte auf Basis der Durchführungsmaßnahme bzw. niedrigste Lebenszykluskosten	Umsetzung schrittweise 2010-2014
Förderung Querschnittstechniken	F	Finanzielle Förderung von Investitionen in Querschnittstechniken (Pumpen, Motoren, Abwärme, etc.)	In Kraft seit 2014
Förderung von Kälte und Klimaanlage im Gewerbe	F	Förderprogramm zur Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen und Beratung im Bereich gewerbliche Kälte	Wirkung berechnet ab 2014
500 Effizienznetzwerke	F	Förderung und Aufbau von insgesamt 500 Effizienznetzwerken	ab 2014
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Strom)	E	Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen durch offene Ausschreibungen	Wirkung berechnet ab 2017
Energieaudit Nicht-KMU	R	Verpflichtende Energieaudits für Nicht-KMU (Umsetzung Artikel 8 Energieeffizienzrichtlinie)	In Kraft seit 2015

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	F	Finanzielle Förderung von Investitionen in Abwärmevermeidung und -Nutzung	Wirkung berechnet ab 2016
KfW-Energieeffizienzprogramm	F	Zinsgünstige Darlehen für die Investition in Energieeffizienzmaßnahmen	Wirkung berechnet ab 2012
NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen	F	Zuschüsse für investive Maßnahmen in Kommunen im Rahmen der Kommunalrichtlinie der Nationalen Klimainitiative	Wirkung berechnet ab 2012

Die Wirkung der einzelnen Maßnahmen ist in den folgenden Tabellen getrennt nach Strom- und Brennstoffeinsparungen sowie die aus dem reduzierten Brennstoffverbrauch resultierende Vermeidung von direkten CO₂-Emissionen ausgewiesen. Die ausgewiesene Maßnahmenwirkung ist bereits um mögliche Mitnahmeeffekte und Überschneidungen zwischen Instrumenten reduziert und zeigt die Nettowirkung (siehe Tabelle 36).

Die Stromeinsparungen im MMS (Tabelle 41) teilen sich auf insgesamt 13 einzelne Maßnahmen auf. Durch den Emissionshandel verursachte Stromeinsparungen können nicht ausgewiesen werden, da in der Modellierung indirekte Effekte über einen erhöhten Strompreis und durchgegriffene EUA-Preise nicht berücksichtigt wurden. Besonders hohe Einsparungen verzeichnen die Einführung von Energiemanagementsystemen im Rahmen des Spitzenausgleichs und der Besonderen Ausgleichsregelung des EEG (BesAR). Bei Spitzenausgleich wie auch BesAR wurde für die Berechnung davon ausgegangen, dass die eingeführten Energiemanagementsysteme konsequent umgesetzt werden. Empirische Untersuchungen zur Wirkung beider Instrumente sind derzeit noch nicht verfügbar. Entsprechend ist die geschätzte Wirkung mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die Höhe der Wirkung deutet dennoch auf ein großes Potenzial hin, welches die Instrumente bei konsequenter Umsetzung entfalten können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Einsparungen durch den Spitzenausgleich nur möglich sind, da vorher Energiesteuern eingeführt wurden. Auch die EEG-Umlage führt bei den nicht-privilegierten Unternehmen zu deutlichen Stromeinsparungen bis 2035, indem Effizienzmaßnahmen aufgrund des höheren Strompreises wirtschaftlicher werden. Bei vielen Maßnahmen zeigt sich über den Zeitverlauf ein ansteigender Trend, obwohl die Intensität der Maßnahmen nach 2020 häufig nicht weiter zunimmt (z.B. Ökologische Steuerreform, Spitzenausgleich). Dies ist darauf zurückzuführen, dass von den Instrumenten in jedem Jahr zusätzliche Investitionen angestoßen werden, welche in ihrer jährlichen Wirkung kumulieren.

Auch Maßnahmen wie die Energieeffizienznetzwerke und die Energieaudits in KMUs zeigen bis 2035 eine deutliche Einsparwirkung.

Die Wirkung der Mindeststandards im Rahmen der EU-Ökodesign-Richtlinie ist deutlich geringer als in den Sektoren Haushalte oder GHD, was darauf zurückzuführen ist, dass bisher nur wenige Verordnungen für den Industriesektor in Kraft getreten sind und der Geräte- / Komponentenaustausch im Industriesektor eher geringe Einsparpotenziale aufweist. Eine stärkere Ausschöpfung der Einsparpotenziale in der Industrie könnte vor allem durch eine Systemoptimierung erreicht werden, die mit der Ökodesign-Richtlinie nicht adressiert wird.

Tabelle 41: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS - Stromeinsparungen

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Emissionshandel	Nicht modelliert*				
Ökologische Steuerreform	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6
Spitzenausgleich	2,7	4,7	6,0	7,0	8,0
EEG-Umlage	-	3,3	5,9	6,5	5,8
Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	1,3	2,8	3,7	4,5	5,2
Energieberatung Mittelstand	0,9	1,2	0,7	0,7	0,7
Mindeststandards I	3,2	4,5	4,9	4,3	3,8
Förderung Querschnittstechniken	0,1	0,4	0,7	0,8	0,8
500 Effizienznetzwerke	0,2	0,8	2,1	3,3	3,8
Wettbewerbliche Ausschreibung (Step Up)	-	0,1	0,3	0,4	0,4
Pilotprogramm Einsparzähler	-	0,0	0,1	0,1	0,1
Energieaudit Nicht-KMU	0,2	1,4	2,5	2,7	2,7
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	0,5	1,2	1,4	0,9
KfW-Effizienzprogramm	0,2	0,8	1,4	1,8	1,8
Summe	8,9	21,0	30,3	34,6	35,6

* Für den Emissionshandel wurde die Wirkung, die der EUA-Preis über einen höheren Strompreis auf die Stromnachfrage hat, nicht berücksichtigt. Entsprechend können mögliche Stromeinsparungen durch den EU-Emissionshandel nicht bewertet werden.

Bei den Brennstoffeinsparungen zeigt sich ein heterogenes Bild (siehe Tabelle 42). Hier entfällt ein Großteil der Wirkung auf die Maßnahmen Emissionshandel, Spitzenausgleich, Effizienznetzwerke, Energieaudit Nicht-KMU, die Richtlinie zur Abwärmevermeidung und -nutzung und das KfW-Effizienzprogramm. Bei den anderen Maßnahmen steht der Strombedarf im Mittelpunkt. Beim Emissionshandel ist die im Verhältnis zu den Brennstoffeinsparungen sehr hohe CO₂-Vermeidung auffällig. Diese ist zum Großteil nicht auf Energieeffizienz, sondern auf Brennstoffwechsel hin zu weniger CO₂-intensiven Energieträgern zurückzuführen.

Tabelle 42: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ e/a				
Emissionshandel	0,8	1,8	7,1	13,7	19,6	-	0,6	1,7	3,0	4,6
Ökologische Steuerreform	-	1,5	2,0	2,7	3,1	-	0,2	0,2	0,2	0,2
Spitzenausgleich	6,2	11,4	14,6	17,3	19,9	0,7	1,4	1,5	1,4	1,3
EEG-Umlage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieberatung Mittelstand	10,3	13,4	8,1	7,6	7,6	1,2	1,6	0,8	0,6	0,5

Mindeststandards I	0,1	0,8	1,1	1,1	0,6	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Förderung Querschnittstechniken	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Förderung von Kälte und Klimaanlagen im Gewerbe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 Effizienznetzwerke	1,7	8,5	23,0	36,1	41,3	0,2	1,0	2,3	3,0	2,6
Wettbewerbliche Ausschreibung (Step Up)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pilotprogramm Einsparzähler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieaudit Nicht-KMU	1,7	10,0	18,3	19,9	19,9	0,2	1,2	1,8	1,6	1,3
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	16,4	38,4	43,9	28,1	-	2,0	3,8	3,6	1,8
KfW-Effizienzprogramm	2,8	9,8	17,8	22,0	22,6	0,3	1,2	1,8	1,8	1,4
NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	23,7	73,7	130,7	164,7	163,1	2,7	9,2	14,1	15,4	13,8

Tabelle 43 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke, aber einschließlich bauwirtschaftlichem Verkehrs³⁵) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 57 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Reduktion von etwa 51 % gegenüber 1990 im MMS. Es ist zu beachten, dass ein Großteil des Rückgangs seit 1990 bereits in den 90er Jahren stattgefunden hat. Demnach war bereits im Jahr 2005 eine Minderung von 37 % ggü. 1990 zu verzeichnen. Im Zeitraum 2005 bis 2016 sind die Emissionen relativ konstant geblieben. Gegenüber dem Jahr 2005 sinken die Emissionen im MMS bis 2035 um 22 %. Somit spiegelt das MMS eine deutlich ambitionierte Entwicklung wider, als in den vergangenen 10 Jahren zu beobachten war. Haupttreiber für die Entwicklung der Industrieemissionen sind die industrielle Produktion und der Wechsel auf recyclingbasierte Produktionsrouten sowie der Wechsel auf andere Energieträger und der Einsatz energieeffizienter Technologien. Die Produktionsentwicklung ist für die meisten Grundstoffe bis 2035 relativ konstant. Ein Wechsel z.B. des Anteils Elektrostahl von 42 % in 2015 auf 46 % in 2035 führt zur Reduktion der Emissionen in der Stahlindustrie. Über alle Branchen hinweg findet ein ambitionierter Fortschritt der Energieeffizienz statt, der die Emissionen aller Industriebranchen senkt. Brennstoffwechsel findet hauptsächlich von Öl oder Kohle zu weniger CO₂-intensivem Erdgas statt und wirkt sich auch leicht dämpfend auf die CO₂-Emissionen aus. Der Brennstoffwechsel hin zu Gas ist getrieben durch Trends der vergangenen Jahre und eine hohe Attraktivität dieses Energieträgers für Industrieunternehmen. Die angenommenen CO₂-Preise reichen noch nicht aus, um einen Brennstoffwechsel zu Biomasse wirtschaftlich attraktiv zu machen.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass für diesen Bereich lediglich die CO₂-bedingten Emissionen relevant sind. Für eine Übersicht relevanter Emissionsmengen anderer Treibhausgase in der Industrie wird an die separaten Kapitel zu Industrieprozessen und Produktverwendung verwiesen (Kapitel 3.1.9 und 3.1.10). Die energiebedingten Emissionen aus Industrie-KWK-Anlagen sind in Kapitel 3.1.6 enthalten.

³⁵ Entsprechend CRF-Kategorien der 2006 IPCC Guidelines ist der bauwirtschaftliche Verkehr dem Sektor 1.A.2 Industrie (englisch *manufacturing industries and construction*) zugeordnet.

Tabelle 43: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke) zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	116,6	73,6	77,6	73,0				
MMS					69,7	65,1	60,4	57,0
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,2	0,1	0,1	0,1				
MMS					0,1	0,1	0,1	0,1
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,8	0,4	0,4	0,4				
MMS					0,4	0,4	0,4	0,3
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	117,6	74,1	78,2	73,5				
MMS					70,2	65,6	60,9	57,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-37,0	-33,5	-37,5				
MMS					-40,3	-44,2	-48,2	-51,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			5,5	-0,7				
MMS					-5,2	-11,4	-17,8	-22,5

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: Nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne Brennstoffeinsatz in den Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes; mit bauwirtschaftlichem Verkehr

3.1.5. Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD): Strom und Prozesse

3.1.5.1. Methodik

Für die Modellierung der nicht-gebäudebezogenen Wärme- und Stromnachfrage wird das Modul FORECAST-Tertiary eingesetzt (siehe z.B. Fleiter et al. 2010). Das Modul ist vom Aufbau vergleichbar mit dem Industriemodul, allerdings an Datenverfügbarkeit und Technologiestruktur im Sektor GHD angepasst. D.h. im Modell wird über ein Mengengerüst der Energieverbrauch einzelner Branchen und Energiedienstleistungen in Abhängigkeit von Rahmenbedingungen (u.a. Wirtschaftsentwicklung, Effizienzpolitik, Energiepreise) berechnet.

Zentrale Aktivitätsgrößen sind die Anzahl der Beschäftigten und die Nutzfläche je Branche des Sektors GHD. Der Energieverbrauch der einzelnen Branchen setzt sich wiederum als Summe einzelner Energiedienstleistungen zusammen. Die Verbreitung von Effizienzmaßnahmen senkt den spezifischen Energieverbrauch einzelner Energiedienstleistungen und spiegelt so eine unterschiedliche Überwindung von Hemmnissen durch politische Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz wider bzw. variierende Energiepreise. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Unternehmen. Im Folgen-

den wird auf die einzelnen Ebenen Aktivitätsgrößen, Energiedienstleistungen und Technologiestruktur sowie die Modelllogik detaillierter eingegangen.

Die Aktivitätsgrößen Anzahl der Beschäftigten und Nutzfläche je Branche bilden die zentralen Größen im Mengengerüst für die Hochrechnung des Energieverbrauchs. Beide Größen sind direkter an den Energieverbrauch gekoppelt als die Wertschöpfung des Sektors. Dabei sind die Beschäftigten eher für Energiedienstleistungen wie EDV-Ausstattung relevant, während die Nutzfläche für die gebäudebezogenen Energiedienstleistungen die zentrale Größe ist. Die sektorale Einteilung der Aktivitätsgrößen orientiert sich dabei an der Klassifizierung der Wirtschaftszweige 2003 (WZ 2003) und unterscheidet acht Branchen. Entsprechend erlaubt sie über das hinterlegte Mengengerüst eine „Bottom-up“-Berechnung des Energieverbrauchs für jede der Branchen, was deutlich über die Detaillierung der Energiebilanzen nach AGEB hinausgeht, welche den Energieverbrauch nur für den Sektor GHD als Ganzes ausweisen.

Der Energiebedarf je Branche wird als Summe des Energiebedarfs von bis zu 13 einzelnen Energiedienstleistungen (EDL) berechnet, die zusammen für den Großteil des Stromverbrauchs im Sektor GHD verantwortlich sind. Beispiele für EDL sind Beleuchtung, Kühlung oder IKT-Anwendungen. Bei den meisten EDL ergibt sich die absolute Nachfrage aus der globalen Aktivitätsgröße (entweder Fläche oder Beschäftigte) und der EDL-bezogenen Aktivitätsgröße (z.B. Anteil beleuchtete Fläche). Einige EDL sind nicht an die globalen Aktivitätsgrößen geknüpft, wie z.B. die Straßenbeleuchtung. Der Energiebedarf je EDL ist – soweit möglich – mit verfügbaren Erhebungen (vor allem Schломann et al. 2014) und Statistiken (z.B. Anwendungsbilanz) abgeglichen.

3.1.5.2. Annahmen und Parameter

Für die meisten Maßnahmen, welche den Sektor GHD adressieren, sind die Annahmen der Quantifizierung im Abschnitt 3.1.4 dargestellt, da diese auch den Industriesektor betreffen. Alleine die Programme zur Förderung der Energieeffizienz in Kälte- und Klimaanlage sowie die Kommunalrichtlinie der NKI adressiert ausschließlich Unternehmen im GHD-Sektor und ist im Folgenden beschrieben. Annahmen zu Mitnahmeeffekten und Überschneidungen mit anderen Programmen sind für alle GHD-Maßnahmen mit den Industrie-Maßnahmen zusammen in Tabelle 36 dargestellt.

EU Ökodesign-Richtlinie

Für die Modellierung der EU-Ökodesign-Richtlinie werden im GHD-Sektor eine Reihe einzelner Lose modelliert. Diese sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Förderung von Kälte- und Klimaanlage im Gewerbe im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative

Laut Programmausgestaltung werden Investitionen mit 15-25 % gefördert. Es wird von einer mittleren Förderquote von 20 % ausgegangen. Für die Bewertung der Maßnahmenwirkung wird mit ähnlichen Kennwerten gerechnet wie für die Evaluation der NKI. Entsprechend wird von einer Fördereffizienz bezogen auf die jährliche Endenergieeinsparung von 0,004 PJ/Euro Förderung ausgegangen. Diese beinhaltet bereits Mitnahmeeffekte, welche entsprechend nicht mehr separat abgezogen werden. Laut Evaluation dominiert die Wirkung auf den Stromverbrauch, was auch hier unterstellt wurde. Überschneidungen mit anderen Instrumenten werden mit 15 % angesetzt. So können entsprechend geförderte Maßnahmen im Rahmen einer geförderten Energieberatung empfohlen sein. Für die jährliche Fördersumme wird ab 2020 von 20 Millionen Euro ausgegangen.

NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen

Die Bewertung der Kommunalrichtlinie orientiert sich an der NKI-Evaluation (Öko-Institut et al. 2017b). Demnach wird von einer Fördereffizienz bezogen auf die jährlichen Endenergieeinsparungen von 0,018 GJ/Euro ausgegangen. Dieser Wert berücksichtigt bereits Mitnahmeeffekte. Es wird nicht von relevanten Überschneidungen mit anderen Programmen ausgegangen.

3.1.5.3. Ergebnisse der Projektion

Im Folgenden ist die Wirkung der einzelnen Maßnahmen für den GHD-Sektor (Prozesse) zusammengefasst. Bei den Stromeinsparungen wird deutlich, dass die Mindeststandards der EU Ökodesign-Richtlinie die mit Abstand höchste Wirkung haben. Bei den Brennstoffeinsparungen ist ein Großteil der Wirkung auf Energieberatungen sowie Energieeffizienznetzwerke zurückzuführen.

Tabelle 44: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS - Stromeinsparungen

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh/a				
Ökologische Steuerreform	2,1	3,7	3,5	3,5	3,6
EEG-Umlage	3,6	8,1	6,8	4,4	1,7
Energieberatung Mittelstand	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Mindeststandards I	7,9	10,9	11,9	11,8	11,7
Förderung Querschnittstechniken	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3
Förderung von Kälte und Klimaanlage im Gewerbe	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
500 Effizienznetzwerke	0,0	0,1	0,2	0,4	0,4
Wettbewerbliche Ausschreibung (Step Up)	-	0,1	0,4	0,6	0,6
Pilotprogramm Einsparzähler	-	0,1	0,2	0,3	0,3
Energieaudit Nicht-KMU	0,1	0,6	1,1	1,2	1,2
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	0,1	0,1	0,2	0,1
KfW Effizienzprogramm	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3
NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen	0,7	1,8	2,6	2,6	2,6
Summe	14,7	26,0	27,8	25,8	23,1

Tabelle 45: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO _{2e} /a				
Ökologische Steuerreform	-	0,1	0,2	0,2	0,3	-	0,0	0,0	0,0	0,0
EEG-Umlage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieberatung Mittelstand	1,8	2,4	1,4	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mindeststandards I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Förderung Querschnittstechniken	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Förderung Prozesstechniken	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Förderung von Kälte und Klimaanlage im Gewerbe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 Effizienznetzwerke	0,2	0,9	2,6	4,0	4,6	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
Wettbewerbliche Ausschreibung (Step Up)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pilotprogramm Einsparzähler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieaudit Nicht-KMU	0,7	4,3	7,8	8,5	8,5	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	1,8	4,3	4,9	3,1	-	0,1	0,2	0,2	0,1
KfW-Effizienzprogramm	0,5	1,7	3,1	3,9	4,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
NKI: Kommunalrichtlinie investive Maßnahmen	0,3	0,7	1,0	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	3,5	12,0	20,6	24,1	23,0	0,2	0,6	0,9	1,0	1,0

Anmerkung: Die Wirkung der Energieberatung Mittelstand enthält entgegen der Abgrenzung dieses Kapitels auch gebäudebezogene Maßnahmen.

Die Entwicklung der THG-Emissionen des GHD-Sektors wird in Kapitel 3.1.2.3.3 dargestellt.

3.1.6. Kraftwerke

3.1.6.1. Methodik

Die Modellierung der zu erwartenden Entwicklung des Kraftwerksparks wird mit Hilfe des Strommarktmodells PowerFlex des Öko-Instituts vorgenommen. Dabei wird zum einen der Kraftwerkseinsatz berechnet, zum anderen kommt ein integriertes Stilllegungskalkül zum Einsatz, das die Wirtschaftlichkeit der Kraftwerke überprüft. Ausgangsjahr der Modellierung ist das Jahr 2016.

3.1.6.1.1. PowerFlex

Das am Öko-Institut entwickelte Strommarktmodell PowerFlex³⁶ ist ein Fundamentalmmodell, welches thermische Kraftwerke, die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, Pumpspeicherkraftwerke und flexible Stromverbraucher kostenminimal einsetzt, um die Strom- und Fernwärmenachfrage zu decken.

Der Fokus des Modells liegt auf Deutschland, es werden jedoch mit Ausnahme von Island und Zypern alle 35 EntsoE-Mitgliedsländer berücksichtigt. Der Detaillierungsgrad ist für Deutschland hoch, die anderen Länder werden aggregiert abgebildet. Jedes Land stellt dabei einen Knoten dar, der über Kuppelleitungen mit seinen Nachbarländern verbunden ist. Innerhalb eines Knotens wird ein einheitliches Marktgebiet ohne Netzengpässe unterstellt. Die Austauschkapazitäten zwischen den Ländern (Net Transfer Capacities, NTC) in beide Richtungen werden vorgegeben.

Die einzelnen Kraftwerke werden im Modell detailliert mit Hilfe technischer und ökonomischer Parameter abgebildet. Thermische Kraftwerke mit einer installierten elektrischen Leistung größer 100 MW werden blockscharf und mit einem individuellen Wirkungsgrad erfasst. Kleinere thermische Stromerzeugungsanlagen werden in technologie- und baujahrspezifischen Gruppen zusammengefasst und mit Hilfe von typspezifischen Parametern charakterisiert.

³⁶ Eine detaillierte Modellbeschreibung ist z.B. in UBA (2017) enthalten.

Biomassekraftwerke, die Biogas, Holz oder Pflanzenöl einsetzen, werden über Technologieagregate als Teil des thermischen Kraftwerksparks im Modell abgebildet. Das Stromangebot aus fluktuierenden Erzeugern (Laufwasser, Wind, Photovoltaik) wird in stündlicher Auflösung vorgegeben. Die tatsächlich eingespeiste Menge wird modellendogen bestimmt, sodass das zur Verfügung stehende fluktuierende Stromangebot auch als Überschuss identifiziert werden kann.

Das Erzeugungsprofil für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung setzt sich aus einem typischen Fernwärmeprofil und einer angenommenen Gleichverteilung für industrielle KWK-Anlagen zusammen.³⁷

Die jährliche Stromnachfrage wird exogen vorgegeben und ergibt sich aus den Stromnachfragen der anderen Sektoren. Die Stromnachfrage teilt sich im Modell in einen unflexiblen Anteil mit vorgegebenem stündlichen Lastprofil sowie einen flexiblen Anteil, der aus der Stromnachfrage von Verbrauchern wie der (zusätzlich zum Schienenverkehr wachsenden) Elektromobilität, aus Pumpspeicherkraftwerken oder Wärmepumpen resultiert. Für diese Verbraucher existieren im Modell zusätzliche Nebenbedingungen, die beispielsweise die Anforderungen aus den Fahrprofilen oder die Kapazität der Speicher abbilden. Unter Berücksichtigung dieser Nebenbedingungen wird die zeitliche Struktur dieser Nachfrage modellendogen im Zuge der Optimierung berechnet. Darüber hinaus wird modellendogen Stromexport und -import als Austausch mit den Nachbarstaaten bestimmt.

Auf Basis einer vollständigen Voraussicht wird dann im Rahmen einer linearen Optimierung der kostenminimale Einsatz von thermischen Kraftwerken, Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, Pumpspeicherkraftwerken und Import/Export unter Berücksichtigung technischer und energiewirtschaftlicher Nebenbedingungen bestimmt.

3.1.6.1.2. Stilllegungen in PowerFlex

Das in PowerFlex integrierte Stilllegungskalkül³⁸ überprüft, ob die Deckungsbeiträge ausreichen, und die fixen Betriebskosten eines Kraftwerks zu decken. Ist dies nicht der Fall, geht das Kraftwerk in Kaltreserve und wird langfristig stillgelegt. Da sich durch Kraftwerksstilllegungen in großem Umfang der Strompreis ändern würde, was wiederum die Erlöse der verbleibenden Kraftwerke und damit das Ergebnis des Stilllegungskalküls beeinflussen würde, wird bei der Kraftwerksstilllegung iterativ vorgegangen. Die Kraftwerke mit den größten Verlusten werden zuerst stillgelegt, in jeder Iteration kommen wenige weitere Kraftwerke hinzu, bis die verbleibenden Kraftwerke ihre fixen Betriebskosten aus den Deckungsbeiträgen finanzieren können.

3.1.6.1.3. KWK und Fernwärme

Strom und Fernwärme werden sowohl von öffentlichen Anlagen als auch teilweise von Kraftwerken erzeugt, welche dem Industriesektor zuzurechnen sind. Diese Anlagen können sich bei der Strom- und Wärmeerzeugung zumindest teilweise gegenseitig substituieren. Abbildung 19 zeigt für die Wärmeerzeugung die Überschneidungsbereiche der einzelnen Erzeugungsbereiche. Da es für die Modellierung nicht sinnvoll ist, diese voneinander zu trennen, wird der gesamte Bereich der Kraftwerke gemeinsam modelliert. Die Aufteilung der THG-Emissionen und sonstigen Folgen werden dann im weiteren Verlauf auf die einzelnen Inventarquellgruppen aufgeteilt.

³⁷ Zur modelltechnischen Implementierung der gekoppelten und ungekoppelten Fernwärmeerzeugung siehe auch Kapitel 3.1.7.1.

³⁸ Das in PowerFlex integrierte Stilllegungskalkül basiert auf dem Kraftwerksinvestitionsmodell ELIAS (Electricity Investment Analysis). Für eine genauere Darstellung des Stilllegungsmechanismus siehe die dazugehörige Dissertationsschrift ((Harthan 2015)).

Abbildung 19: Begriffsklärung KWK-Wärme und Fernwärme



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Die Gesamtheit der Kraftwerke beinhaltet demnach nicht nur die Anlagen der öffentlichen Versorgung, sondern auch die industrielle Kraftwerke (insbesondere KWK-Anlagen).

3.1.6.2. Annahmen und Parameter

Die technische Lebensdauer legt die zunächst vorgesehene Betriebsdauer der Kraftwerke fest. Im Fall von fossilen Kondensationskraftwerken (Erdgas, Steinkohle, Braunkohle), bei denen eine überwiegend strommarktorientierte Betriebsweise angenommen wird, wird das ökonomische Stilllegungskalkül angewendet (s.o.), das bei unwirtschaftlichem Betrieb eine zeitweise Stilllegung (Kaltreserve) vorsieht (vor dem Ende der technischen Lebensdauer) bzw. Retrofit bei wirtschaftlichem Betrieb erlaubt, sodass Kraftwerke über die vorgegebene technische Lebensdauer hinaus betrieben werden können. KWK-Anlagen werden nach technischer Lebensdauer stillgelegt³⁹. Tabelle 46 zeigt die angesetzten technischen Lebensdauern.

Tabelle 46: Technische Lebensdauern der Bestandskraftwerke⁴⁰

Kraftwerkstyp	Lebensdauer der Kraftwerke in Jahren (MMS)
Steinkohle	65 (Option auf Verlängerung oder frühere Stilllegung)
Steinkohle (KWK)	65

³⁹ Da KWK-Anlagen neben einem teilweisen strommarktorientierten Betrieb insbesondere Wärme für Wärmesenken bereitstellen, wird davon ausgegangen, dass eine vorzeitige zeitweise Stilllegung (Kaltreserve) hier nicht relevant ist. Aus diesem Grund wird für KWK-Anlagen nicht das dynamische Kalkül angewendet, sondern sie werden nach technischer Lebensdauer stillgelegt. Zum Zeitpunkt der Modellierungsarbeiten (2018) wird noch eine Reihe von Kohle-KWK-Anlagen betrieben, die bereits vor über 60 Jahren errichtet wurden. Vor diesem Hintergrund wird im MMS eine vergleichsweise lange Lebensdauer für Braunkohle- und Steinkohle-KWK-Anlagen von 65 Jahren gewählt, damit es nicht im Stützjahr 2020 zu einer Stilllegung älterer Braunkohle- und Steinkohle-KWK-Anlagen kommt, wenn die Betreiber die Stilllegung nicht planen.

⁴⁰ Die technischen Lebensdauern bestehender Steinkohle- und Braunkohlekraftwerken werden vergleichsweise hoch angesetzt. Dies kann damit begründet werden, dass im Zuge der Einführung der Großfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) in den 1980er und 1990er Jahren viele Kraftwerke Nachrüstungsmaßnahmen unterzogen wurden und somit von einer grundsätzlichen Verlängerung der Lebensdauer ausgegangen wird. Bei den Kondensationskraftwerken erfolgt die tatsächliche Stilllegung jedoch aus ökonomischen Erwägungen (s.o.), sodass die Kraftwerke vor Erreichen der Lebensdauer in Kaltreserve gehen können oder bei wirtschaftlichem Betrieb Retrofit durchführen können und somit über die technische Lebensdauer hinaus weiterbetrieben werden können.

Kraftwerkstyp	Lebensdauer der Kraftwerke in Jahren (MMS)
Braunkohle	65 (Option auf Verlängerung oder frühere Stilllegung)
Braunkohle (KWK)	65
Erdgas	65 (Option auf Verlängerung oder frühere Stilllegung)
Erdgas (KWK)	30 (Gasturbinen, BHKWs), 40 (Dampfkraftwerke, GuD-Anlagen)
Kernenergie	nach AtG 2011
Öl, Müll	für gesamten Modellierungszeitraum
Erneuerbare	25 (feste Biomasse, Solar, Geothermie), 20 (Biogas, Pflanzenöl, Deponiegas, Klärgas, Wind), 100 (Wasser)

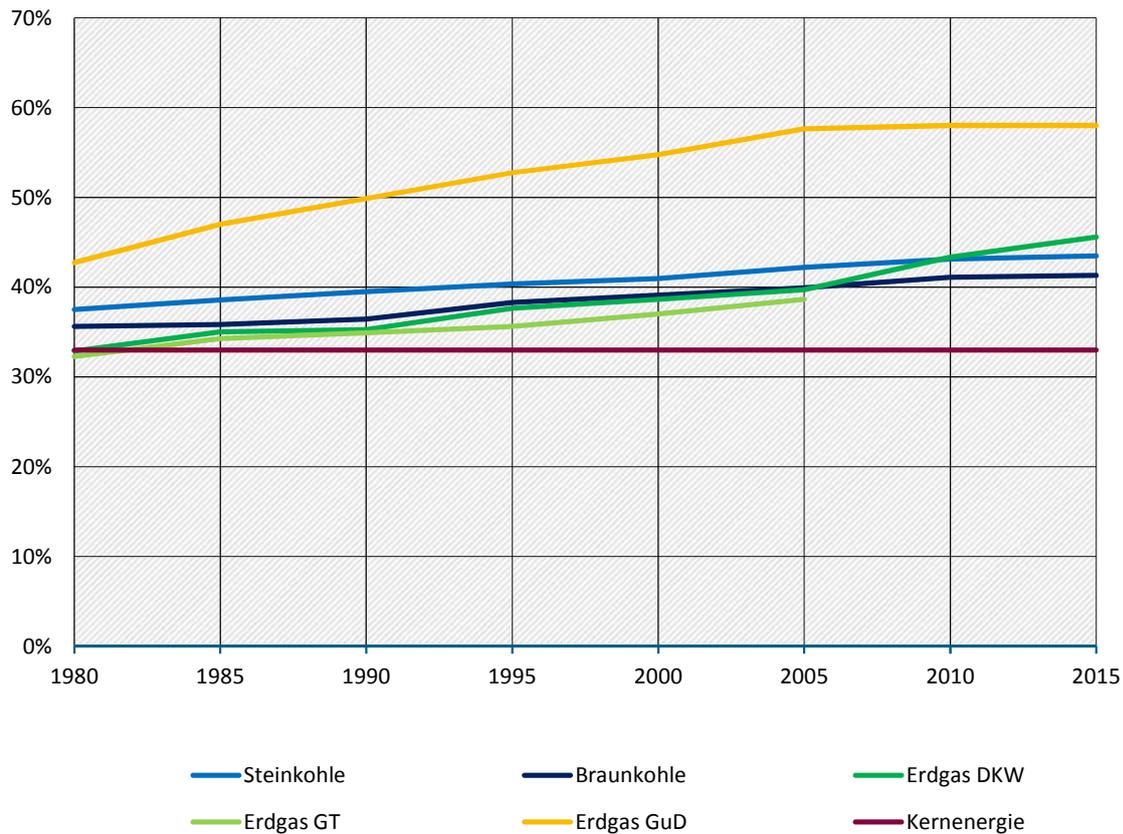
Quelle: Annahmen Öko-Institut

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Kraftwerksparks ist der Kraftwerkspark im Basisjahr 2016. Als Datengrundlage hierfür dienten hauptsächlich Kraftwerkslisten der Bundesnetzagentur (BNetzA 2018).⁴¹ Stilllegungsanzeigen der Bundesnetzagentur wurden berücksichtigt. In Einzelfällen wurden Kraftwerken längere oder kürzere Lebensdauern zugeordnet, wenn entsprechende Informationen vorlagen.

Die Wirkungsgrade der Bestandskraftwerke sind in Abbildung 20 dargestellt. Dabei bilden die verwendeten Wirkungsgrade einen durchschnittlichen Anlagenbetrieb über ein Jahr ab und berücksichtigen somit zusätzlichen Brennstoffverbrauch im Teillastbetrieb und für An- und Abfahrten. In der Literatur wird oft ein Wirkungsgrad unter optimalen Bedingungen angegeben (z.B. der Abnahmewirkungsgrad). In der Jahresperspektive entspricht der Wirkungsgrad somit dem Nutzungsgrad.

⁴¹ Die Annahmen wurden im Einzelfall durch zusätzliche Angaben aus Wikipedia und Pressemitteilungen im Internet ergänzt. Vom DIW wurden Angaben zu Kraftwerkstechnologien übernommen ((DIW 2014)). Für kleine KWK-Anlagen wurden die installierten Leistungen durch eigene Auswertungen auf Basis der BHKW-Datenbank des Öko-Instituts.

Abbildung 20: Nutzungsgrade von Bestandskraftwerken (Kondensations-Kraftwerke und Kondensations-Scheiben der KWK-Anlagen) nach Inbetriebnahmejahr



Quelle: Annahmen und Berechnungen des Öko-Instituts

KWK-Anlagen werden mit dem KWK-Modul im PowerFlex-Modell abgebildet:

- ▶ Das KWK-Kraftwerk wird in eine KWK-Scheibe und eine Kondensations-Scheibe aufgeteilt. Der elektrische Wirkungsgrad der KWK-Scheibe (Wirkungsgrad bei Wärmeauskopplung) ist dabei niedriger als der elektrische Wirkungsgrad der Kondensations-Scheibe (Wirkungsgrad ohne Wärmeauskopplung), um den Stromverlust durch Wärmeauskopplung zu berücksichtigen.
- ▶ In der Modellierung werden die in Tabelle 47 aufgeführten Parameter für die KWK-Scheiben der Kraftwerke verwendet. Für die Bestandsanlagen wurden die elektrischen Wirkungsgrade der KWK-Scheiben aus der Statistik für das Basisjahr 2016 abgeleitet.

Tabelle 47: Parameter der KWK-Scheiben

	Elektrischer Wirkungsgrad der KWK-Scheibe	Gesamtnutzungsgrad der KWK-Scheibe
Steinkohle	21 %	80 %
Braunkohle	18 %	79 %
Erdgas - Dampfturbine	18 %	76 %
Erdgas - Gasturbine	27 %	76 %

	Elektrischer Wirkungsgrad der KWK-Scheibe	Gesamtnutzungsgrad der KWK-Scheibe
Erdgas - GuD	34 %	76 %
Erdgas - BHKW	33 %	85 %
Biogas	38 %	79 %
Feste Biomasse	18 %	77 %

Quelle: Eigene Annahmen, basierend auf Destatis 2016b und Destatis 2016a

Die in Tabelle 47 angegebenen Wirkungsgrade für KWK-Anlagen beziehen sich auf den elektrischen Wirkungsgrad der KWK-Scheibe bei voller Wärmeauskopplung. Da bei Entnahme-Kondensations-Kraftwerken unterschiedliche Betriebszustände (mit unterschiedlicher Wärmeauskopplung) möglich sind, unterscheidet sich der zum jeweiligen Zeitpunkt im Modell relevante elektrische Wirkungsgrad der Gesamtanlage (Kondensations- und KWK-Scheibe) von den hier angegebenen Werten.

Wie in Abschnitt 3.1.6.1.2 beschrieben, wird über die Stilllegung von Kondensations-Kraftwerken modellendogen entschieden. Der Neubau von Kraftwerken im Szenariohorizont wird der Modellierung dagegen vorgegeben. Dies sind zum einen Kraftwerke, die sich unabhängig von zusätzlichen Politiken und Maßnahmen bereits heute in einem fortgeschrittenen Planungs- oder Baustadium befinden.⁴² Zum anderen sind dies Kraftwerke, von denen davon ausgegangen werden kann, dass diese durch Politikmaßnahmen unterstützt in den kommenden Jahren errichtet (z.B. nach dem KWKG oder dem EEG) werden.

Für Erdgaskraftwerke wird der Kraftwerkszubau insbesondere durch das KWKG flankiert (Deutscher Bundestag 2017). Zuschlagsberechtigt sind neue, modernisierte oder nachgerüstete KWK-Anlagen, die bis zum 31. Dezember 2022 den Dauerbetrieb aufgenommen haben (Deutscher Bundestag 2017). Für das Segment zwischen 1 und 50 MW_{el} sind Auktionen vorgesehen. Für das MMS wird von der aktuellen Ausgestaltung des KWKGs ausgegangen.

Im MMS wird der folgende Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen berücksichtigt:

- ▶ Anlagen < 1 MW_{el} werden als Aggregate abgebildet. Im Jahr 2016 beträgt die installierte Leistung dieser BHKW ~2.200 MW_{el}. Vor dem Hintergrund des Zubaus in den letzten Jahren sowie zu erwartender Stilllegungen wird angenommen, dass die installierte Leistung der BHKW < 1 MW_{el} bis zum Jahr 2020 auf ca. 2.500 MW_{el} steigt. Für die Zeit nach 2020 wird unterstellt, dass kein Netto-Zubau mehr stattfindet. Unter Annahme von Ersatzinvestitionen der bis 2020 installierten BHKW (als Eigenverbrauch-Anlagen) bleibt die installierte Leistung der BHKW < 1 MW_{el} im Szenarienverlauf ab 2020 also konstant.
- ▶ Für das Segment der Anlagen zwischen 1 und 50 MW_{el} ist ab 2017 ein jährliches Versteigerungsvolumen von 200 MW vorgesehen. Es wird unterstellt, dass im Jahresdurchschnitt des Jahres 2020 eine neu errichtete Kraftwerkskapazität von 600 MW_{el} aus dieser Versteigerung verfügbar ist.⁴³ Nach dem KWKG (§ 8c) wird die Bundesregierung rechtzeitig einen Vorschlag für die Ausschreibungsvolumen ab 2022 vorlegen, sodass sich im MMS bis 2025 im Vergleich zu 2020 lediglich ein Zubau von 300 MW_{el} in diesem Segment ergibt (davon

⁴² Für das Steinkohle-Kraftwerk Datteln wird eine Fertigstellung bis zum Jahr 2021 unterstellt.

⁴³ Im Jahr 2017 wird ein Zubau von 100 MW berücksichtigt, im Jahr 2018 und 2019 ein Zubau von 200 MW. Für das Jahr 2020 wird unterstellt, dass im Jahresdurchschnitt nur eine Zubaumenge von 100 MW zur Verfügung steht, weil der Zubau erst im Lauf des Jahres erfolgt. In Summe beträgt der Zubau dann 600 MW vom Jahr 2017 bis zum Jahr 2020.

100 MW_{el} im Jahr 2020 und 200 MW_{el} im Jahr 2021). Da das weitere Ausschreibungsvolumen erst noch beschlossen werden muss, wird im MMS danach kein weiterer Zubau in dieser Größenklasse berücksichtigt.

In Bezug auf größere Erdgas-KWK-Anlagen werden an konkreten Standorten geplante Anlagen mit einem angenommenen Inbetriebnahmedatum berücksichtigt. Bis 2020 gehen knapp 900 MW_{el} zusätzlich gegenüber dem Basisjahr in Betrieb⁴⁴. Bis zum Szenariojahr 2025 kommen zusätzlich knapp 1.500 MW_{el} aus bekannten Einzelprojekten hinzu⁴⁵.

Tabelle 48 zeigt den beschriebenen Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen noch einmal im Überblick.

Tabelle 48: Kumulierter Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen im MMS ab 2017 (GW_{el})

MMS	2020	2025	2030	2035
Anlagen < 1 MW	0,3	0,3	0,3	0,3
Anlagen 1 MW bis 50 MW	0,6	0,9	0,9	0,9
Anlagen > 50 MW	0,9	2,3	2,3	2,3
davon bereits errichtet	0,2	0,2	0,2	0,2
davon Baubeginn / fortgeschrittene Planung	0,7	2,1	2,1	2,1
Summe	1,8	3,5	3,5	3,5

Quelle: Eigene Berechnung basierend auf BNetzA 2018

Der Umfang der Wärmeenergieerzeugung aus KWK-Anlagen beträgt im Basisjahr 2016 knapp 220 TWh und bleibt im MMS etwa auf diesem Niveau.

Im Rahmen der im *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020* vorgesehenen **Überführung von Braunkohle-Kraftwerken in eine Sicherheitsbereitschaft** wird von einer Bereitschaft der Kraftwerke (Konservierung; kein Betrieb mehr im Strommarkt) für vier Jahre mit anschließender Stilllegung von acht Braunkohle-Blöcken bis 2020 ausgegangen (insgesamt 2,7 GW).

Für Kraftwerke auf Basis von Sonderbrennstoffen (Hochofengas, Kokereigas, Raffineriegas) wird angenommen, dass die installierte Leistung im Szenariohorizont auf dem Niveau von 2016 konstant bleibt.

Die Entwicklung der Leistung erneuerbarer Energien im MMS (Tabelle 49 und Abbildung 21) wird auf Basis der Vorgaben des EEG 2017 und weiterer Abschätzungen abgeleitet. Für das Jahr 2017 werden Daten für den historischen Zubau verwendet.

Die Entwicklung der installierten Leistung für **Windenergie an Land** basiert auf einem jährlichen Brutto-Zubau von 2,9 GW ab dem Jahr 2018⁴⁶ bis 2035. Nach 2020 kommt es mit diesem Bruttozubaue und dem entsprechenden Ausscheiden von Altanlagen nach Ende der Vergütungsdauer lediglich zu einem geringfügigen Netto-Zubau.

Die Entwicklung der installierten Leistung von **Windenergie auf See** basiert grundsätzlich auf den im EEG 2017 vorgesehenen Ausbauwerten (6,5 GW im Jahr 2020 und 15,0 GW im Jahr

⁴⁴ Geplante oder seit 2016 in Betrieb gegangene KWK-Anlagen in Berlin, München, Wolfsburg und Frankfurt und Kiel.

⁴⁵ Geplante KWK-Anlagen in Herne, Wolfsburg, Berlin, Chemnitz, Mainz und Cottbus.

⁴⁶ Im Jahr 2017 fiel der Zubau mit ca. 5 GW noch einmal relativ hoch aus und bewegte sich damit in einer ähnlichen Größenordnung wie in den drei Vorjahren.

2030). Aufgrund von Branchenabschätzungen⁴⁷ wird der im Jahr 2020 erreichte Ausbauwert jedoch mit 7,5 GW etwas höher abgeschätzt.

Die Entwicklung der **Photovoltaik**-Leistung orientiert sich am im EEG 2017 vorgesehenen jährlichen Brutto-Zubau von 2,5 GW ab dem Jahr 2019. Für das Jahr 2018 wird der Zubau wie in der Schätzung aus der Berechnung der EEG-Umlagen-Prognose der Übertragungsnetzbetreiber⁴⁸ mit 2,4 GW angesetzt. Es wird angenommen, dass PV-Anlagen fünf Jahre über die Vergütungsdauer hinaus betrieben werden. Dies ist in den Leistungsgerüsten für die Außerbetriebnahmen reflektiert.⁴⁹

Der Zubau von **Biomasseanlagen** basiert auf einem Brutto-Zubau von 200 MW in den Jahren 2020 bis 2022. Der überwiegende Teil davon (80 %) wird in Form von Biogasanlagen zugebaut. Wegen der jedoch begrenzten Mengen an Biogas, das aus den Modellierungen für den Landwirtschaftssektor für den Stromsektor zur Verfügung steht, erfolgt auch ein kleiner Teil des Zubaus (20 %) in Form von Anlagen, die feste Biomasse verbrennen.

Ab dem Jahr 2023 wird für Biogas davon ausgegangen, dass nur noch Ersatzinvestitionen stattfinden, die nach Ende der Vergütungsdauer außer Betrieb gehenden Anlagen ersetzen. Die installierte Leistung insgesamt orientiert sich an den aus dem Landwirtschaftssektor zur Verfügung stehenden Biogasmengen, die bis 2035 leicht sinken.

Für feste Biomasse wird nach 2023 ebenfalls nur von einem sehr geringen Zubau ausgegangen, durch die lange Lebensdauer einiger Anlagen bleibt die installierte Leistung bis 2035 auf einem etwa gleichbleibenden Niveau. Dies liegt vor allem darin begründet, dass Altholzanlagen und Kraftwerke in der Papierindustrie aufgrund ihrer speziellen Funktion auch nach Auslaufen von Förderungen weiter betrieben werden.

Tabelle 49: Installierte Leistung erneuerbarer Energien (MMS)

Technologie	2016	2020	2025	2030	2035
	GW				
Wasserkraft ⁵⁰	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7
Windenergie an Land	45,5	59,2	59,2	64,5	65,5
Windenergie auf See	4,1	8,2	11,6	15,0	17,5
Photovoltaik	40,7	49,8	62,3	73,7	76,7
Biomasse ⁵¹	1,8	1,9	2,0	1,8	1,8
Biogas ⁵²	5,8	6,4	6,5	6,3	6,4
Geothermie	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2

Quelle: BMWi 2018c, EEG 2017, BWE 2018, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

⁴⁷ BWE 2018

⁴⁸ Übertragungsnetzbetreiber 2018

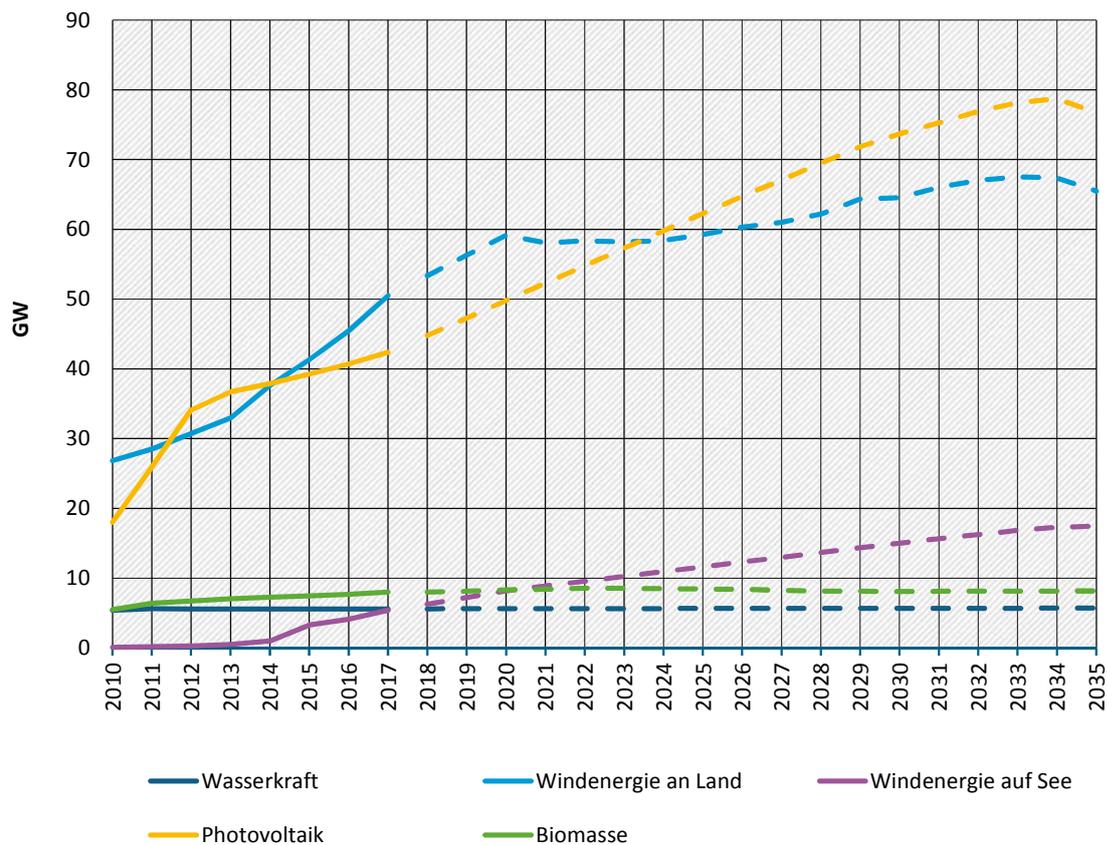
⁴⁹ Für die Solarenergie wird mit den hier angenommenen Zubauzahlen und Betriebsdauern voraussichtlich während des Jahres 2021 eine installierte Leistung von 52 GW überschritten. Bisher sieht §49 Absatz 5 des EEG 2017 vor, dass eine Vergütung von Strom für Photovoltaikanlagen nach §19 jenseits einer Obergrenze von 52 GW entfällt. In §49 Absatz 6 heißt es „Die Bundesregierung legt rechtzeitig vor Erreichung des in Absatz 5 bestimmten Ziels einen Vorschlag für die Neugestaltung der bisherigen Regelung vor.“ Obwohl dieser Vorschlag zurzeit noch nicht vorliegt, wird hier davon ausgegangen, dass eine Regelung in Kraft tritt, die den Brutto-Zubau von 2,5 GW pro Jahr ab 2020 ermöglicht, wie er im Maßnahmenbericht zu diesem Projekt vereinbart wurde.

⁵⁰ Lauf- und Speicherwasserkraftwerke sowie Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluss

⁵¹ Feste und flüssige Biomasse

⁵² Biogas, Biomethan, Klärgas, Deponiegas

Abbildung 21: Installierte Leistung erneuerbarer Energien 2016 bis 2035



Quelle: BMWi 2018c, EEG 2017, BWE 2018, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Die Volllaststunden für die fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und Photovoltaik wurden wie im Projektionsbericht 2017 angesetzt⁵³. Für Wasserkraft wurde der Mittelwert der Volllaststunden aus den historischen Jahren 2006 bis 2017 fortgeschrieben.

Tabelle 50 zeigt für alle Technologien die im Durchschnitt angenommene Entwicklung der Volllaststunden in den einzelnen Szenariojahren. Für das Dargebot an erneuerbaren Energien wird aus den installierten Leistungen für jede Technologie die maximal mögliche Stromproduktion berechnet. Die tatsächliche im Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex ermittelte Stromerzeugung erneuerbarer Energien kann durch Abregelung geringfügig davon abweichen.

Tabelle 50: Volllaststunden⁵⁴ zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien

Technologie	2020	2025	2030	2035
	h/a			
Wasser	3.734	3.734	3.734	3.734
Windenergie an Land	1.839	1.888	1.936	2.033
Windenergie auf See	4.027	4.027	4.032	4.036
Photovoltaik	843	875	903	918

⁵³ Für Wind an Land 2025 wurde jedoch hier der Mittelwert zwischen 2020 und 2030 angesetzt, während im Projektionsbericht 2017 die Volllaststunden für 2025 gleich hoch waren wie für 2020.

⁵⁴ Es handelt sich um rechnerische Volllaststunden, welche sich auf die installierte Leistung am Ende eines Jahres und die Stromerzeugung dieses Jahres beziehen.

Quelle: Wasser basierend auf historischer Auslastung in den Jahren 2006-2017 (BMWi 2018c), Windenergie basierend auf (Öko-Institut & Forwind 2016), Photovoltaik basierend auf (Nitsch et al. 2012)

Die Stromerzeugung aus Müll wird durch die im Szenariohorizont in Müllverbrennungsanlagen und EBS-Heizkraftwerken zu entsorgende Müllmenge bestimmt. Diese ist in Tabelle 51 als Primärenergieeinsatz dargestellt. Dabei liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

Bioabfälle werden 2025 aufgrund der Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zur getrennten Erfassung und Verwertung von Bioabfällen immer stärker getrennt gesammelt und daher weniger in Kraftwerken verbrannt. Es wird hier angenommen, dass sich bis 2030 die biogenen Abfälle für die Verbrennung um 1,5 Mt reduzieren.

Klärschlamm (der hier ebenfalls zum biogenen Abfall zählt) geht wegen schärferer Grenzwerte in der Landwirtschaft zunehmend in die Verbrennung statt wie früher in die landwirtschaftliche Nutzung. Der bereits zwischen 2014 und 2016 beobachtbare Anstieg wird bis 2025 linear fortgesetzt, danach bleibt die Menge an Klärschlamm für die Stromerzeugung konstant. Das erklärt den kleinen Anstieg des biogenen Abfalls im Jahr 2020 gegenüber 2016.

Für den fossilen Abfall wird angenommen, dass bis 2030 eine Reduktion der in die Verbrennung gelangenden Gewerbeabfälle und Verpackungsabfälle um ebenfalls 1,5 Mt stattfindet.

Für das Jahr 2035 finden keine weiteren Maßnahmen statt, so dass die Werte gegenüber 2030 konstant bleiben.

Tabelle 51: Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm)

		2016	2020	2025	2030	2035
gesamt	PJ	317	318	301	290	290
fossil	PJ	192	192	181	174	174
biogen	PJ	125	126	120	116	116
<i>Anteil biogen</i>	%	39,3 %	39,5 %	39,9 %	40,0 %	40,0 %

Quelle: Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Die Stromimporte oder -exporte werden modellendogen ermittelt. Die Annahmen für die konventionellen Kraftwerkskapazitäten, erneuerbare Stromerzeugung und Nachfrageentwicklung im europäischen Ausland basieren auf den Szenarien der europäischen Übertragungsnetzbetreiber, die im Rahmen des TYNDP 2018 erstellt wurden (ENTSO-E 2017). Dabei wurde auf das „Best Estimate“-Szenario für 2020 und das „Sustainable Transition“-Szenario für 2030 und 2040 abgestellt. Für die Zwischenjahre wurden die Werte interpoliert. Bezüglich des Netzausbaus mit den europäischen Nachbarländern wurden ab 2025 die Netzkapazitäten zwischen den europäischen Ländern aus den genannten Szenarien in (ENTSO-E 2017) zu Grunde gelegt. Für 2020 wurden Werte auf Basis der heutigen Kuppelstellkapazitäten angesetzt.

Die Laufzeit der **Kernkraftwerke** in Deutschland wird gemäß AtG 2011 dem Modell vorgegeben.

3.1.6.3. Stromverbrauch

Die Entwicklung des **inländischen Stromverbrauchs** wird direkt aus der Aggregation der Modellierungsergebnisse der Nachfragesektoren ermittelt und über weitere Verluste und Verbräuche in die notwendige Stromerzeugung umgerechnet, die dann der Modellierung des Stromsektors vorgegeben wird.

Der Endenergieverbrauch an Strom nimmt zwischen 2008 und 2020 geringfügig ab (um 1,9 %) und sinkt bis zum Jahr 2035 um insgesamt 5,9 %. Er würde deutlich stärker sinken, wenn es

nicht zu einer deutlichen Steigerung des Stromverbrauchs im Straßenverkehr durch Elektrofahrzeuge kommen würde. Mehrere unterschiedliche Effekte in der Energiewirtschaft selbst führen dazu, dass der Bruttostromverbrauch bis 2020 gegenüber 2008 um 5,6 % sinkt und um 10,9 % bis 2035. Insbesondere ist hier die Reduktion des Eigenbedarfs von Kraftwerken nach 2020 zu nennen. Diese Reduktion ist darauf zurückzuführen, dass insbesondere Windkraft- und Photovoltaikanlagen einen deutlich niedrigeren Eigenstrombedarf aufweisen als thermische (fossile und nukleare) Kraftwerke. Dennoch wird das Ziel der Bundesregierung, den Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2020 um 10 % gegenüber dem Jahr 2008 zu reduzieren, deutlich verfehlt.

Für die langfristige Entwicklung des Bruttostromverbrauchs ist die Rolle der Sektorkopplung zu berücksichtigen, also die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Darunter versteht man sämtliche neuen technischen Verknüpfungen der Stromversorgung mit den verschiedenen Anwendungsbereichen. Regenerativer Strom wird zukünftig der zentrale Energieträger sein, der eine effiziente und kostengünstige Emissionsminderung in allen Anwendungsbereichen ermöglicht. Durch Sektorkopplung steigt der Stromverbrauch, während Stromeffizienz den Stromverbrauch senkt. Je nachdem, welche Entwicklung überwiegt, kann der Bruttostromverbrauch entweder sinken oder steigen.

In den letzten Jahren wurde signifikant mehr Strom erzeugt als verbraucht, der Überschuss wurde in Nachbarländer exportiert. Der Exportüberschuss machte 2016 bereits 54 TWh bzw. 8 %, gemessen an der Bruttostromerzeugung, aus (siehe Tabelle 52). Die Bruttostromerzeugung nimmt bis 2020 im Vergleich zu 2016 um knapp 14 TWh ab und beträgt 637 TWh. Der Exportüberschuss bleibt 2020 mit 52 TWh bzw. 8 % der Bruttostromerzeugung in etwa gleich wie 2016. In den Jahren 2025 und 2030 liegt die Bruttostromerzeugung mit 610 TWh unter dem Wert von 2020. 2035 steigt sie wieder an und beträgt dann 630 TWh. Grund dafür sind die steigenden Exportüberschüsse, die sich aus dem Zusammenspiel der deutschen und ausländischen Kraftwerkspark im europäischen Strommarkt ergeben.

Tabelle 52: Stromverbrauch im MMS 2008-2035

Sektor	2008	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Industrie	232,6	226,6	225,3	218,0	209,7	205,5
GHD	135,7	151,0	145,4	140,8	136,3	134,9
Haushalte	139,5	128,2	131,0	125,2	121,9	121,2
Schienenverkehr	16,5	11,6	11,4	11,1	10,8	10,5
Straßenverkehr	0,0	0,1	1,0	3,6	11,0	21,3
Stromverbrauch Endenergie	524,3	517,6	514,2	498,6	489,5	493,4
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-1,3 %</i>	<i>-1,9 %</i>	<i>-4,9 %</i>	<i>-6,6 %</i>	<i>-5,9 %</i>
Raffinerien	6,4	6,2	6,2	5,8	5,4	5,0
Übrige Energiewirtschaft	7,7	6,8	5,9	5,8	5,3	4,0
Leitungsverluste	30,1	25,8	24,2	23,4	22,9	23,0
Pumpstrom ⁵⁵	7,9	7,5	5,1	3,2	2,3	2,6
Eigenstromverbrauch Kraftwerke	38,3	36,3	27,9	25,0	22,1	21,9
Stromverbrauch Energiewirtschaft	90,5	82,5	69,3	63,2	58,0	56,5

⁵⁵ Der Stromverbrauch für Pumpstrom ergibt sich als Modellergebnis im PowerFlex-Modell. Dies wird von verschiedenen Faktoren wie den abgebildeten und verfügbaren Flexibilitätsoptionen (Speicher, E-Mobilität, etc.), den Möglichkeiten des Im- und Exports und dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage beeinflusst. Des Weiteren werden im Modell Primär- und Sekundärregelleistung, welche einen signifikanten Anteil an der Pumpstromerzeugung haben, nicht abgebildet. Dies führt dazu, dass der Pumpstromverbrauch in den modellierten Jahren schwankt und teilweise deutlich niedriger liegt als die historischen Werte.

Sektor	2008	2016	2020	2025	2030	2035
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0 %	-8,8 %	-23,4 %	-30,1 %	-35,9 %	-37,5 %
Statistische Differenz ^a	-4,2	3,5	-0,8	-0,8	-1,1	-1,4
Bruttostromverbrauch	619,0	596,6	584,3	562,6	548,7	551,4
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0 %	-3,6 %	-5,6 %	-9,1 %	-11,4 %	-10,9 %
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-53,7	-52,3	-47,0	-61,2	-78,1
Bruttostromerzeugung	641,5	650,3	636,6	609,6	609,9	629,5
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0 %	1,4 %	-0,8 %	-5,0 %	-4,9 %	-1,9 %

Quelle: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

3.1.6.4. Ergebnisse der Projektion

Die Entwicklung der Stromerzeugung bis 2035 wird geprägt durch den Ausbau der erneuerbaren Energien sowie einen in allen Szenarienjahren hohen Netto-Export von Strom in die Nachbarländer. Die Ursache dafür ist vor allem ein nur geringer Rückgang der Kohleverstromung. 2035 beträgt sie immer noch mehr als 70 % im Vergleich zu 2016.

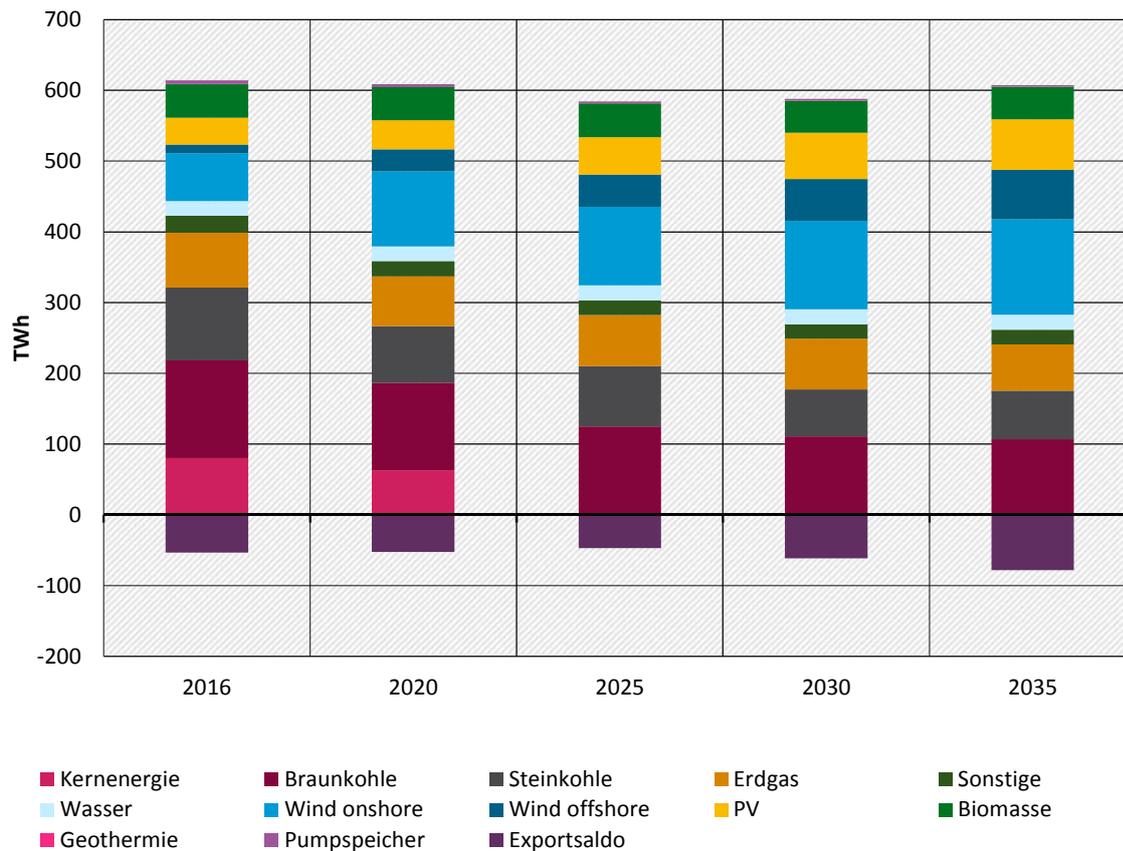
Abbildung 22 und Tabelle 53 stellen die Entwicklung der Netto-Stromerzeugung⁵⁶ von 2016 bis 2035 im Einzelnen dar. Tabelle 54 zeigt die entsprechende Nettoleistung. Der Stromverbrauch nimmt im Szenariohorizont gegenüber 2008 um ca. 11 % ab (Tabelle 52). Durch den zum Teil sehr signifikanten Stromexport (zwischen 47 und 78 TWh im Jahressaldo), bleibt die Netto-Stromerzeugung jedoch bis 2020 auf einem Niveau von ca. 610 TWh und erreicht diese Größenordnung nach einem zwischenzeitlichen leichten Rückgang 2035 wieder.

Die Kernenergie-Stromerzeugung nimmt im Jahr 2020 proportional zum Leistungsrückgang ab (auf ca. 60 TWh). Gemäß dem Ausstiegsbeschluss nach AtG 2011 findet im Stützjahr 2025 keine Stromerzeugung aus Kernenergie mehr statt.

Da die Ergebnisse der Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung erst nach Fertigstellung des MMS vorlagen und noch nicht in beschlossene Instrumente überführt wurden, sind sie nicht Bestandteil des MMS. Damit ist die einzige Maßnahme im MMS zur Reduzierung der Kohleverstromung die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft. Die Braunkohle-Stromerzeugung geht durch die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft bis 2020 gegenüber 2016 um ca. 11 % zurück und beträgt im Jahr 2020 noch 124 TWh. Im Jahr 2025 bleibt die Braunkohle-Stromerzeugung auf diesem Niveau (125 TWh). Bis 2030 reduziert sich so die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke durch Stilllegungen auf 16 GW. In der Folge geht auch die Stromerzeugung der Braunkohlekraftwerke bis 2030 auf 111 TWh zurück. Im Jahr 2035 sinkt die Braunkohle-Stromerzeugung bei gleichbleibender Leistung weiter auf 107 TWh (das entspricht 23 % weniger als im Basisjahr).

⁵⁶ Die Brutto-Stromerzeugung ist in Tabelle A 4 in Anhang A4 enthalten.

Abbildung 22: Nettostromerzeugung im MMS, 2016-2035



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Die Steinkohle-Verstromung nimmt bis zum Jahr 2020 gegenüber 2016 um 22 % ab und beträgt im Jahr 2020 noch 80 TWh. Bedingt durch den Kernenergieausstieg und eine hohe Nachfrage aus dem Ausland sowie die Inbetriebnahme des Steinkohlekraftwerks in Datteln im Jahr 2021 steigt die Stromproduktion aus Steinkohle bis 2025 auf 85 TWh, sinkt dann aber im Jahr 2030 wieder auf 66 TWh. Dies liegt am Rückgang der installierten Leistung auf ca. 16 GW im Jahr 2030 gegenüber ca. 21 GW im Jahr 2025. Hier handelt es sich um modellendogene Stilllegungen von Kraftwerken im Umfang von gut 4 GW, die ihre fixen Betriebskosten langfristig nicht mehr decken können. Betroffen sind Kraftwerksblöcke, die im Jahr 2030 seit 45 Jahre oder teils deutlich länger in Betrieb sind. Die Stilllegung von weiteren knapp 2 GW im Jahr 2035 reduziert die installierte Leistung weiter auf ca. 14 GW. Dennoch steigt die Stromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken im Jahr 2035 gegenüber 2030 wieder leicht an (69 TWh). Grund für die leicht höhere Auslastung der Steinkohlekraftwerke in Deutschland ist ein angenommener Rückgang der Kohleverstromung im europäischen Ausland.

Die Erdgas-Verstromung sinkt bis zum Jahr 2020 gegenüber 2016 um etwa 9 %. Die Erdgasverstromung im KWK-Betrieb bleibt zwar gegenüber 2016 etwa konstant, es ist aber ein deutlicher Rückgang der installierten Leistung von Erdgaskraftwerken zwischen 2016 und 2020 zu verzeichnen. Grund dafür sind vor allem modellendogene Stilllegungen von Kondensationsanlagen, die ihre fixen Betriebskosten nicht mehr decken können. Durch den Neubau von KWK-Anlagen nehmen Leistung und Stromerzeugung bis 2025 wieder leicht zu (22 GW, 73TWh). 2030 produzieren die Erdgas-Kraftwerke trotz erneuter Stilllegungen durch eine höhere Auslastung zunächst noch etwa gleich viel Strom wie 2025 (19 GW, 72 TWh). Im Jahr 2035 geht die Stromerzeugung dann auf 66 TWh bei einer Leistung von 17 GW zurück.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nimmt im Szenario deutlich zu (auf ca. 344 TWh im Jahr 2035 von 186 TWh im Jahr 2016). Diese Entwicklung wird vor allem durch starken Zubau von Windenergie an Land und auf See getrieben. Zusammen steigt die Windstromerzeugung an Land und auf See um knapp 160 % gegenüber dem Basisjahr. Die PV-Erzeugung nimmt ebenfalls deutlich zu (Anstieg um ca. 87 % bis zum Jahr 2035). Die Biomasse-Verstromung (Biogas und Biomasse) bleibt im Zeitverlauf entsprechend den Annahmen zum Ausbau der Leistung in etwa konstant.

Tabelle 53: Nettostromerzeugung im MMS, 2016-2035

Energieträger	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Kernenergie	80	63	0	0	0
Braunkohle	138	124	125	111	107
Steinkohle	103	80	85	66	69
Erdgas	78	71	73	72	66
Sonstige	24	21	21	20	21
Öl	4	2	2	2	2
Gichtgas	7	7	7	7	7
Kokereigas	2	2	2	2	2
Müll fossil	6	6	6	6	6
Sonstige	3	3	3	3	3
Erneuerbare	186	246	279	317	344
Wasser	21	21	21	21	21
Wind	80	137	156	184	205
Wind onshore	68	106	111	125	135
Wind offshore	12	31	45	59	70
PV	38	41	53	66	71
Biogas	33	31	31	30	30
Biomasse	10	12	12	11	11
Geothermie	0	0	0	0	1
Müll biogen	4	4	4	4	4
Pumpspeicher	5	4	3	2	2
Summe	614	609	585	588	608
Export-Import-Saldo (Import positiv)	-54	-52	-47	-61	-78
Summe abzüglich Exporte	561	556	538	527	529

Quelle: Daten für 2016 basierend auf (AGEB 2018), (Statistisches Bundesamt 2018), (BMWi 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

Die Stromerzeugung aus sonstigen Brennstoffen (Öl, Hochofengas usw.) nimmt bis 2020 gegenüber 2016 etwas ab. Dies liegt insbesondere am geringeren Einsatz von Öl für die Stromerzeugung. Ab 2020 bleibt die Stromerzeugung aus den sonstigen Brennstoffen in etwa konstant.⁵⁷

⁵⁷ Der leichte Rückgang von Müll in der Stromerzeugung führt nur zu einer Senkung im Nachkommastellenbereich, so dass er in Tabelle 53 nicht sichtbar wird.

Tabelle 54: Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im MMS (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2016-2035

Energieträger	2016	2020	2025	2030	2035
	GW				
Kernenergie	11	8	0	0	0
Braunkohle	21	18	18	16	16
Steinkohle	27	20	21	16	14
Erdgas	30	21	22	19	17
Sonstige	10	10	10	10	10
Öl	5	5	5	5	5
Gichtgas	1	1	1	1	1
Kokereigas	1	1	1	1	1
Müll	3	3	3	3	3
Sonstige	1	1	1	1	1
Erneuerbare	103	131	147	167	174
Wasser	6	6	6	6	6
Wind	50	67	71	80	83
Wind onshore	45	59	59	65	65
Wind offshore	4	8	12	15	17
PV	41	50	62	74	77
Biogas	6	6	7	6	6
Biomasse	2	2	2	2	2
Geothermie	0	0	0	0	0
Pumpspeicher	10	10	10	10	10
Summe	212	218	227	238	240

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Daten für 2016 basierend auf (BNetzA 2018) (DIW 2014), BHKW-Datenbank des Öko-Instituts

Bezogen auf den Bruttostromverbrauch (Tabelle A 4) nimmt der Anteil der erneuerbaren Energien von 32 % im Jahr 2016 auf 42 % im Jahr 2020, 49 % im Jahr 2025, 58 % im Jahr 2030 und 62 % im Jahr 2035 zu. Der EE-Anteil liegt damit im Jahr 2025 oberhalb des Korridors nach dem EEG 2017 (40-45 %), ebenso im Jahr 2030 (55-60 %). Im Falle eines höheren als in dieser Studie angenommenen Bruttostromverbrauchs würden die Prozentzahlen für den Anteil der erneuerbaren entsprechend niedriger ausfallen. Ein gegenüber 2016 konstant bleibender Bruttostromverbrauch hätte 2025 einen EE-Anteil von 47 % zur Folge und läge damit noch knapp über dem Ausbaukorridor. Im Jahr 2035 würde sich mit konstantem Bruttostromverbrauch ein EE-Anteil von 58 % ergeben, der innerhalb des im EEG 2017 formulierten Ausbaukorridors liegt. Das im Koalitionsvertrag 2018 vereinbarte Ziel eines EE-Anteils von 65 % bis 2030 wird in diesem Szenario verfehlt.

3.1.6.4.1. Emissionsentwicklung

Die CO₂-Emissionen des Stromsektors (einschließlich der Emissionen von KWK-Anlagen für Strom- und Wärmeerzeugung) sinken von 348 Mt CO₂ (2016) auf 261 Mt CO₂ im Jahr 2035 (Tabelle 55). Dabei entfallen ca. 50 Mt CO₂ der Minderung auf den Zeitraum bis 2020. Gegenüber 1990 entspricht dies einer Minderung um knapp 35 %. Im Zeitraum 2020 bis 2035 sinken die

CO₂-Emissionen um weitere 36 Mt CO₂. Zwischen 1990 und 2035 gehen die Emissionen des Stromsektors damit um 43 % zurück. Im Vergleich zu 2005 ist dies ein Rückgang um 32 %.

Tabelle 55: CO₂-Emissionen der Kraftwerke nach Subsektoren im MMS, 1990–2035⁵⁸

	1990	2005	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂						
Kraftwerke der Energiewirtschaft	386,4	341,1	294,5	249,2	254,7	220,8	214,8
<i>Braunkohle</i>	227,7	165,8	156,6	136,3	138,2	121,1	116,7
<i>Steinkohle</i>	119,1	120,5	94,0	72,1	76,3	61,0	61,3
<i>Erdgas</i>	17,5	30,3	27,3	24,3	24,7	24,6	22,7
<i>Gichtgas</i>	3,2	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sonstige fossile</i>	18,9	17,7	16,8	16,5	15,5	14,1	14,1
Industriekraftwerke	68,5	40,8	52,3	47,3	45,9	45,8	45,6
<i>Braunkohle</i>	16,7	2,2	3,2	2,5	2,4	2,2	2,1
<i>Steinkohle</i>	14,5	3,3	2,4	1,9	1,8	1,7	1,6
<i>Erdgas</i>	15,4	16,8	19,6	18,5	17,8	17,0	16,7
<i>Gichtgas</i>	12,9	11,0	19,3	19,2	18,8	18,9	18,9
<i>Sonstige fossile</i>	8,9	7,5	7,8	5,2	5,1	6,1	6,2
Summe: Kraftwerke der Energie- wirtschaft und Industrie	454,9	381,9	346,8	296,5	300,7	266,6	260,4
<i>Braunkohle</i>	244,4	168,0	159,8	138,8	140,6	123,3	118,8
<i>Steinkohle</i>	133,7	123,8	96,4	74,0	78,1	62,7	62,9
<i>Erdgas</i>	32,9	47,2	46,8	42,8	42,6	41,6	39,4
<i>Gichtgas</i>	16,1	17,7	19,3	19,2	18,8	18,9	18,9
<i>Sonstige fossile</i>	27,8	25,1	24,5	21,7	20,6	20,2	20,2
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7
Kraftwerke der Energiewirtschaft und Industrie inkl. REA	455,5	383,0	347,8	297,3	301,5	267,3	261,1

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

Zu den insgesamt 348 Mt CO₂ im Jahr 2016 tragen die Braunkohlekraftwerke mit 160 Mt CO₂ den größten Emissionsanteil bei, gefolgt von den Steinkohlekraftwerken mit Emissionen in Höhe von 96 Mt CO₂. Die Emissionen aus Erdgas liegen bei ca. 47 Mt CO₂, gefolgt von sonstigen fossilen Brennstoffen (25 Mt CO₂) und Gichtgas (19 Mt CO₂).

Bis zum Jahr 2020 gehen die Emissionen aus der Kohleverstromung um 43 Mt CO₂ (auf in Summe 213 Mt CO₂) zurück. Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke tragen zu etwa gleichen Anteilen zu dieser Emissionsreduktion bei. Der Emissionsrückgang ist vor allem auf Kraftwerksstilllegungen zurückzuführen. Bei der Braunkohle handelt es sich dabei um diejenigen Kraftwerke, die schrittweise in die Sicherheitsbereitschaft überführt werden. Die Steinkohle-Kraftwerke sind solche mit geplanten und bei der Bundesnetzagentur angekündigten oder seit 2016 bereits erfolgten Stilllegungen.

⁵⁸ Kleine Abweichungen in der Summe der Kraftwerke im Vergleich zu den Einzelsektoren entstehen durch Rundung der Nachkommastellen.

Bis 2025 steigen sowohl die Emissionen aus der Steinkohle und der Braunkohle zusammen um ca. 6 Mt CO₂ an. Dies ist vor allem durch den Ausstieg aus der Kernenergie und eine leicht steigende Nachfrage im Ausland bedingt, welche durch den nur moderaten Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland nicht kompensiert werden können.

Der Anstieg der erneuerbaren Stromerzeugung und die modellendogenen Stilllegungen von Kohle-Kraftwerken führen im Szenariojahr 2030 dazu, dass die CO₂-Emissionen aus Braun- und Steinkohle wieder sinken. Verglichen mit 2025 reduzieren sie sich um ca. 33 Mt CO₂ und betragen in Summe 186 Mt CO₂.

Im Jahr 2035 sind die Emissionen aus Kohlekraftwerken mit in Summe 182 Mt CO₂ ähnlich hoch wie in 2030. Grund dafür sind die gegenüber 2030 gleichbleibende Leistung der Braunkohlekraftwerke und die schon dargestellte leicht höhere Auslastung der verbleibenden Steinkohlekraftwerke.

Die CO₂-Emissionen der Erdgaskraftwerke sinken genau wie die zugehörige Stromerzeugung bis 2035 nur leicht, auf dann 39 Mt. 2016 waren es 47 und 2020 43 Mt CO₂.

Die CO₂-Emissionen aus Gichtgas und sonstigen fossilen Energieträgern bleiben im Szenariohorizont entsprechend der Stromerzeugung aus diesen Brennstoffen weitgehend konstant. Mit zusammen ca. 40 Mt CO₂ stellen sie einen ebenfalls relevanten Anteil der gesamten CO₂-Emissionen.

3.1.6.4.2. Bewertung der Einzelmaßnahmen

Das MMS zeichnet sich im Stromsektor durch die folgenden vier Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel aus (vgl. Abschnitt 2.7):

- a) EU-Emissionshandel
- b) Ausbau der erneuerbaren Energien auf Basis des EEG
- c) Förderung der KWK
- d) Sicherheitsbereitschaft für Braunkohlekraftwerke

Für die Maßnahmenbewertung der im MMS wirksamen Maßnahmen stellt sich grundsätzlich die Frage nach dem Referenzszenario gegenüber dem die Maßnahmen zu quantifizieren wären. Ein solches OMS (Ohne-Maßnahmen-Szenario) wird im Rahmen des Projektionsberichts für den Stromsektor nicht vollumfänglich berechnet, da nur schwer abzuschätzen ist, wie sich die Struktur der Stromerzeugung in Deutschland ohne den Einfluss von bereits langjährig wirkenden Instrumente wie dem EEG, dem KWKG oder dem EU-Emissionshandel entwickelt hätte. Die Maßnahmenbewertung für das MMS wird daher so durchgeführt, dass die entsprechenden Parameter im PowerFlex-Modell variiert werden.

Dabei wird nicht ein gleiches Stützjahr als Ausgangspunkt für alle Maßnahmen angesetzt, sondern jede Maßnahme wird jeweils für ihren Wirkungszeitraum einzeln ausgeschaltet. Die resultierenden CO₂-Emissionen eines Modelllaufs bei ausgeschalteter Maßnahme werden jeweils mit den CO₂-Emissionen des MMS verglichen, um die Minderungswirkung der jeweiligen Maßnahme zu quantifizieren. Die Ergebnisse der Maßnahmenbewertung sind in Tabelle 57 dargestellt.

Für die **Bewertung der Wirkung des EU-Emissionshandels in Deutschland** wurde der CO₂-Preis in der Modellierung auf 0 €/t CO₂ variiert, unter der Annahme, dass es im OMS keinen Emissionshandel gegeben hätte.⁵⁹ Damit ergibt sich je nach Szenariojahr eine Emissionsminde-

⁵⁹ Im Jahr 2020 wird durch den EU-Emissionshandel eine größere Emissionsminderung erbracht als im Jahr 2025, weil sich im Jahr 2020 im Modelllauf ohne CO₂-Preis die Braunkohlekraftwerke in der Merit-Order vor den Kernkraftwerken einsortieren. In den späteren Stützjahren tritt dieser Effekt nicht mehr auf (Ausstieg aus der Kernenergie).

zung zwischen 2 und 10 Mt CO₂. Diese Emissionsminderungen ergeben sich aus dem veränderten Kraftwerksdispatch.⁶⁰ Es erfolgt ohne den Emissionshandel vor allem ein verstärkter Einsatz von Braunkohle und Steinkohle bei gleichzeitig geringerem Verbrauch von Erdgas. 2020 besteht der Unterschied zwischen MMS und einem Szenario mit 0 €/t CO₂ vor allem im dann höheren Einsatz von Braunkohlekraftwerken. Im Jahr 2025 ist bereits im MMS die Auslastung der fossilen Kraftwerke bedingt durch den bis dahin erfolgten Kernenergieausstieg hoch. Daher ist die Differenz zum OMS und damit zu einer Welt mit 0 €/t CO₂ hier am geringsten. In den Jahren 2030 und 2035 würden in einer Welt mit 0 €/t CO₂ vor allem die Steinkohlekraftwerke stärker zum Einsatz kommen.

Für die Bewertung des **Ausbaus der erneuerbaren Energien auf Basis des EEG** wird als alternative Entwicklung in einem OMS unterstellt, dass es im Jahr 2000 kein EEG gegeben hätte. Es hätte dann zwar auch einen Ausbau der erneuerbaren Energien gegeben, und zwar auf Basis des seit dem Jahr 1990 geltenden Stromeinspeisungsgesetzes, aber dieser wäre deutlich niedriger ausgefallen als in der Realität. Für die Entwicklung der erneuerbaren Energien im OMS wurde der historische Ausbau unter dem Stromeinspeisungsgesetz in den Jahren 1990 bis 2000 linear fortgeschrieben, wie Tabelle 56 zeigt. Bei der Wasserkraft wurde angenommen, dass die installierte Leistung nicht weiter ansteigt. Für Windenergie auf See bedeutet die lineare Fortschreibung gar keinen Ausbau. Für Photovoltaik bleibt die Leistung in der niedrigen Größenordnung der 90er Jahre. Einzig Windenergie an Land zeigt in dieser alternativen Welt als älteste Technologie nennenswerte Leistungen im Szenariohorizont. Für Deponiegas und Klärgas (hier unter Biogas enthalten) wurde dieselbe Entwicklung wie im MMS angenommen, da eine lineare Fortschreibung eine höhere Leistung zur Folge gehabt hätte. Für Geothermie wurde aufgrund der ohnehin niedrigen Leistungen ebenfalls keine Variation gegenüber dem MMS vorgenommen.

Tabelle 56: Installierte Leistung erneuerbarer Energien (OMS)

Technologie	1990	2000	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	GW							
Wasserkraft ⁶¹	4,0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Windenergie an Land	0,1	6,1	12,1	15,8	18,2	21,2	24,2	27,2
Windenergie auf See	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Photovoltaik	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
Biomasse ⁶²	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Biogas ⁶³	0,1	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7

Quelle: BMWi 2018c, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Im Vergleich mit dem MMS hätten sich mit einer solchen Entwicklung der erneuerbaren Energien zusätzliche CO₂-Emissionen in Höhe von 113 bis 157 Mt CO₂ ergeben, wie in Tabelle 57 dargestellt. Dieses Ergebnis basiert auf zwei Effekten: Zum einen wären die auch im MMS vorhandenen fossilen Kraftwerke mit einer höheren Auslastung zum Einsatz gekommen. Zum anderen hätte es in einer solchen Welt aber auch andere Entscheidungen über den konventionellen Kraftwerkspark gegeben. Es wäre mutmaßlich zu weniger Stilllegungen und zusätzlichen Neu-

⁶⁰ Wenn zusätzlich noch die Auswirkungen des ETS auf Anlagenstilllegungen modelliert worden wäre, ergäben sich höhere Minderungen.

⁶¹ Lauf- und Speicherwasserkraftwerke sowie Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluss

⁶² Feste und flüssige Biomasse

⁶³ Biogas, Biomethan, Klärgas, Deponiegas

bau fossiler Kraftwerke gekommen. Da ein komplettes OMS-Szenario, in dem diese Effekte abgebildet wären im Rahmen dieses Projektes nicht modelliert wird, wird hilfsweise angenommen, dass der in solchen Kraftwerken erzeugte Strom im Durchschnitt mit dem Emissionsfaktor eines Steinkohlekraftwerks behaftet wäre⁶⁴. Gleichzeitig wird angenommen, dass der Import-Export-Saldo für Strom in etwa ausgeglichen wäre.

Für die **Bewertung der KWK-Förderung** wurde angenommen, dass die Novelle des KWKG 2017, in der die im heutigen KWKG gültige Ausschreibung für Anlagen zwischen 1 MW und 50 MW und die verbesserte Förderung von Neuanlagen, im OMS nicht zustande gekommen wäre. Damit wären insbesondere Erdgas-KWK-Anlagen > 1MW mit Inbetriebnahme nach 2017, wie sie in Tabelle 48 dargestellt sind und für deren Wirtschaftlichkeit die Förderung über das KWKG maßgeblich war, im OMS nicht gebaut worden. Die installierte Leistung von Erdgas-basierten KWK-Anlagen sinkt damit um 1,3 GW im Jahr 2020. In den Jahren 2025 bis 2035 beträgt die Differenz 3,0 GW. Mit einigen Neubauprojekten geht der Ersatz einer bisherigen Kohle-KWK-Anlage am jeweiligen Standort einher. Es wird für das OMS angenommen, dass diese Kraftwerke ohne die entsprechende Ersatzinvestition in ein Erdgas-Kraftwerk weiter betrieben worden wären. Dies betrifft Steinkohle-KWK-Anlagen im Umfang von insgesamt gut 0,7 GW (davon 0,3 GW, die im MMS schon 2020 stillgelegt werden) sowie Braunkohle-KWK-Anlagen mit insgesamt gut 0,3 GW (davon knapp 0,2 GW im Jahr 2020).⁶⁵ Insgesamt ergibt sich im MMS gegenüber der alternativen Entwicklung für die KWK eine CO₂-Minderung von 1 bzw. 2 Mt CO₂, wie in Tabelle 57 dargestellt. Dass der Effekt so niedrig ist, liegt auch daran, dass in einem Szenario mit weniger Erdgas-KWK-Anlagen auch der Stromexport-Saldo sinkt, so dass mögliche Mehremissionen aus emissionsintensiveren Anlagen dadurch beinahe wieder kompensiert werden.

Für die **Bewertung der Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft** wurden Braunkohlekraftwerksblöcke mit einer Netto-Leistung von 2,1-2,7 GW im Modell⁶⁶ wieder in Betrieb genommen, die im MMS im Rahmen der Sicherheitsbereitschaft aus dem Strommarkt gegangen sind. Damit ergeben sich im MMS vermiedene Emissionen von 11,8-15,0 Mt CO₂ im Jahr 2020. Auf eine Quantifizierung der **Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft** für die Stützjahre nach 2020 wird verzichtet, weil hier hypothetische Annahmen bezüglich des Weiterbetriebs der betreffenden, bereits sehr alten Kraftwerksblöcke notwendig wären.

Tabelle 57: CO₂-Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Emissionshandel	E	2005	5	4	7	12
Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft	V	2016	11,8-15,0			
KWK-Förderung	E	2015	1	1	2	0
EEG	R,E		113	135	148	157
Summe der Einzelmaßnahmen			130,8-134,0	141	158	169

⁶⁴ Annahmen hier analog zum Projektionsbericht 2015: Brennstoffbezogener Emissionsfaktor 0,337 t CO₂/MWh_{fuel}, elektrischer Nutzungsgrad 37,5%.

⁶⁵ Kohle-KWK-Anlagen in Berlin, Kiel, Chemnitz, Cottbus und Wolfsburg.

⁶⁶ Im Rahmen der Evaluierung der Sicherheitsbereitschaft.

3.1.6.4.3. Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen

Im MMS sinken die THG-Emissionen der Kraftwerke auf etwa 303 Mt CO₂e im Jahr 2020. Im Vergleich zum Jahr 2016, als die Emissionen noch 354 Mt CO₂e betragen, wird somit eine deutliche Emissionsminderung erreicht. Im Vergleich zum Jahr 1990 werden die THG-Emissionen der Kraftwerke damit im Jahr 2020 um 34 % reduziert. Im MMS steigen die Emissionen bis 2025 leicht an (307 Mt CO₂e) und erreichen im Jahr 2030 mit 272 Mt CO₂e ein Niveau, das um ca. 30 Mt CO₂e unter dem des Jahres 2020 liegt. Im Jahr 2035 bleiben die THG-Emissionen mit 266 Mt CO₂e in etwa auf dem gleichen Niveau wie 2030.

CO₂ macht in allen Jahren mehr als 98 % der THG-Emissionen aus. Im Vergleich dazu sind die Anteile von CH₄ und N₂O gering. Daher ist die relative Emissionsänderung von CO₂ mit einem Rückgang bis 2035 um 43 % gegenüber 1990 sehr ähnlich zur Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stromerzeugung (Rückgang um 42 %). Die N₂O-Emissionen gehen bis 2035 um 37 % gegenüber 1990 zurück. Ganz anders hingegen entwickeln sich CH₄-Emissionen: Diese haben sich, vor allem durch den Ausbau von Biogasanlagen, zwischen 1990 und 2016 um den Faktor 10 vervielfacht und betragen 3 Mt CO₂e. Im Szenariohorizont bleiben sie in etwa auf diesem Niveau konstant. Größte Quelle von CH₄-Emissionen sind Biogasanlagen, gefolgt von Erdgaskraftwerken.⁶⁷

Bis 2035 sinken die THG-Emissionen der Kraftwerke mit einem Rückgang um 42 % gegenüber 1990 insgesamt nur wenig, wenn man in Betracht zieht, dass bis 2020 bereits ein Rückgang um 34 % gegenüber 1990 stattfindet. Das liegt an dem bis 2035 weiterhin hohen Anteil der Stromerzeugung in Kohlekraftwerken. Im Jahr 2035 sinkt die Kohlestromerzeugung nur um 14 % im Vergleich zu 2020. Allein die CO₂-Emissionen der Braunkohle-Kraftwerke stellen im Jahr 2035 mit 119 Mt CO₂ knapp 45 % der gesamten THG-Emissionen der Kraftwerke. Die CO₂-Emissionen der Steinkohle-Kraftwerke machen mit 63 Mt weitere 24 % der THG-Emissionen aus Kraftwerken im Jahr 2035 aus.

Trotz des beachtlichen Ausbaus der erneuerbaren Energien auf 62 % am Bruttostromverbrauch geht die Kohleverstromung also nur wenig zurück. Stattdessen steigen die Netto-Exporte von Strom von heute gut 50 TWh auf knapp 80 TWh im Jahr 2035 (Tabelle 53). Bezogen auf die Bruttostromerzeugung liegt der Anteil der erneuerbaren Energien im Jahr 2035 daher nur bei 54 % (vgl. Anhang A4).

⁶⁷ Der gewählte Ansatz bei der Emissionsmodellierung (Verwendung brennstoffspezifischer Emissionsfaktoren ohne Unterscheidung einzelner Verbrennungstechnologien) unterschätzt möglicherweise zukünftige Methanemissionen aus motorischen Erdgaskraftwerken etwas.

Tabelle 58: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Stromsektor zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	455,5	383,0	364,9	347,8				
MMS					297,3	301,5	267,3	261,1
CH ₄ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,3	1,0	2,0	3,0				
MMS					2,9	2,9	2,8	2,8
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	3,5	2,8	2,9	2,8				
MMS					2,4	2,5	2,2	2,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	459,3	386,8	369,8	353,6				
MMS					302,6	306,8	272,3	266,0
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-15,8	-19,5	-23,0				
MMS					-34,1	-33,2	-40,7	-42,1
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			-4,4	-8,6				
MMS					-21,8	-20,7	-29,6	-31,2

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkung: Nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, Brennstoffeinsatz in den öffentlichen Kraftwerken, Raffineriekraftwerken, übrigen Kraftwerken der Energiewirtschaft sowie Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes; einschließlich Rauchgasentschwefelung

3.1.7. Übrige Energiewirtschaft

3.1.7.1. Methodik, Annahmen und Parameter

Neben der Stromerzeugung müssen für die Energiewirtschaft (Umwandlungssektor) noch eine Reihe weiterer Verursacherbereiche berücksichtigt werden:

- a) Heizwerke der Fernwärmeversorgung,
- b) (Mineralöl-) Raffinerien,
- c) übrige Anlagen des Umwandlungssektors (Braunkohlengruben, Steinkohlenzechen, Brikettfabriken, Kokereien, andere Umwandlungs- und Veredelungsanlagen, Eigenverbrauch von Biogasanlagen),
- d) Erdgasverdichterstationen im Pipelinennetz⁶⁸.

⁶⁸ Bei den Erdgasverdichterstationen ergibt sich die Besonderheit, dass diese im Sinne der Energiebilanz zum Umwandlungssektor gerechnet werden, in der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars hingegen beim Verkehr als CRF 1.A.3.e Sonstiger Transport. Diese Besonderheit wurde in der Modellierung berücksichtigt.

Die Entwicklung der fossilen Brennstoffeinsätze (außer Erdgas) der Heizwerke orientiert sich an den Entwicklungen der Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in öffentlichen Kraftwerken. Ein Ausbau wurde bei Solar- und Geothermie angenommen (siehe Tabelle 59), während Einsätze übriger erneuerbarer Energieträger sowie von Abfall auf dem Niveau des Jahres 2016 fortgeschrieben wurden. Der Einsatz von Erdgas wurde als Residualgröße modelliert.

Tabelle 59: Ausbau im Bereich der netzgebunden Wärme im MMS

	Einheit	2020	2025	2030	2035
Solarthermie					
Installierte thermische Leistung	GW	0,25	0,50	0,75	1,00
Tiefengeothermie					
Wärmeeinspeisung	PJ	2,2	2,9	3,6	4,3

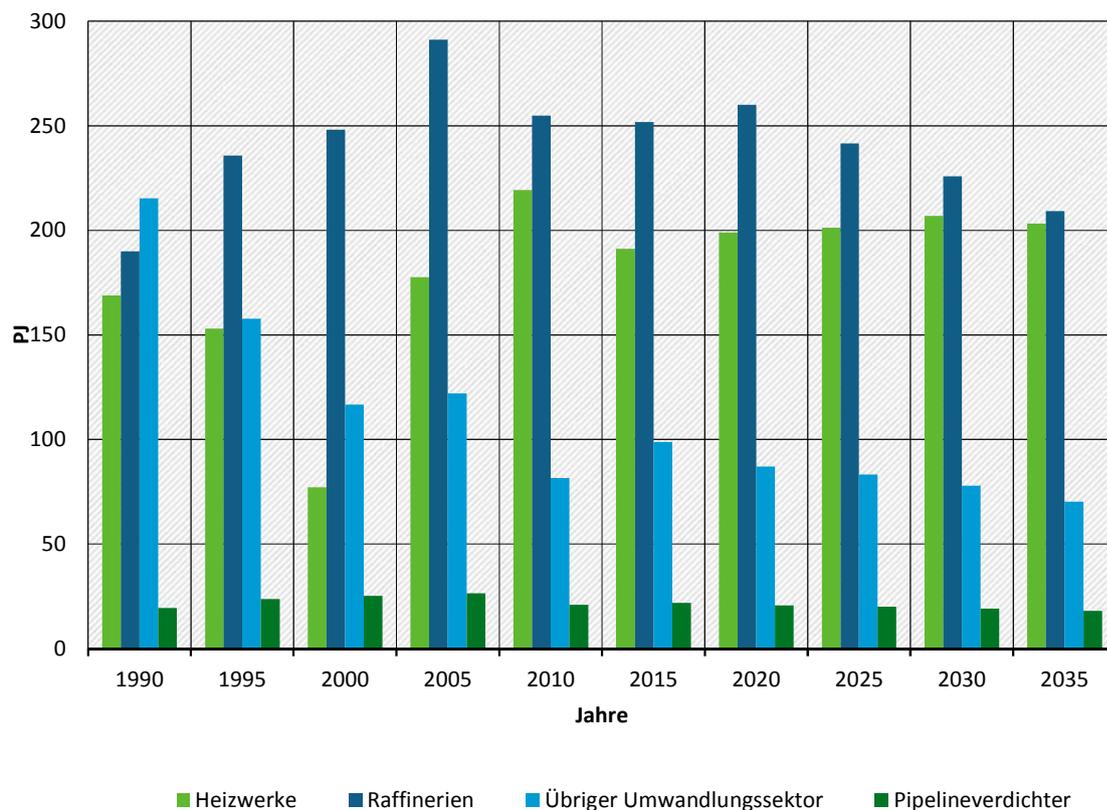
Quelle: Annahmen Öko-Institut

Die übrigen betrachteten Umwandlungsanlagen werden unabhängig vom Stromerzeugungssektor modelliert. Anders als die Modellierung des Stromsektors erfolgt hier die Modellierung nicht stundenscharf, sondern nur als Jahreswerte. Bei der Integration der Sektorergebnisse bilden sie zusammen mit den Stromerzeugungsanlagen den gesamten Umwandlungssektor (Energiewirtschaft). Die Projektionen der anderen Umwandlungssektoren außerhalb der Stromerzeugung sind im Wesentlichen durch die Energieverbräuche der Energiesektoren determiniert: alle Nachfragegrößen für die übrigen Umwandlungssektoren ergeben sich aus den in den Sektoranalysen ermittelten Energienachfragen, wobei Leitungs- und Umwandlungsverluste bei der Integration vollständig berücksichtigt werden. Energieverbräuche, die nicht konkret zu individuellen Treibern zugeordnet werden können, werden als konstant fortgeschrieben.

3.1.7.2. Ergebnisse der Projektion

Die Energieverbräuche in den verschiedenen Subsektoren der übrigen Energiewirtschaft haben sich in der Vergangenheit unterschiedlich entwickelt. Auch in der Zukunft ist keine gleichmäßige Entwicklung zu erwarten, wie Abbildung 23 und die darauf folgende Erläuterung zeigen.

Abbildung 23: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 1990-2035



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellrechnungen des Öko-Institut

Die Nachfrage nach netzgebundener Wärme (Fernwärme sowie industrielle KWK-Wärme) in den Endverbrauchssektoren ist in Summe bis 2025 leicht ansteigend, um dann bis 2035 wieder auf das Niveau von 2016 abzusinken. Die KWK-Wärmeerzeugung hingegen wird bis 2035 leicht zurückgehen, so dass durch die ungekoppelte Fernwärmeerzeugung in öffentlichen Heizwerken ein größerer Anteil der Wärmenachfrage abgedeckt wird. Daher nimmt der Energieeinsatz in öffentlichen Heizwerken bis 2030 um etwa 10 % gegenüber 2016 zu, siehe Tabelle 60, um dann anschließend bis 2035 leicht abzusinken. Der zusätzliche Energiebedarf wird zum größten Teil durch zusätzliches Erdgas gedeckt. Der Verbrauch an anderen fossilen Energieträgern ändert sich im Vergleich dazu nur wenig. Der Einsatz biogener Energieträger sowie von Müll bleibt auf konstanten Niveau. Eine zunehmende Bedeutung bei der Bereitstellung von Fernwärme erlangen Geothermie und Solarthermie.

Bedingt durch einen Rückgang des Mineralölverbrauchs insgesamt sinkt die Aktivität der Raffinerien und somit zeigt sich ein Rückgang aller in Raffinerieunterfeuerungen eingesetzten fossilen Brennstoffe wie auch des Strombedarfs der Raffinerien. Insgesamt sinkt der Energieverbrauch der Raffinerien (ohne Raffineriekraftwerke) bis 2035 um knapp 21 % gegenüber dem Jahr 2016.

Im Bereich des übrigen Umwandlungssektors zeigt sich ein diverses Bild: Im Bereich der Kokeereien und sonstigen Kohleumwandlung sinken die Energieverbräuche bedingt durch eine sinkende Nachfrage nach Koks (in der Stahlherstellung) und Briketts. Der Eigenverbrauch von Bio-

gasanlagen⁶⁹ bleibt auf etwa konstantem Niveau. Der Strombedarf der übrigen Energiewirtschaft ist rückläufig. Die Verbräuche einiger Energieträger sind modellierungsbedingt unverändert. Insgesamt sinkt der Energieverbrauch der übrigen Energiewirtschaft bis 2035 um etwa 27 % gegenüber 2016.

Der Energieverbrauch der Erdgasverdichterstationen ist rückläufig und sinkt aufgrund von sinkenden Nachfragen der Erdgasverbraucher bis 2035 um etwa 18 % gegenüber dem Jahr 2016.

Insgesamt sinkt der Energieverbrauch der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS bis 2035 um etwa 12 % gegenüber dem Jahr 2016.

Tabelle 60: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 2016-2035

Sektor	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Heizwerke					
Braunkohlen	2	3	3	3	3
Steinkohlen	13	14	14	14	13
Öl	6	0	0	0	0
Erdgas	88	104	104	108	94
Kokerei-/Stadtgas	1	0	0	0	0
Müll	31	31	31	31	31
Biogas	6	6	6	6	6
(Feste) Biomasse	38	38	38	38	38
Geothermie	2	2	3	4	4
Solarthermie	0	1	2	3	4
Heizwerke gesamt	187	199	201	207	203
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>6,1 %</i>	<i>7,3 %</i>	<i>10,4 %</i>	<i>8,4 %</i>
Raffinerien					
Öl	48	47	44	41	38
Raffineriegas	147	145	135	126	117
Erdgas	40	40	37	35	32
Kokerei-/Stadtgas	1	1	1	1	1
Fern- und Nahwärme	4	4	3	3	3
Strom	22	22	21	19	18
Raffinerien gesamt	263	260	241	226	209
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-1,1 %</i>	<i>-8,2 %</i>	<i>-14,2 %</i>	<i>-20,5 %</i>
Übriger Umwandlungssektor					
Braunkohlen	6	3	1	1	0
Öl	0	0	0	0	0

69 Seit dem Berichtsjahr 2016 ist der Eigenverbrauch von Biogasanlagen in der Quellgruppe 1.A.1.c Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (= Übriger Umwandlungssektor) enthalten (UBA (2016a, 2016b)).

Sektor	2016	2020	2025	2030	2035
Erdgas	5	4	3	2	1
Gichtgas	16	16	16	16	16
Kokerei-/Stadtgas	7	7	7	7	7
Biogas	21	22	22	21	22
(Feste) Biomasse	6	6	6	6	6
Fern- und Nahwärme	9	7	7	6	4
Strom	24	21	21	19	15
Übriger Umwandlungssektor gesamt	96	87	83	78	70
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-9,1 %</i>	<i>-13,1 %</i>	<i>-18,6 %</i>	<i>-26,6 %</i>
Pipelineverdichter					
Erdgas	22	21	20	19	18
Pipelineverdichter gesamt	22	21	20	19	18
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-6,2 %</i>	<i>-9,1 %</i>	<i>-12,8 %</i>	<i>-17,9 %</i>
Übrige Energiewirtschaft gesamt	568	567	546	530	501
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-0,3 %</i>	<i>-3,9 %</i>	<i>-6,8 %</i>	<i>-11,9 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellrechnungen des Öko-Institut

Die Treibhausgasemissionen aus der übrigen Energiewirtschaft sind zwischen 1990 und 2016 um etwa 15 % zurückgegangen und sinken bis 2035 auf ein Niveau, das 25 % niedriger ist als 1990. In den öffentlichen Heizwerken steigen die Emissionen leicht, da die Rückgänge beim Öleinsatz durch eine Zunahme des Erdgaseinsatzes überkompensiert werden. Der Zubau von Geothermie und Solarthermie kann lediglich die Emissionssteigerung bremsen. Rückläufige Energieverbräuche bei den Raffinerien und der übrigen Anlagen des Umwandlungssektors führt zu sinkenden Emissionen, sodass im Saldo die Emissionen der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) sinken. Die CO₂-Emissionen dominieren mit etwa 99 % der Gesamtemissionen die übrige Energiewirtschaft deutlich, siehe Tabelle 61.

Tabelle 61: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der übrigen Energiewirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	36,9	33,6	33,8	31,0				
MMS					30,9	29,5	28,6	27,4
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,1	0,1	0,0	0,2				
MMS					0,3	0,3	0,2	0,2
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,2	0,2	0,3	0,2				

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
MMS					0,3	0,2	0,2	0,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	37,1	33,9	34,1	31,5				
MMS					31,3	29,9	29,0	27,8
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-8,7	-8,2	-15,3				
MMS					-15,6	-19,5	-21,8	-25,2
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			0,6	-7,2				
MMS					-7,6	-11,8	-14,4	-18,0

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkung: Nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne Brennstoffeinsatz in Kraftwerken. Emissionen der Erdgasverdichterstationen für Pipelinetransport sind im Verkehr enthalten.

3.1.8. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen

Diffuse Emissionen aus Brennstoffen entstehen während und nach dem Abbau, bei der Aufbereitung, beim Transport und bei der Verteilung, sowie durch Leckagen und bei der Abfackelung fossiler Energieträger (Kohle, Mineralöl und Erdgas). Daher ist die Entwicklung dieser diffusen Emissionen eng mit dem Verbrauch fossiler Energieträger in den Umwandlungs- und Endverbrauchssektoren verbunden.

3.1.8.1. Methodik

Die Modellierung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen erfolgt in möglichst enger Anlehnung an die Berechnungsmethoden des Nationalen Inventarberichts (UBA 2018c). In der Modellierung wird für jede relevante Quellgruppe eine Aktivitätsrate aus der Modellierung der Energiesektoren abgeleitet. Ist dies nicht möglich, so werden Aktivitätsraten auf konstantem Niveau fortgeschrieben. Tabelle 62 gibt einen Überblick über die verwendeten Aktivitätsraten.

Tabelle 62: Relevante Quellgruppen für diffuse Emissionen aus Brennstoffen sowie in der Modellierung verwendete Aktivitätsraten

CRF	Bezeichnung	Verwendete Aktivitätsrate
1.B.1.a.i.1	Aktiver Steinkohlenuntertagebau	Steinkohleförderung
1.B.1.a.i.2	Steinkohlenuntertagebau Nachbetrieb	Fortschreibung
1.B.1.a.i.3	Stillgelegte Steinkohlenuntertagebau	Fortschreibung
1.B.1.a.ii	Braunkohlentagebau	Primärenergieverbrauch Braunkohle
1.B.1.b	Kohleumwandlung	Rohstahlproduktion als Treibergröße für Koksbedarf
1.B.2.a.1	Ölexploration ⁷⁰	Förderprognose Erdöl und Erdgas

⁷⁰ Entgegen ihrer Bezeichnung enthält die Quellgruppe CRF 1.B.2.a.1 in Deutschland nicht nur die Exploration nach Erdöl sondern auch nach Erdgas.

CRF	Bezeichnung	Verwendete Aktivitätsrate
1.B.2.a.2	Ölförderung	Förderprognose Erdöl
1.B.2.a.3	Öltransport	Produktion Raffinerien
1.B.2.a.4	Ölraffination	Produktion Raffinerien
1.B.2.a.5	Ölverteilung	Produktion Raffinerien
1.B.2.b.2	Gasförderung	Förderprognose Erdgas
1.B.2.b.3	Gasverarbeitung	Förderprognose Erdgas
1.B.2.b.4	Gastransport	Fortschreibung der Länge des Gastransportnetzes unter Berücksichtigung konkreter Neubauprojekte
1.B.2.b.5	Gasverteilung	Fortschreibung der Länge des Gasverteilnetzes
1.B.2.b.6	Gasverbrauch	Primärenergieverbrauch Erdgas
1.B.2.c.1	Abfackelung und Belüftung von Öl	Produktion Raffinerien
1.B.2.c.2	Abfackelung und Belüftung von Gas	Primärenergieverbrauch Erdgas

Quelle: Darstellung Öko-Institut

3.1.8.2. Annahmen und Parameter

Neben dem nachfragegetriebenen Aufkommen für die verschiedenen Energieträger wurden die folgenden Aspekte berücksichtigt:

- a) Für den Emissionsbeitrag aus dem aktiven Steinkohlenbergbau ist die Entwicklung der Fördermenge entscheidend. Hier wurde in allen Szenarien davon ausgegangen, dass die Förderung in deutschen Bergwerken zum Jahr 2018 aufgrund des Endes der Subventionierung entsprechend § 1 Abs. 1 Steinkohlefinanzierungsgesetz (SteinkohleFinG) (Deutscher Bundestag 2015) vollständig eingestellt wurde.
- b) Für die Förderung von Erdöl in Deutschland wurde auf die Energierferenzprognose (Prognos AG, EWI, GWS 2014) zurückgegriffen. Für die inländische Erdgasförderung wurden auf die bis zum Jahr 2028 reichende Prognose im Entwurf zum Netzentwicklungsplan Gas 2018 (Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas 2018) zurückgegriffen und der dortige Trend bis zum Jahr 2035 extrapoliert. Implizit wird sowohl bei Erdöl als auch bei Erdgas unterstellt, dass Veränderungen in den Verbrauchsniveaus ausschließlich Veränderungen bei den Erdöl- und Erdgasimporten zur Folge haben.
- c) Für das Erdgasnetz wurde vom Stand von 2016 ausgegangen, wobei die im Entwurf zum Netzentwicklungsplan Gas 2018 (Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas 2018) aufgeführten Projekte zum Neubau von Erdgastransportleitungen berücksichtigt wurden.

Darüber hinaus bilden vor allem die Mengengerüste für die Kohle-, Öl- und Gasnachfrage die zentralen Bestimmungsgrößen für die flüchtigen Emissionen des Energiesektors.

3.1.8.3. Ergebnisse der Projektion

Tabelle 63 zeigt die Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen. Im Zeitraum von 1990 bis 2016 sanken diese Emissionen um 74 % von 38,0 Mt CO_{2e} auf 10,0 Mt CO_{2e}. Durch weitere deutliche Emissionsminderungen verbleiben im Jahr 2035 noch 6,4 Mt CO_{2e}, was einer Reduktion von 83 % gegenüber dem 1990 entspricht.

Im Jahr 1990 war die bedeutendste Emissionsquelle der Kohlenbergbau mit 25,5 Mt CO_{2e}. Bis zum Jahr 2016 sind diese Emissionen bereits um über 90 % auf nur noch 2,4 Mt CO_{2e} zurückgeführt worden. Aufgrund der kompletten Rückführung des deutschen Steinkohlenbergbaus bis zum Ende des Jahres 2018 betragen die Emissionen im Jahr 2035 nur noch 0,2 Mt CO_{2e}, ein

Rückgang um über 99 % gegenüber 1990. Braunkohlentagebaue hingegen haben nur sehr geringe diffuse Emissionen.

Die diffusen Emissionen aus der Förderung, Verarbeitung und Verteilung von Erdgas stiegen von 9,3 Mt CO₂e im Jahr 1990 zunächst auf ein Maximum von 11,9 Mt CO₂e im Jahr 1993 an und fielen anschließend auf 5,9 Mt CO₂e im Jahr 2016. Bis zum Jahr 2035 ist ein Rückgang auf 4,9 Mt CO₂e und damit 48 % niedriger als 1990 zu erwarten. Deutlich rückläufige Emissionen sind einerseits durch eine rückläufige Erdgasförderung und damit verbundene Gasaufarbeitung und andererseits durch sinkende Erdgasverbräuche zu erwarten. Andererseits führt ein Ausbau des Erdgasnetzes zu einem leichten Anstieg der dortigen diffusen Emissionen.

Förderung, Verarbeitung und Verteilung von Öl trägt nur in geringem Umfang zu diffusen Emissionen aus Brennstoffen bei. Hier sanken die Emissionen (CO₂ und CH₄) von 0,7 Mt CO₂e im Jahr 1990 auf 0,5 Mt CO₂e im Jahr 2016 und werden auf 0,4 Mt CO₂e im Jahr 2035 sinken. Ähnliches gilt für die Emissionen aus Abfackelung und Belüftung: Hier sanken die Emissionen von 0,5 Mt CO₂e (1990) auf 0,4 Mt CO₂e (2016) und werden leicht auf 0,3 Mt CO₂e (2035) absinken.

Insgesamt zeigt sich eine deutliche Verschiebung der Anteile der unterschiedlichen fossilen Brennstoffe an den diffusen Emissionen. Wurden 1990 noch 72 % der diffusen Emissionen durch Kohle und Koks verursacht, sank dieser Anteil bis 2016 auf 32 % und im Jahr 2035 wird er bei nur noch 13 % liegen. Erdgas steigerte seinen Anteil hingegen von 25 % im Jahr 1990 auf 59 % im Jahr 2016 und wird im Jahr 2035 mit einem Anteil von 77 % die diffusen Emissionen dominieren. Der Anteil von Öl an den diffusen Emissionen stieg von unter 2 % (1990) auf 5 % (2016) und wird mit einem Anteil von 6 % (2035) eine ähnlich untergeordnete Bedeutung behalten. Ähnlich stieg der Anteil der Fackeln von 1 % (1990) auf 4 % (2014) und wird auf 5 % (2035) steigern.

Tabelle 63: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS (1990-2035)

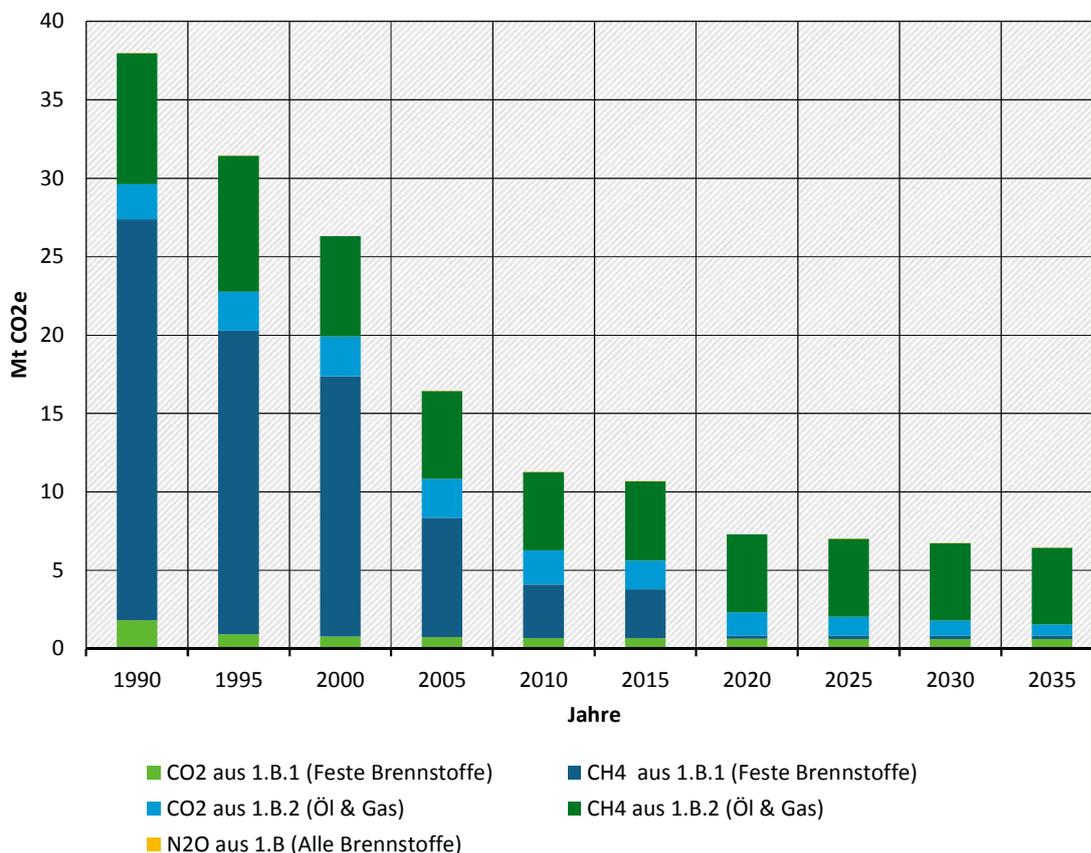
	1990	2016	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Koksproduktion (1.B.1.b)	1,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Ölförderung, -verarbeitung & -transport (1.B.2.a)	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Gasförderung-, -verarbeitung & -transport (1.B.2.b)	1,4	1,1	0,8	0,6	0,4	0,2
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
CO₂-Emissionen gesamt	4,1	2,4	2,1	1,8	1,6	1,3
CH₄-Emissionen						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	25,5	2,4	0,2	0,2	0,2	0,2
Koksproduktion (1.B.1.b)	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Ölförderung, -verarbeitung & -transport (1.B.2.a)	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Gasförderung-, -verarbeitung & -transport (1.B.2.b)	7,9	4,8	4,8	4,8	4,8	4,7
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CH₄-Emissionen gesamt	33,9	7,5	5,2	5,2	5,1	5,1

	1990	2016	2020	2025	2030	2035
N₂O-Emissionen						
N₂O-Emissionen gesamt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen						
Diffuse Emissionen gesamt	38,0	10,0	7,3	7,0	6,7	6,4
<i>ggü. 2005</i>	<i>131,1 %</i>	<i>-39,4 %</i>	<i>-55,6 %</i>	<i>-57,2 %</i>	<i>-59,0 %</i>	<i>-60,8 %</i>
<i>ggü. 1990</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-73,8 %</i>	<i>-80,8 %</i>	<i>-81,5 %</i>	<i>-82,3 %</i>	<i>-83,1 %</i>

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Abbildung 24 stellt die historische und projizierte Entwicklung der diffusen Emissionen noch einmal grafisch dar. Deutlich zu erkennen ist, dass der historische Rückgang der Emissionen vor allem aus einem Rückgang der Festbrennstoffe herrührt. Für die Zukunft zeigt das Diagramm, dass der Ausstieg aus der Steinkohleförderung noch eine kurzfristige Emissionsminderung haben wird, dann aber diffusen Emissionen auf etwa konstantem Niveau verbleiben.

Abbildung 24: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS



Quelle: 2005 - 2015: (UBA 2018b); 2020 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

Tabelle 64 zeigt die Bedeutung der unterschiedlichen Treibhausgase. Bis 2016 sind die diffusen Kohlendioxidemissionen aus Brennstoffen bereits um 41 % gegenüber 1990 gesunken und werden bis 2035 noch einmal fast halbieren und dann 67 % niedriger als 1990 liegen. Die diffusen Methanemissionen sind bis 2016 bereits um 78 % gegenüber 1990 gesunken und werden bis 2035 weiter auf -85 % sinken. Die diffusen Lachgasemissionen waren nahezu irrelevant und werden dies auch weiter bleiben.

Tabelle 64: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen der diffusen Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	4,1	3,2	2,8	2,4				
MMS					2,1	1,8	1,6	1,3
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	33,9	13,2	8,4	7,5				
MMS					5,2	5,2	5,1	5,1
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,0	0,0	0,0	0,0				
MMS					0,0	0,0	0,0	0,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	38,0	16,4	11,3	10,0				
MMS					7,3	7,0	6,7	6,4
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-56,7	-70,3	-73,8				
MMS					-80,8	-81,5	-82,3	-83,1
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			-31,4	-39,4				
MMS					-55,6	-57,2	-59,0	-60,8

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

3.1.9. Industrieprozesse und Produktverwendung (CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen)

3.1.9.1. Methodik sowie Annahmen und Parameter

Für die Erstellung der Projektionen für die prozessbedingten Kohlendioxid-, Methan- und Lachgas-Emissionen wurde ein dreistufiger Ansatz verfolgt:

1. Die detaillierteste Berechnung von Prozessemissionen erfolgt im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie mit einer besonderer Bedeutung der Primärstahlerzeugung über die Hochofenroute: Hier gehen als Eingangsparameter in die Emissionsberechnung einerseits die Brennstoffeinsätze in Hochöfen (v.a. Steinkohle, aber auch Mineralölprodukte und Braunkohle) und die entstehenden Kuppelgase (Gichtgas) und andererseits die Produktionsmengen an Primärstahl ein. Anschließend werden die gesamten entstehenden Emissionen in Anlehnung an die Methodik im Nationalen Treibhausgasinventar (UBA 2018a) in energiebedingte Emissionen (CRF 1.A.2) und prozessbedingte Emissionen (CRF 2.C.1) aufgeteilt, um diese korrekt zuordnen zu können.

2. Für die meisten weiteren (sehr relevanten) Quellbereiche ist die Fortschreibung der Entwicklung über Annahmen zur Entwicklung der Produktionsniveaus entsprechend Tabelle für eindeutig identifizierbare Produkte bzw. Produktgruppen unter der Annahme konstanter Emissionsfaktoren möglich. Für nicht in Tabelle 37 aufgeführte Prozesse wurden – sofern vorhanden – alternative Aktivitätsdaten verwendet.
3. Für einige (weniger relevante) Quellbereiche wurden die historischen Aktivitätsraten (in der Regel Produktionsmengen) der Emissionen analysiert. Sofern eindeutige Trends in den Aktivitätsraten vorliegen wurden diese – bei konstanten Emissionsraten – in die Zukunft fortgeschrieben. Andernfalls wurden die Aktivitätsraten und die Emissionen in den Szenarien auf dem Niveau von 2016 konstant gehalten.

Die prozessbedingten CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen ergeben sich damit stets aus den zu Grunde gelegten Produktionsmengen, die entweder exogen vorgegeben sind oder konstant gehalten werden bzw. über die modellendogen ermittelten Produktionsniveaus ermittelt werden.

Für die Ermittlung der indirekten CO₂-Emissionen aus NMVOC-Emissionen im Bereich der Lösemittel und anderer Produktverwendung wurden NMVOC-Emissionsprojektionen aus dem Aktuelle-Politik-Szenario des Projekts *Luft 2030* (IER et al. 2014) übernommen und bis zum Jahr 2035 fortgeschrieben.

Die N₂O-Emissionen aus der Produktverwendung wurden auf dem Niveau des Jahres 2016 fortgeschrieben.

3.1.9.2. Ergebnisse der Projektion

In der Vergangenheit sanken die Kohlendioxid-, Methan- und Lachgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung bereits um 46 % von 83,6 Mt CO₂e im Jahr 1990 auf 45,7 Mt CO₂e im Jahr 2016. Bis 2035 werden diese Emissionen im MMS auf 39,2 Mt CO₂e und somit um 53 % gegenüber dem Jahr 1990 sinken.

Die mineralische Industrie (CRF 2.A) konnte ihre Emissionen in der Vergangenheit um 17 % von 23,5 Mt CO₂e im Jahr 1990 auf 19,6 Mt CO₂e im Jahr 2016 senken. Mit Abstand wichtigste Emissionsquelle ist hier die Zementklinkerproduktion gefolgt von der Kalkherstellung. Glas-, Keramik- und Sodaherstellung haben im Vergleich dazu eine untergeordnete Bedeutung. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen der mineralischen Industrie auf 17,6 Mt CO₂e sinken, wobei hier vor allem ein produktionsmengenbedingter Rückgang der Emissionen aus Zement und Kalk zu verzeichnen ist, während die Emissionen aus Glas und Keramik – ebenfalls produktionsmengenbedingt – leicht ansteigen.

Im Jahr 1990 hatte die chemische Industrie (CRF 2.B) mit 29,8 Mt CO₂e den größten Anteil an den CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung. Bis zum Jahr 2016 konnten diese Emissionen um 77 % auf 6,8 Mt CO₂e reduziert werden. Besonders bedeutsam waren hier die Rückgänge der N₂O-Emissionen aus der Salpetersäure- und Adipinsäureproduktion. Hier wird unterstellt, dass die im Jahr 2016 erreichte spezifische Emissionsminderung auch in der Zukunft erreicht wird. Durch Ausweitung der Produktionsmengen ist ein leichter Anstieg der Emissionen aus der chemischen Industrie auf 6,9 Mt CO₂ zu erwarten.

Die zweitbedeutendste Branche in Bezug auf CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Jahr 1990 war die Metallproduktion (CRF 2.C) mit 25,1 Mt CO₂e. Hier sanken die Emissionen bis zum Jahr 2016 um 32 % auf 17,1 Mt CO₂e. Dominiert wird dieser Bereich von den Emissionen aus der Eisen- und Stahlproduktion und dabei insbesondere durch die Oxygenstahlproduktion im Hochofen. Bei der Stahlproduktion zeigt sich zukünftig ein Absinken der Produktionsmengen an Oxygenstahl. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen aus der Metallproduktion auf 11,5 Mt CO₂e und damit um 54 % gegenüber 1990

sinken. Die Produktion anderer Metalle hat nur einen geringen Einfluss auf diese Emissionsänderung.

Die Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Brennstoffen und aus Lösemitteln (CRF 2.D) sanken von 3,3 Mt CO₂e im Jahr 1990 um 23 % auf 2,6 Mt CO₂e. Ursache war hier vor allem ein deutlicher Rückgang der Emissionen aus Lösemittelverwendung. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen aus nichtenergetischer Verwendung von Brennstoffen aus Lösemitteln auf 3,3 Mt CO₂e und damit annähernd auf das Niveau von 1990 ansteigen. Ursache ist hierfür vor allem das Fortschreiben des Trends zu steigenden Emissionen aus Paraffinwachsen.

Die CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus sonstiger Produktherstellung und -verwendung (CRF 2.G) sanken von 2,0 Mt CO₂e im Jahr 1990 um 78 % auf 0,4 Mt CO₂e; dieses Emissionsniveau wurde auch bis 2035 fortgeschrieben. Wichtigste verbleibende Emissionsquelle in diesem Bereich ist das Lachgas in medizinischen Anwendungen.

Tabelle 65: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS nach Quellgruppen

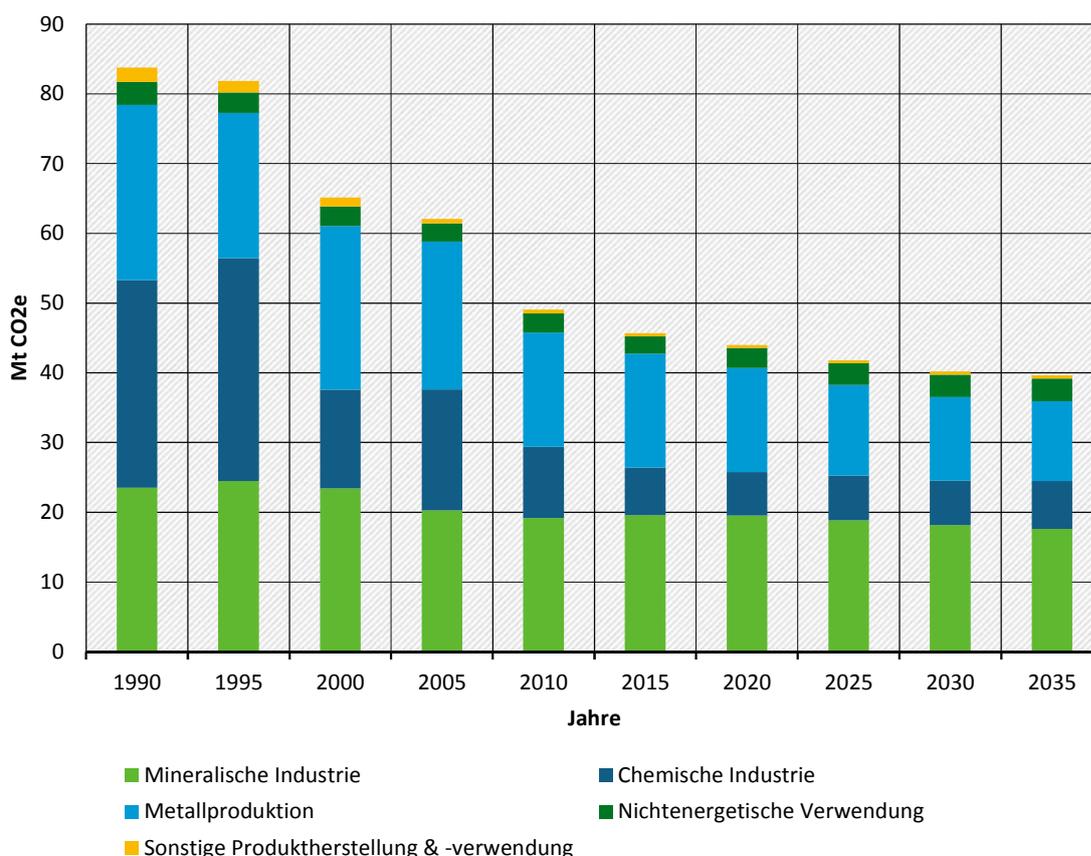
	1990	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e					
CO₂-Emissionen						
Mineralische Industrie (2.A)	23,5	19,6	19,5	18,9	18,1	17,6
<i>Zement (2.A.1)</i>	15,3	12,7	12,7	12,2	11,5	11,0
<i>Kalk (2.A.2)</i>	6,0	4,9	4,8	4,7	4,7	4,7
<i>Glas (2.A.3)</i>	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>Keramik (2.A.4.a)</i>	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
<i>Sonstige Sodaverwendung (2.A.4.b)</i>	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Chemische Industrie (2.B)	8,1	5,6	5,1	5,2	5,2	5,6
<i>Ammoniak (2.B.1)</i>	6,0	4,2	3,7	3,8	3,8	4,1
<i>Carbid (2.B.5)</i>	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Soda (2.B.7)</i>	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
<i>Industrieruß (2.B.8)</i>	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0
Metallproduktion (2.C)	25,1	17,1	14,9	13,0	12,0	11,4
<i>Eisen & Stahl (2.C.1)</i>	22,8	16,0	13,7	11,8	10,9	10,3
<i>Ferrolegerungen (2.C.2)</i>	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aluminium (2.C.3)</i>	1,0	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8
<i>Blei (2.C.5)</i>	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>Zink (2.C.6)</i>	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Nichtenergetische Verwendung (2.D)	3,3	2,5	2,9	3,1	3,2	3,3
<i>Schmiermittel (2.D.1)</i>	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
<i>Paraffinwachse (2.D.2)</i>	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<i>Lösemittel (2.D.3.a)</i>	2,6	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5
<i>AdBlue (2.D.3.d.1)</i>	NA	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3

	1990	2016	2020	2025	2030	2035
CO ₂ -Emissionen gesamt	60,0	44,9	42,4	40,2	38,5	37,9
CH₄-Emissionen						
CH ₄ -Emissionen gesamt	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
N₂O-Emissionen						
Chemische Industrie (2.B)	21,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
<i>Salpetersäure (2.B.2)</i>	3,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
<i>Adipinsäure (2.B.3)</i>	18,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Metallproduktion (2.C)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nichtenergetische Verwendung (2.D)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonstige Produktherstellung & -verwendung (2.G)	2,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
N ₂ O-Emissionen gesamt	23,4	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O						
Industrieprozesse gesamt	83,8	46,5	44,0	41,8	40,2	39,6
<i>ggü. 2005</i>		-25,1 %	-29,1 %	-32,6 %	-35,3 %	-36,1%
<i>ggü. 1990</i>		-44,5 %	-47,5 %	-50,1 %	-52,0 %	-52,7 %

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Abbildung 25 stellt diese Entwicklung grafisch dar und verdeutlicht, dass der größte Teil der historischen Minderung der CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen in der chemischen Industrie, gefolgt von der Metallproduktion, erzielt werden könnten. Für die Zukunft sind im Vergleich dazu deutlich niedrigere Emissionsänderungen projiziert.

Abbildung 25: Entwicklung der Industrieprozessemissionen (CO₂, CH₄ und N₂O) im MMS nach Quellgruppen



Quelle: 2005 - 2015: (UBA 2018b); 2020 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

3.1.9.2.1. Bewertung der Einzelmaßnahmen

Zu Jahresbeginn 2013 wurde der Geltungsbereich des EU-Emissionshandels (EU ETS) erweitert. Aufgenommen wurden unter anderem die CO₂- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen der chemischen Industrie. Quantifizierbar sind hier die Emissionsminderungswirkungen bei Ammoniak-, Adipinsäure-, Salpetersäure-, Glyoxal- und Glyoxylsäureproduktion in Höhe von etwa 10 Mt CO₂e im Jahr 2020 und im Zeitverlauf – bedingt durch steigende Produktionszahlen – leicht ansteigend.⁷¹

Tabelle 66: Emissionsminderungswirkung von CO₂- und N₂O-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS

Wirkung von Minderungsmaßnahmen im MMS	Instru- menten- typ	Wir- kungs- beginn	2020	2025	2030	2035
			Mt CO ₂ e			
Berücksichtigung von CO ₂ aus der Ammoniakproduktion im EU-Emissionshandel	E	2013	2,3	2,3	2,3	2,5
Berücksichtigung von N ₂ O aus der Adipinsäure-, Salpetersäure-, Glyoxal- und Glyoxylsäureproduktion im EU-Emissionshandel	E	2013	7,5	8,0	8,4	8,7

⁷¹ Die Quantifizierung der Emissionswirkung des ETS für andere Industrieprozesse (z.B. in der Zement- oder Stahlindustrie) ist im Rahmen dieses Berichts nicht möglich.

Wirkung von Minderungsmaßnahmen im MMS	Instrumententyp	Wirktungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Summe der betrachteten Maßnahmen			9,8	10,4	10,7	11,3

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

3.1.9.2.2. Emissionsentwicklung

Tabelle 67 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 38 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Reduktion von rund 53 % gegenüber 1990. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 37 %.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass sich ab 2016 hauptsächlich die CO₂-Emissionen reduzieren. Zwischen 2016 und 2035 ergibt sich für CO₂ ein Rückgang um 13 %, zwischen 1990 und 2035 ergibt sich ein Rückgang von 37 %. Historisch ist der stärkste Rückgang der CO₂-Emissionen aus Industrieprozessen im Bereich der chemischen Industrie zu verzeichnen, in Zukunft werden die CO₂-Emissionen vor allem bei der Stahlerzeugung – bedingt durch ein Rückgang der Produktion – zurückgehen. Bei den Lachgas-Emissionen wurden in der Vergangenheit sehr starke Emissionsreduktionen erzielt, woran der Einbezug von bestimmten Lachgas-Emissionen in den EU-Emissionshandel eine bedeutende Rolle spielte. Da die Lachgasemissionen im Jahr 1990 sehr hoch lagen, beträgt die Emissionsreduktion bis 2035 95 %.

CO₂ ist das mit Abstand dominierende Gas im Jahr 2035 mit 96 % an den Gesamtemissionen des Sektors Industrieprozesse und Produktverwendung (ohne fluorierte Treibhausgase). Zwischen 2016 und 2035 bleiben die Emissionen aus N₂O und CH₄ auf niedrigem Niveau.

Tabelle 67: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (CO₂, CH₄ und N₂O) im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990–2016	60,0	52,8	46,7	44,9				
MMS					42,6	40,2	38,5	37,9
CH ₄ -Emissionen								
Entwicklung 1990–2016	0,4	0,6	0,5	0,5				
MMS					0,5	0,5	0,5	0,5
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990–2016	23,4	8,6	1,9	1,1				
MMS					1,1	1,1	1,2	1,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990–2016	83,8	62,1	49,1	46,5				
MMS					44,0	41,8	40,2	39,6
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-25,9	-41,4	-44,5				

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
MMS					-47,5	-50,1	-52,0	-52,7
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			-21,0	-25,1				
MMS					-29,1	-32,6	-35,3	-36,1

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkungen: nur prozessbedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne CO₂-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung

3.1.10. Industrieprozesse und Produktverwendung (Emissionen fluorierter Treibhausgase)

3.1.10.1. Methodik sowie Annahmen und Parameter

Die Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gase) setzen auf dem aktuellen deutschen Emissionsinventar aus dem Jahr 2018 auf, welches die Emissionen von 1990 bis 2016 umfasst. Die gemäß der 2006 IPCC Guidelines zu berücksichtigenden fluorierten Treibhausgase umfassen

- ▶ teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW, 19 verschiedenen Substanzen);
- ▶ perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW, 9 verschiedene Substanzen);
- ▶ Schwefelhexafluorid (SF₆) sowie
- ▶ Stickstofftrifluorid (NF₃).

Um vertrauliche Daten zu schützen, kann in den Inventaren gemäß den IPCC Guidelines auch eine „nicht spezifizierte Mischung von HFKW und FKW“ berichtet werden⁷². Für die Umrechnung der Emissionen der verschiedenen Substanzen in CO₂-Äquivalente werden Treibhausgaspotenziale (GWPs) aus dem 4. IPCC Assessment Report (AR4) verwendet.

Die Projektion für die *HFKW-Emissionen* beruht im Wesentlichen auf einer von Öko-Recherche und dem Öko-Institut durchgeführten Studie für das Umweltbundesamt (UBA 2015). In dieser Studie wurden für Deutschland ein Referenzszenario und ein Minimalszenario für die Emissionsentwicklung von HFKW von 2010 bis 2030 berechnet. Zusätzlich wurde für 2030 die Emissionsminderungswirkung der Mengenbeschränkungen („Phase-down“) für das Inverkehrbringen von HFKW auf den EU-Markt gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 und deren Auswirkungen für die deutschen HFKW-Emissionen untersucht (Phase-down-Szenario).

Zur Abschätzung der Wirkung des HFKW-Phase-down im MMS bis 2020 werden die Annahmen aus Öko-Institut (2014) übernommen. Zur Abschätzung der Emissionsentwicklung nach 2030 ist zu berücksichtigen, dass der HFKW-Phase-down laut Verordnung (EU) Nr. 517/2014 nur bis 2030 definiert ist. Andererseits beschlossen im Oktober 2016 in Kigali (Ruanda) die 197 Vertragsparteien des Montrealer Protokolls zum Schutz der Ozonschicht dessen Erweiterung um einen internationalen Phase-down für HFKW. Dies impliziert für die EU die Notwendigkeit, den EU-internen Phase-down für den Zeitraum nach 2030 anzupassen. Vor diesem Hintergrund wird im MMS für 2035 eine Extrapolation anhand des relativen Emissionstrends 2025–2030 im Referenzszenario aus UBA (2015) vorgenommen.

⁷² Im Fall des dieser Projektion zu Grunde liegenden deutschen Inventars von 2018 sind in dieser „nicht spezifizierten Mischung“ auch vertrauliche SF₆-Emissionen enthalten.

Für die Effekte im MMS der MAC-Richtlinie, welche das GWP von Kältemitteln in Klimaanlage neuer Pkw-Modelle beschränkt, wird auf eine entsprechende Abschätzung in UBA (2011) zurückgegriffen.

Im Detail werden die F-Gas-Emissionen der einzelnen Inventarkategorien wie folgt modelliert:

Die HFKW-Emissionen aus *Kälte- und Klimaanlage, Schaumherstellung, Feuerlöschanlagen, Aerosolen und medizinischen Dosiersprays* werden basierend auf den in UBA (2015) anwendungsspezifisch entwickelten Nachfrageszenarien und Vermeidungsoptionen modelliert. Dabei wird anwendungsspezifisch anhand der spezifischen Vermeidungskosten berücksichtigt, für welche Anlagenbetreiber angesichts der durch den EU-Phase-down induzierten Knappheit und Verteuerung des HFKW-Angebots ein Umstieg auf HFKW-freie Anlagen zu erwarten ist und in welchen Anwendungssektoren weiterhin eine Nachfrage nach HFKW – und damit zeitversetzt auch HFKW-Emissionen – zu erwarten sind. Außerdem wird gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 die Ausnahme vom HFKW-Phase-down für medizinische Dosiersprays ab 2018 sowie das Verbot für Feuerlöschanlagen mit HFKW-23 ab 2016 berücksichtigt. In *Kälte- und Klimaanlage* werden FKW nur in sehr geringem Umfang eingesetzt. Diese Emissionen werden konstant fortgeschrieben.

Für HFKW-Emissionen aus *ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle – die Haupteinsatzbereiche von ORC-Anlagen sind Geothermie-Anlagen und die Abwärmenutzung von (Heiz-)Kraftwerken und Biogas-Anlagen)* wird angesichts des angenommenen starken Zuwachses dieser Anlagen insbesondere im geothermischen Bereich bis 2020 ein starkes Wachstum an Emissionen angenommen, danach aber unter der Wirkung der HFKW-Angebotsverknappung unter dem EU-Phase-down ein vermehrter Umstieg auf HFKW-freie Alternativen und eine Stagnation der Emissionen bis 2030. FKW-Emissionen aus *ORC-Anlagen* werden wie in den letzten Inventarjahren nicht mehr angenommen.

HFKW-Emissionen aus der *Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen* liegen nicht im Anwendungsbereich des HFKW-Phase-down und werden wie auch entsprechende FKW- und SF₆-Emissionen konstant von 2014 fortgeschrieben.

Die FKW-Emissionen aus der *Produktion von Primäraluminium* werden proportional zur angenommenen Produktionsentwicklung modelliert. Dabei werden die spezifischen Emissionen von 2014 konstant fortgeschrieben. Für SF₆-Emissionen aus *Magnesiumgießereien* werden angesichts des ab 2018 geltenden spezifischen Verwendungsverbots von SF₆ gemäß EU-Verordnung (EU) Nr. 517/2014 ab 2020 keine Emissionen mehr angenommen. Ein zumindest teilweise zu erwartender Ersatz von SF₆ (GWP 22 800) durch HFKW-134a (GWP 1 430) ist in der HFKW-Projektion berücksichtigt: Für die HFKW-Emissionen aus *Magnesium-Gießereien*⁷³ und die Anwendung von SF₆ als Reinigungsgas in Aluminiumgießereien wird hier in Anlehnung an UBA (2011) eine jährliche Produktions- und Emissionssteigerung von 1 % angenommen.

Die SF₆-Emissionen aus *elektrischen Anlagen*, aus *Tracergasanwendungen*, aus der Produktion von *optischen Glasfasern* und aus der *Photovoltaikproduktion* werden konstant von 2014 fortgeschrieben. Ebenfalls werden die SF₆-, FKW-, NF₃- und HFKW-Emissionen aus der *Halbleiterproduktion*⁷⁴ konstant fortgeschrieben, wie auch die FKW- und NF₃-Emissionen aus der Photovoltaik-Industrie.

⁷³ Hier dient das Gas HFKW-134a als emissionsmindernder Ersatz für das ca. 15-fach stärker treibhausgaswirksame Gas SF₆, welches laut Verordnung (EU) Nr. 517/2014 ab 2018 für diesen Anwendungsbereich verboten ist.

⁷⁴ Der Einsatz von HFKW in der Halbleiterproduktion ist gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 vom HFKW-Phase-down ausgenommen.

Für Emission aus mit SF₆ befüllten *Autoreifen* wird angenommen, dass das seit 2007 geltende Verbot gemäß Verordnungen (EU) Nr. 842/2006 und Nr. 517/2014 vollständig umgesetzt wurde und deshalb ab 2015 keine Emissionen mehr entstehen. Eine Emissionsprojektion für SF₆ aus *Schallschutzfenstern* wurde aus UBA (2011) übernommen, der Effekt des in der EU-F-Gas-Verordnung erlassenen Verwendungsverbot ab 2008 / 2009 wird auf Basis derselben Studie berechnet.

Die im Inventar aus Vertraulichkeitsgründen für eine „nicht spezifizierte Mischung“ von F-Gasen berichteten Emissionen beinhalten neben HFKW-Lösemittlemissionen FKW- und SF₆-Emissionen aus Radaranlagen, Schweißen, medizinische und kosmetische Anwendungen sowie in der Vergangenheit Sportschuhen. Diese Emissionen wurden konstant fortgeschrieben.

3.1.10.2. Ergebnisse der Projektion

3.1.10.2.1. Bewertung der Einzelmaßnahmen

Die unter den oben dargestellten Annahmen errechneten Wirkungen der auf F-Gase orientierten Einzelmaßnahmen des MMS sind in Tabelle 68 zusammengefasst. Die erwarteten Wirkungen steigen in der Summe von 7 Mt CO₂e im Jahr 2020 auf etwa 16 Mt CO₂e pro Jahr für 2030 und 2035. Im Zeithorizont 2030/2035 tragen die EU-MAC-Richtlinie zu Pkw-Klimaanlagen, sowie der EU-HFKW-Phase-down und die EU-SF₆-Verbote unter der EU-F-Gase-Verordnung zu je etwa 4 bis 6 Mt CO₂e pro Jahr bei.

Tabelle 68: Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS

Wirkung von Minderungsmaßnahmen im MMS	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
			Mt CO ₂ e			
Beschränkung von HFKW in Pkw-Klimaanlagen gemäß EU MAC-Richtlinie 2006/40/EG	R	2007	3,2	4,7	6,1	6,5
HFKW-Phase-down nach EU F-Gas-Verordnung 517/2014 (inkl. Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung & NKI-Förderung)	E (inkl. R/F)	2010 / 2015	2,7	3,5	5,7	5,8
Berücksichtigung von FKW aus Primär-Aluminium im EU-Emissionshandel	E	2013	0,3	0,3	0,2	0,3
SF ₆ -Verbote gemäß EU F-Gas-Verordnung 517/2014 inkl. Vorgänger-Verordnung 842/2006)	R	2006 / 2018	0,6	2,1	3,7	3,9
Summe der betrachteten Maßnahmen			6,8	10,5	15,7	16,5

Quelle: Berechnung Öko-Institut

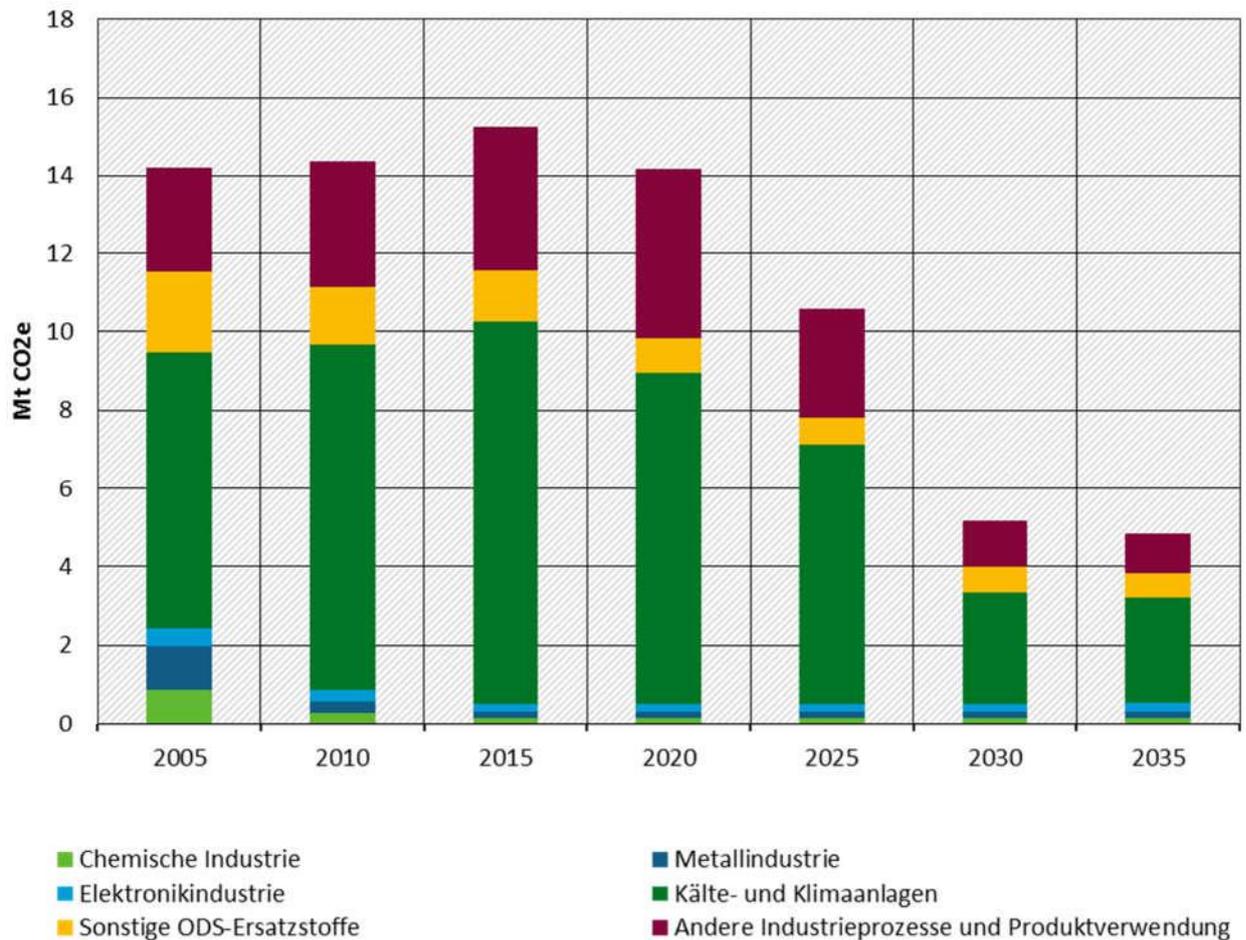
Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 1 im Anhang A1

3.1.10.2.2. Emissionsentwicklung

Mit dem beschriebenen methodischen Ansatz ergibt sich für das MMS die in Abbildung 26 und

Tabelle 69 zeigte Emissionsentwicklung für fluoridierte Treibhausgase (F-Gase).

Abbildung 26: Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im MMS nach Quellgruppen



Anmerkung: ODS: unter dem Montreal-Protokoll adressierte ozonabbauende Stoffe (ozone depleting substances). Einsatzfelder von HFKW als „sonstige“ (d.h. über Kälte- und Klimaanlage hinaus) ODS-Ersatzstoffe sind vor allem Schaumproduktion, Feuerlöschanlagen, medizinische Inhalationssprays und andere Aerosole.

Emissionen aus „anderen“ Industrieprozessen und Produktanwendung sind bis 2025 dominiert von SF₆-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern

Quelle: 2005 - 2015: (UBA 2018b); 2020 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

Die Summe der Emissionen der fluoridierten Treibhausgase (F-Gase) ist von 2005 bis 2016 auf 8 % über das Niveau von 2005 angestiegen. Ursache waren stetig steigende HFKW-Emissionen von Kälte- und Klimaanlage sowie SF₆-Emissionen aus alten Schallschutzfenstern bei sinkenden SF₆- und FKW-Emissionen aus der Produktion von fluoridierten Chemikalien und der Metallindustrie (Magnesium und Aluminium) sowie sinkenden HFKW-Emissionen aus der Schaumproduktion. Nach 2016 fallen die F-Gas-Emissionen im MMS bis 2030 deutlich auf 36 % des Niveaus von 2005, bis 2035 wird eine weitere leichte Emissionsreduktion bis auf 34 % des Niveaus von 2005 erwartet. Ursachen dieser Emissionsreduktion sind vor allem angesichts MAC-Richtlinie und EU-Phase-down stark sinkenden HFKW-Emissionen aus Kälte- und Klimaanlage sowie das Auslaufen der SF₆-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern, deren Neuinstallation schon seit 2008 verboten ist.

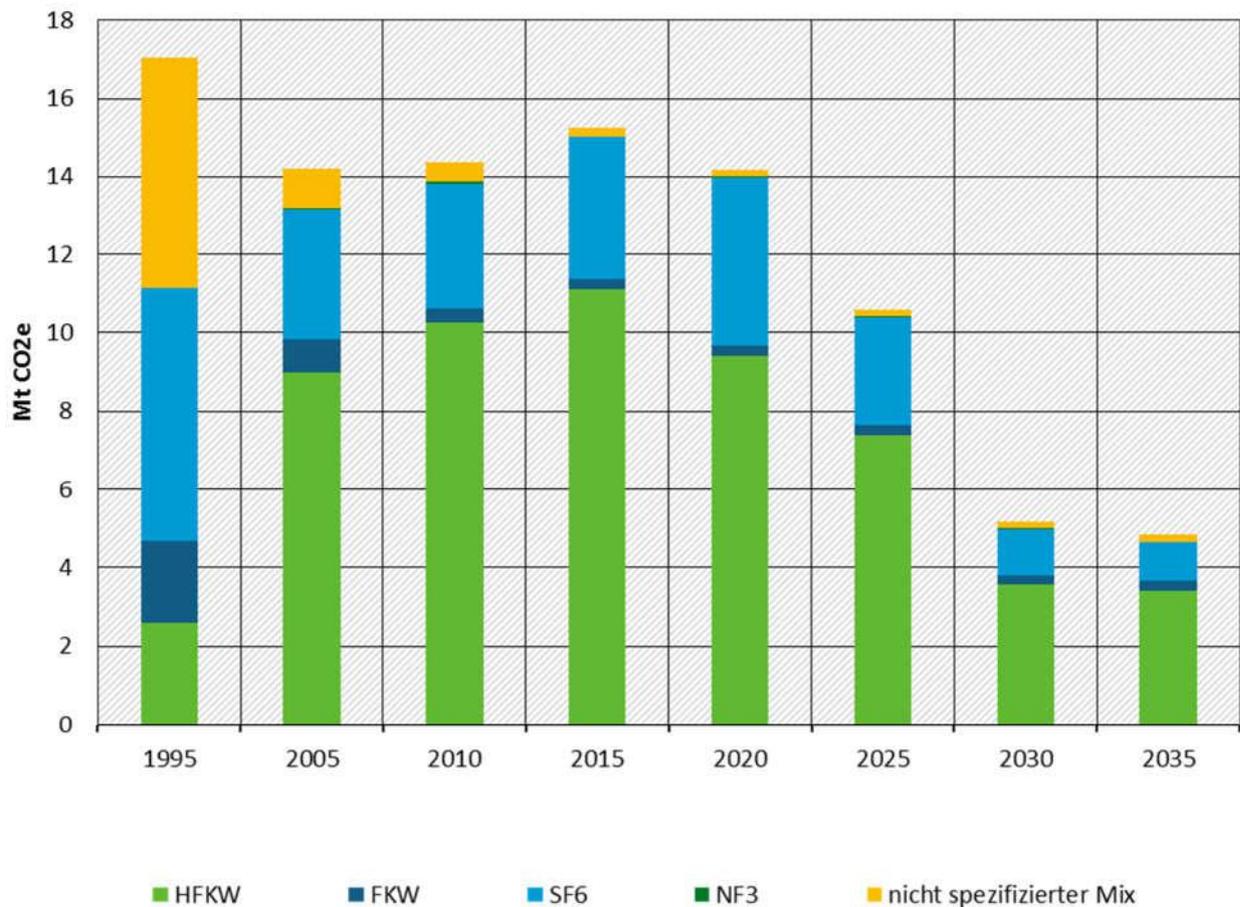
Tabelle 69: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (fluorierte Treibhausgase) im MMS, 2005-2035 nach Quellgruppen

Quellgruppe und Gase		2005	2010	2015	2016	2020	2025	2030	2035
		Mt CO ₂ e							
Chemische Industrie	HFKW, FKW und SF ₆ aus fluorchemischer Produktion	0,9	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Metallindustrie	FKW aus Primär-Aluminium-Produktion, Einsatz von HFKW und SF ₆ in Aluminium- und Magnesium-Gießereien	1,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Elektronikindustrie	FKW, SF ₆ , NF ₃ und HFKW aus Halbleiter- und Photovoltaikproduktion	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kälte- und Klimaanlageanlagen	HFKW und geringe Mengen FKW aus stationären und mobilen Kälte- und Klimaanlageanlagen, inklusive Wärmepumpen	7,1	8,8	9,8	9,6	8,4	6,6	2,8	2,7
Sonstige ODS-Ersatzstoffe	HFKW aus Schaumherstellung, Feuerlöschern, Aerosolen und medizinischen Dosiersprays	2,0	1,5	1,3	1,3	0,9	0,7	0,6	0,6
Andere Industrieprozesse und Produktverwendung	SF ₆ , HFKW und FKW aus Schallschutzfenstern, Teilchenbeschleunigern, Produktion optischer Glasfasern, Spürgas, Reifenbefüllung, Radaranlagen, ORC-Anlagen, Schweißen, Sportschuhen, Lösemittelanwendungen und sonstigen medizinischen und kosmetischen Anwendungen	2,7	3,2	3,7	3,9	4,4	2,8	1,2	1,0
Summe fluorierte Treibhausgase		14,2	14,4	15,3	15,3	14,2	10,6	5,2	4,8

Quelle: 2005-2016: (UBA 2018b); 2020-2035: Berechnungen des Öko-Instituts

Eine Darstellung der Emissionsentwicklung im MMS für fluorierte Treibhausgase (F-Gase differenziert nach Gasgruppen) wird in Abbildung 27 und Tabelle 70 gezeigt.

Abbildung 27: Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im MMS nach Gasgruppen



Quelle: 1995 - 2015: (UBA 2018b); 2020 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 4 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Reduktion von 72 % gegenüber 1995, dem Basisjahr für F-Gas-Emissionen unter dem Kyoto-Protokoll bzw. 66 % gegenüber 2005. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen im MMS bei rund 14 Mt CO₂e, was einem Rückgang von 17 % im Vergleich zum Jahr 1995 entspricht. Durch die verabschiedeten Maßnahmen sinken die Emissionen im MMS in den Fünfjahreszeiträumen zwischen 2020 und 2025 um 25 %, zwischen 2025 und 2030 um 51 % und zwischen 2030 und 2035 um 7 %.

Betrachtet man die einzelnen Gasgruppen, ist zu erkennen, dass sich die Emissionen in 2035 nur für FKW, SF₆ und den nicht spezifizierten Mix niedriger als 1995 liegen. Die in 1995 besonders relevanten Emissionen des ‚nicht spezifizierten Mixes‘ sind allerdings laut (UBA 2018c) im wesentlichen HFKW-Emissionen aus der fluorchemischen Industrie, so dass inklusive der HFKW im vertraulichen ‚nicht spezifizierten Mix‘ die HFKW-Emissionen 2035 auch unterhalb von 1995 liegen.

Die Zeit zwischen 1995 und 2015 war von einer starken Zunahme der HFKW-Verwendung und HFKW-Emissionen bei gleichzeitigem Rückgang der Emissionen and FKW und SF₆ geprägt. Bis 2035 sind vor allem für HFKW und SF₆ deutliche Emissionsreduktionen zu erwarten. NF₃-Emissionen spielen im Vergleich zu den anderen fluorierten Treibhausgasen quantitativ keine Rolle. Die HFKW-Emissionen machen seit 2005 den Großteil an den Gesamtemissionen aus, 2016 lag der Anteil bei 72 %, im Jahr 2035 liegt ihr Anteil im MMS bei 71 %.

Haupttreiber für die zukünftige Entwicklung der F-Gas-Emissionen in Deutschland sind zum einen die EU-weite Mengenbeschränkung im Einsatz von HFKW und zum anderen die fortlaufende Wirkung des ebenfalls EU-weiten Verbotes, SF₆ in Schallschutzfenstern einzusetzen.

Tabelle 70: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (fluorierte Treibhausgase) aus Industrieprozessen und Produktverwendung im MMS zwischen 1990 und 2035 nach Gasgruppen

	1990	1995	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e								
HFKW-Emissionen	0,1	2,6	9,0	10,3	11,0	9,4	7,4	3,6	3,4
FKW-Emissionen	3,1	2,1	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
SF ₆ -Emissionen	4,4	6,5	3,3	3,2	3,9	4,3	2,7	1,2	1,0
NF ₃ -Emissionen	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nicht spezifizierter Mix	5,8	5,9	1,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Summe F-Gase	13,4	17,1	14,2	14,4	15,3	14,2	10,6	5,2	4,8
	Veränderung ab 1995 ^a in %								
Summe F-Gase			-16,7	-15,8	-10,3	-16,8	-37,9	-69,9	-71,6
	Veränderung ab 2005 in %								
Summe F-Gase				1,1	7,7	-0,2	-25,4	-63,5	-65,9

Anmerkung: ^a Für die F-Gase HFKW, FKW, SF₆, NF₃ sowie nicht spezifizierter Mix ist 1995 das Basisjahr im Rahmen der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls.

Quelle: (UBA 2018b), Modellrechnungen Öko-Institut

3.1.11. Landwirtschaft

3.1.11.1. Methodik

Die Projektion für die Umfänge der Flächennutzung, Tierhaltung und der Erträge erfolgt auf Basis der Thünen-Baselineprojektion (Thünen Institut 2018). Für die Erstellung der Thünen-Baseline werden eine Reihe von agrarökonomischen Modellen im Verbund eingesetzt: das allgemeine Gleichgewichtsmodell MAGNET, das partielle Gleichgewichtsmodell AGMEMOD, das Modellsystem CAPRI, das regionalisierte Programmierungsmodell RAUMIS, das Betriebsgruppenmodell FARMIS sowie das einzelbetriebliche Modell TIPI-CAL. Zur Abbildung der Gasemissionen wird das landwirtschaftliche Emissionsmodell GAS-EM eingesetzt.

Die Thünen-Baseline stellt keine Prognose der Zukunft dar, sondern beschreibt die erwarteten Entwicklungen unter bestimmten Annahmen zur Entwicklung exogener Faktoren und Politiken. Die agrarökonomischen Projektionen beruhen auf den im Juli 2017 vorliegenden Daten und Informationen zur weltwirtschaftlichen Entwicklung. Die Thünen-Baseline geht von einer Beibehaltung der derzeitigen Agrarpolitik bzw. der Umsetzung bereits beschlossener Politikänderungen aus. Für die Thünen-Baseline 2017 – 2027 bedeutet dies im Wesentlichen, dass das mit der EU-Verordnung Nr. 1307/2013 beschlossene Direktzahlungssystem sowie dessen nationale Umsetzung bis zum Jahr 2027 fortgeführt wird. Weiterhin beinhaltet die Baseline u. a. das Auslaufen der Milch- und Zuckerquotenregelungen. Die Projektionen umfassen Ergebnisse für Agrarhandel, Preise, Produktion, Einkommen und Umweltwirkungen. Methodische Grundlagen und Annahmen für die Baseline sind in (Thünen Institut 2018) und für die Emissionsberechnungen durch GAS-EM in (Haenel et al. 2018) beschrieben.

Das Zieljahr der Baselineprojektion ist das Jahr 2027. Die Aktivitätsumfänge werden für die Jahre 2030 und 2035 statisch fortgeschrieben. Für die im Szenario MMS abgebildeten Maßnahmen werden auf Grundlage der Aktivitätsumfänge in der Thünen-Baseline zusätzliche Annahmen zur Veränderung der Aktivitätsdaten getroffen, die in das Emissionsmodell GAS-EM übernommen werden. Das OMS bildet die Situation ohne diese Maßnahmen ab. Auf diesen Grundlagen wurden Wirkungen der Maßnahmen abgeschätzt. Die Angaben der historischen Aktivitätsdaten und Emissionen für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2016 stammen aus der Submission 2018, die in der hier dargestellten Differenzierung in (Haenel et al. 2018) dokumentiert sind.

3.1.11.2. Ergebnisse der Projektion

Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre 2020, 2025, 2030 und 2035 abgeleitet. Tabelle 71 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Aktivitätsdaten zum Tierbestand für die Jahre 1990-2035.

Aufgrund der Aufhebung der Milchmengenbegrenzung wachsen die Bestände der Milchkühe in geringem Maße, die Bestände der übrigen Rinder gehen leicht zurück. Der Bestand der Schweine nimmt etwas ab, und die Geflügelbestände verändern sich gegenüber 2016 nicht wesentlich.

Der Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen nimmt nach dem Jahr 2016 aufgrund der Änderungen der EEG-Förderung für Biogasanlagen auf Energiepflanzen-Basis deutlich ab (Tabelle 72).

Tabelle 71: Entwicklung der Tierbestände 1990-2035, Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 belegte Stallplätze

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 Stallplätze							
Milchkühe	6.355	4.236	4.183	4.218	4.273	4.256	4.240	4.240
andere Rinder	13.133	8.800	8.629	8.249	8.238	8.077	7.917	7.917
Schweine	26.502	22.743	22.244	22.761	22.764	22.204	21.643	21.643
Geflügel	113.879	120.560	128.900	173.574	174.995	174.537	174.079	174.079
Pferde	499	508	462	442	455	458	461	461
Schafe und Ziegen	3.356	2.813	2.395	1.990	1.952	1.886	1.820	1.820

Anmerkung: Die Zählung von (belegten) Stallplätzen ist im Falle von Tierkategorien mit kurzer Haltungs- bzw. Mastdauer relevant (z. B. Mastschweine, Mastgeflügel). Die im Jahr erzeugte Anzahl liegt dann höher als die Anzahl an Stallplätzen.

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 72: Entwicklung des Einsatzes von Energiepflanzen in Biogasanlagen 1990-2035 in kt Trockenmasse

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	kt Trockenmasse							
Entwicklung der Trockenmasse der zu vergärenden Energiepflanzen	3,4	3.175	11.461	20.772	19.279	18.360	17.441	17.441

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 73 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Methanemissionen für die Jahre 1990-2035. Die Emissionen sind zwischen 1990 und 2005 um 24 % gesunken und bleiben ab dem Jahr 2005 nahezu stabil. Während die Emissionen aus der tierischen Verdauung (Fermentation) nach 2010 nahezu unverändert bleiben, sinken die Emissionen aus der Düngewirtschaft aufgrund eines erhöhten Gülleanteils, der in Biogasanlagen genutzt wird. Hinzu kommen die bis

2016 ansteigenden Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen, die ab 2020 langsam zurückgehen.

Tabelle 73: Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CH₄

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Fermentation	1.386,6	997,3	986,1	978,2	990,9	989,1	987,0	987,0
Düngerwirtschaft	322,9	275,1	253,9	245,7	248,1	220,8	219,1	219,1
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	9,8	32,4	54,4	50,5	48,1	45,7	45,7
Gesamte Methan-Emissionen	1.709,5	1.282,1	1.272,5	1.278,3	1.289,5	1.258,0	1.251,8	1.251,8
ggü. 1990 in %		-25,0	-25,6	-25,2	-24,6	-26,4	-26,8	-26,8
ggü. 2005 in %			-0,8	-0,3	0,6	-1,9	-2,4	-2,4

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 74: Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N/Jahr

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Mineraldüngereinsatz	2.164	1.778	1.569	1.711	1.331	1.331	1.331	1.331
Wirtschaftsdüngerausbringung	1.152	943	945	986	1.001	1.016	1.021	1.021
Ernterückstände	484	586	571	588	662	676	690	690

Anmerkung: Wirtschaftsdünger aus tierischen Ausscheidungen ohne Gärreste aus pflanzlichen Gärsubstraten.

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Seit 1990 hat der N-Mineraldüngereinsatz trotz steigender Erträge und zurückgehender Wirtschaftsdüngermenge um ca. 20 % abgenommen. Dabei ist der N-Mineraldüngereinsatz erheblichen jährlichen Schwankungen unterworfen. Neben dem Rückgang der Landwirtschaftsfläche um 7,5 % zwischen 1990 und 2016 ist dies angesichts steigender pflanzenbaulicher Erträge auf einen gesteigerten N-Ausnutzungsgrad zurückzuführen. Daneben spielen die Preisentwicklung für Mineraldünger in Relation zu den Agrarpreisen, Extensivierungsmaßnahmen und die Ausweitung des ökologischen Landbaus eine Rolle. Die N-Einsatzmenge liegt den Annahmen zufolge ab dem Jahr 2020 deutlich unter dem Niveau von 2016. Die Ausbringung von Stickstoff über Wirtschaftsdünger steigt leicht an. Der Stickstoffeintrag aus Ernteresten in die landwirtschaftlichen Böden liegt nach dem Jahr 2020 deutlich über dem Niveau von 2005 und 2010, was auf steigende pflanzliche Erträge und Nebenproduktmengen zurückzuführen ist.

Tabelle 75: Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N₂O

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Düngerwirtschaft	17,1	13,4	13,2	12,7	12,9	12,0	11,9	11,9
Landwirtschaftliche Böden	95,3	83,2	81,7	88,7	81,7	81,2	80,0	80,0
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	0,3	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
Gesamte Lachgasemissionen	112,3	96,9	95,7	102,3	95,5	94,0	92,7	92,7

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
ggü. 1990 in %		-13,7	-14,8	-8,9	-15,0	-16,4	-17,5	-17,5
ggü. 2005 in %			-1,3	5,6	-1,5	-3,0	-4,3	-4,3

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Die gesamten N₂O-Emissionen gehen den Annahmen zufolge von 2020 bis 2035 gegenüber dem Jahr 1990 um zwischen 15 und 17,5 % zurück (siehe Tabelle 75). Gegenüber dem Jahr 2005 sinken die Emissionen in diesem Zeitraum um 1,5 bis 4,3 %. Der geringere Rückgang der Lachgasemissionen im Vergleich zu 2005 ist vor allem auf den Anstieg der Wirtschaftsdüngermengen und der N-Menge in Ernteresten zurückzuführen.

Tabelle 76: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Kalkung	480	598	587	820	669	669	669	669
Harnstoffanwendung	2.704	1.727	1.738	1.952	1.892	1.892	1.892	1.892
Gesamte CO₂-Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.773	2.561	2.561	2.561	2.561
ggü. 1990 in %		-27,0	-27,0	-12,9	-19,6	-19,6	-19,6	-19,6
ggü. 2005 in %			0,0	19,2	10,1	10,1	10,1	10,1

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Die in der Landwirtschaft ausgebrachten Harnstoff- und Kalkmengen liegen den Annahmen zufolge deutlich über dem Niveau von 2005. Eine solche Entwicklung war bereits im Jahr 2016 zu beobachten. Die CO₂-Emissionen aus der Harnstoffanwendung und Kalkung sinken gegenüber 1990 um bis knapp 20 %, gegenüber 2005 ergibt sich ein Anstieg um etwa 10 % (s. Tabelle 76).

Tabelle 77: Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂-Äquivalenten

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	kt CO ₂ e							
CH ₄ -Emissionen	42.737	32.053	31.811	31.959	32.237	31.450	31.295	31.295
N ₂ O-Emissionen	33.477	28.876	28.510	30.497	28.450	27.999	27.634	27.634
CO ₂ -Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.773	2.561	2.561	2.561	2.561
Gesamtemissionen	79.398	63.254	62.647	65.228	63.247	62.011	61.489	61.489
ggü. 1990 in %		-20,3	-21,1	-17,8	-20,3	-21,9	-22,6	-22,6
ggü. 2005 in %			-1,0	3,1	0,0	-2,0	-2,8	-2,8

Quelle: (Haenel et al. 2018), Berechnungen des Thünen-Instituts

Die Gesamtemissionen der Landwirtschaft sinken gegenüber 1990 bis zum Jahr 2035 um 22,6 %. Im Vergleich zu 2005 ergibt sich eine leichte Reduktion um 2,8 %.

3.1.11.2.1. Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Im MMS wird für die Landwirtschaft mit einer Zunahme der Güllevergärung in Biogasanlagen, einem Ausbau des Ökolandbaus, einer Verminderung des Einsatzes chemisch-synthetischer N-Dünger gerechnet, verbunden mit einer Erhöhung der N-Ausnutzung und einem Rückgang der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen. Zwischen den Maßnahmen Ausbau des Ökolandbaus und Verminderung des Einsatzes von N-Dünger kommt es zu Überschneidungen. Die Beiträge des Ausbaus des Ökolandbaus auf die Verminderung des Einsatzes chemisch-synthetischer N-Dünger sind in der Maßnahme „Erhöhung der N-Ausnutzung und Senkung der N-Bilanzüberschüsse“ enthalten. Hinzu kommt die Maßnahme Moorbodenschutz im Bereich

LULUCF, die zur Senkung der Lachgasemissionen aus Torfmineralisierung beiträgt. Diese Emissionen werden nicht unter der Emissionskategorie LULUCF, sondern unter „Landwirtschaft“ berichtet. Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des MMS erfolgt gegenüber einem Ohne-Maßnahmen-Szenarios (OMS). Im Rahmen des OMS wird unterstellt, dass die betroffene Einzelmaßnahme nicht existiert und somit keine Wirkung entfalten kann. Die folgende Tabelle 78 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 78: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (<i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i>)
„Mehr Gülle in Biogasanlagen“	Statt eines Anstiegs der Wirtschaftsdünger-Nutzung (Gülle und Mist aus der Tierhaltung) in Biogasanlagen stagniert diese Nutzung auf dem Niveau von 2016.
Ausbau Ökolandbau	Statt eines weiteren Aufbaus des Flächenanteils des ökologischen Landbaus stagniert der Flächenanteil auf dem Niveau von 2016.
Erhöhung der N-Ausnutzung und Senkung der N-Bilanzüberschüsse	Es kommt zu keiner weiteren Verbesserung der N-Ausnutzung und Senkung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse. Der Einsatz chemisch-synthetischer N-Dünger in der Landwirtschaft bleibt daher mit einer Größenordnung von 1.760 kt N auf dem Niveau von 2016 bestehen.
Umsetzung NEC-Richtlinie	Es kommt gegenüber 2016 zu keiner weiteren Senkung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft durch verbesserte Technologie und Management.
Moorbodenschutz (Maßnahmen im LULUCF-Bereich)	Es werden nach 2016 keine weiteren Projekte zum Moorbodenschutz umgesetzt.

Tabelle 79 zeigt die die möglichen direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren können.

Tabelle 79: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO _{2e}			
Mehr Gülle in Biogasanlagen	Fiskalisches Instrument	0	816	805	805
Ausbau Ökolandbau	Fiskalisches Instrument	118	267	415	415
N-Ausnutzung/ Senkung N-Bilanz	Ordnungsrecht	2.713	2.616	2.519	2.519
Umsetzung NEC-Richtlinie	Fördermaßnahmen bzw. Ordnungsrecht	225	446*	770*	770*
Moorbodenschutz	-	0	60	121	121
Summe der Einzelmaßnahmen		3.056	4.205	4.630	4.630

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

*bei Erreichen der in der NEC-Richtlinie festgelegten Minderungsziele

3.1.11.2.2. Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS

Bis zum Jahr 2016 wurden die Emissionen der Landwirtschaft um knapp 18 % gegenüber 1990 reduziert, waren allerdings 3 % höher als 2005. Bis zum Jahr 2020 sinken die Emissionen im MMS um 20 % gegenüber 1990. Bis zum Jahr 2035 werden Emissionsminderungen von knapp 23 % gegenüber 1990 erreicht. Die Emissionen sind 2035 im MMS knapp 3 % niedriger als im Jahr 2005. Die Emissionsänderungen nach 2016 wirken sich recht gleichmäßig auf alle Treibhausgase aus, sodass es nur zu geringen Verschiebungen in den Anteilen von CO₂, CH₄ und N₂O an den Emissionen der Landwirtschaft kommt.

Wichtige Treiber, die zu einer Senkung der landwirtschaftlichen Emissionen beitragen, sind der Rückgang der Einsatzmenge an chemisch-synthetischen N-Düngern, der Rückgang der pflanzlichen Gärsubstratmengen für die Biogasproduktion und der leichte Rückgang der sonstigen Rinder- und der Schweinebestände. Dem stehen u. a. eine Zunahme der Milchproduktion und der N-Mengen in Ernteresten gegenüber, von denen die Emissionen steigernde Wirkungen ausgehen.

Tabelle 80: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	3,2	2,3	2,3	2,8				
MMS					2,6	2,6	2,6	2,6
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	42,7	32,1	31,8	32,0				
MMS					32,2	31,4	31,3	31,3
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	33,5	28,9	28,5	30,5				
MMS					28,4	28,0	27,6	27,6
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	79,4	63,3	62,6	65,2				
MMS					63,2	62,0	61,5	61,5
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-20,3	-21,1	-17,8				
MMS					-20,3	-21,9	-22,6	-22,6
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			-1,0	3,1				
MMS					0,0	-2,0	-2,8	-2,8

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Thünen-Institut und Öko-Institut

3.1.12. LULUCF

3.1.12.1. Methodik, Annahmen und Parameter

Für die Aktivitätsdaten (im Wesentlichen Landflächen, differenziert nach Nutzung) in der Berichterstattungskategorie LULUCF nach 2016 werden die Veränderungen der Submission 2018 fortgeschrieben. Das heißt, dass die Flächengrößen für die Landnutzungsänderungen von 2016 auch in derselben Größenordnung für die Folgejahre angenommen werden. Ausnahmen sind die festgelegten Maßnahmen, die im Kapitel 2.7.9 beschrieben sind. Daraus ergeben sich entsprechend die Flächen für die Verbleibkategorien (Remaining).

Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (Modell WEHAM) beruht auf den Daten der BWI 2002, 2008 und 2012.

In der Landnutzungskategorie Wald werden die Emissionsfaktoren für den organischen und mineralischen Boden sowie der Streu über das Jahr 2016 hinaus linear fortgeschrieben. Für den

Pool Totholz wird ab dem Jahr 2017 ein mittlerer Emissionsfaktor der Jahre 2006 bis 2015 angewendet. Durch die periodische Ermittlung der Totholzvorratsveränderung durch die Bundeswaldinventuren spiegelt der Mittelwert von 10 Jahren eine realistische Entwicklung wider. Mit der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) wird ab 2017 die Entwicklung der Biomassevorräte im Wald ermittelt. WEHAM schätzt die Entwicklung des Waldes und das Rohholzpotenzial für die nächsten vier Jahrzehnte als ein Szenario gemäß den Erfahrungen der letzten Jahre und Erwartungen an die kommenden Jahre. Weitere Informationen zu WEHAM finden sich unter Thünen (2012) und (BMEL 2016).

Für die anderen Landnutzungskategorien Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen werden die Zeitreihen der Emissionsfaktoren ab dem Jahr 2017 linear fortgeschrieben. Dies erfolgt für die Pools organische und mineralische Böden, Biomasse und Tote organische Substanz.

Die Angaben der historischen Emissionen/Einbindungen für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2016 beziehen sich auf die Submission 2018.

3.1.12.2. Ergebnisse der Projektion

Im MMS reduziert sich die Senkenwirkung der Wälder durch veränderte Holznutzung und Verschiebung des Altersklassenverhältnisses von ursprünglich ca. 75 Mt CO₂e. in 1990 auf ein Minimum von ca. 11 Mt CO₂e in 2020 und steigt anschließend wieder etwas an. Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre ab 2016 abgeleitet. Die Tabelle 81 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Aktivitätsdaten und Tabelle 82 die Treibhausgasemissionen des LULUCF-Sektors für die Jahre 1990-2035.

Der LULUCF-Bereich entwickelt sich im Zeitraum zwischen 2016 und 2020 von einer Senke in eine Quelle für Treibhausgase. Die projizierte Vorratsentwicklung im Wald mit dem Modell WEHAM führt zu einer Abnahme der Senkenleistung des Waldes, die die Emissionen der anderen Landnutzungen nicht mehr kompensieren kann. Für das Modell WEHAM werden die Daten aus dem WEHAM-Basisszenario verwendet, die die momentan üblichen waldbaulichen Zielsetzungen aufgrund der Erfahrung der letzten Jahre und den Erwartungen an die kommenden Jahre abbilden. Ebenfalls wird in WEHAM die sich verändernde Altersstruktur des Waldes berücksichtigt. Diese führt zu einer Abnahme der Zuwächse im Wald und damit, im Zusammenhang mit der Holznutzung, zu einer Verringerung der Senke. Die Emissionen aus Ackerland gehen aufgrund der Annahme, dass es ab dem Jahr 2016 zu keinen relevanten Umwandlungen von Grünland in Ackerland mehr kommt, bis 2035 deutlich zurück. Die durch die modellierte Vorratsveränderung im Wald veränderten THG-Emissionen übertreffen alle maßnahmenbedingten Änderungen in den anderen Sektoren im MMS (Tabelle 82). Die Ergebnisse des MMS unterteilt nach den einzelnen Treibhausgasen sind in Tabelle 83 bis Tabelle 85 dargestellt.

Tabelle 81: Entwicklung der Aktivitätsdaten [1000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

	MMS							
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	[1000 ha]							
Wald	10.929	11.109	11.131	11.168	11.195	11.235	11.282	11.332
Ackerland	13.633	13.275	13.431	13.490	13.303	13.097	12.929	12.790
Grünland	7.345	7.149	6.785	6.439	6.457	6.477	6.517	6.585
Feuchtgebiete	710	712	724	731	735	768	801	807
Siedlungen	3.081	3.504	3.686	3.932	4.070	4.183	4.233	4.248

MMS								
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Sonstiges	82	30	22	20	19	19	18	18
Σ LULUCF*	35.780							

* Anmerkung: Gesamte Landfläche in Deutschland.

Quelle: (UBA 2018c), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 82: Entwicklung der Treibhausgasemissionen [kt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

MMS								
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	[kt CO ₂ e]							
Wald	-75.256	-40.693	-57.983	-57.667	-11.652	-33.525	-22.002	-21.382
Ackerland	12.945	12.450	14.323	15.182	14.219	13.487	11.818	10.618
Grünland	26.225	24.869	23.879	22.612	22.648	22.146	21.535	21.427
Feuchtgebiete	4.127	4.234	4.074	4.086	4.151	4.501	5.059	5.351
Siedlungen	1.978	2.124	3.403	3.636	3.842	3.869	3.656	3.428
Holzprodukte	-1.330	-15.044	-4.066	-2.328	-3.680	782	-1.076	-659
Σ LULUCF	-31.312	-12.060	-16.369	-14.479	29.528	11.261	18.990	18.784

Quelle: (UBA 2018c), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 83: Entwicklung der CO₂-Emissionen [kt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

MMS: CO ₂ -Emissionen								
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	[kt CO ₂ e]							
Wald	-75.542,1	-40.909,6	-58.175,5	-57.839,6	-11.817,9	-33.693,6	-22.173,5	-21.551,0
Ackerland	12.436,4	11.982,8	13.768,5	14.576,6	13.680,5	12.986,4	11.460,7	10.376,8
Grünland	25.543,6	24.202,1	23.244,9	21.997,0	22.033,9	21.544,4	20.944,3	20.836,9
Feuchtgebiete	4.064,0	4.172,5	4.009,8	4.019,9	4.083,8	4.357,5	4.840,9	5.131,7
Siedlungen	1.810,7	1.921,9	3.173,1	3.370,3	3.557,6	3.583,6	3.390,0	3.186,5
Holzprodukte	-1.330,4	-15.043,6	-4.066,0	-2.328,4	-3.680,5	782,0	-1.075,5	-658,7
Σ LULUCF	-33.017,8	-13.673,9	-18.045,3	-16.204,1	27.857,5	9.560,3	17.386,8	17.322,2

Quelle: (UBA 2018c), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 84: Entwicklung der CH₄-Emissionen [kt CH₄] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

MMS: CH ₄ -Emissionen								
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	[kt CH ₄]							
Wald	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
Ackerland	7,8	8,2	9,4	9,9	9,7	9,3	8,9	8,8
Grünland	23,8	22,8	21,4	20,4	20,2	19,6	19,1	18,9

MMS: CH ₄ -Emissionen								
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Feuchtgebiete	1,7	1,6	1,7	1,7	1,8	4,6	7,4	7,5
Siedlungen	1,0	1,3	1,5	1,8	1,9	2,1	2,1	2,2
Holzprodukte								
Σ LULUCF	35,0	34,6	34,7	34,6	34,5	36,5	38,5	38,3

Quelle: (UBA 2018c), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 85: Entwicklung der N₂O-Emissionen [kt N₂O] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

MMS: N ₂ O-Emissionen								
	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	[kt N ₂ O]							
Wald	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ackerland	1,0	0,9	1,1	1,2	1,0	0,9	0,4	0,1
Grünland	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Feuchtgebiete	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Siedlungen	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6
Holzprodukte								
Σ LULUCF	2,8	2,5	2,7	2,9	2,7	2,6	2,2	1,7

Quelle: (UBA 2018c), Berechnungen des Thünen-Instituts

3.1.12.2.1. Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Im MMS wird für den LULUCF-Sektor mit einer verringerten Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr gerechnet und ein dauerhafter Erhalt des Grünlandes angenommen. Weiterhin wird die Wirkung von Projekten zum Moorbodenschutz einbezogen. Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des MMS erfolgt gegenüber einem Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS). Im Rahmen des OMS wird unterstellt, dass die betroffene Einzelmaßnahme nicht existiert und somit keine Wirkung entfalten kann. Die folgende Tabelle 86 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 86: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (<i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i>)
Verringerte Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr	Im Vergleichsszenario ohne Begrenzung der Nutzung neuer Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke würden weiter wie aktuell stattfindend ca. 130 Hektar pro Tag aus anderen Flächennutzungen in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt,
Grünlanderhaltung	Statt einer Erhaltung des Dauergrünlands auf dem Niveau von 2016 geht die Dauergrünlandfläche entsprechend des Trends von 2013-2016 weiter kontinuierlich zurück.
Moorbodenschutz	Es werden nach 2016 keine weiteren Projekte zum Moorbodenschutz umgesetzt.

Tabelle 87 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 87: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	2020	2025	2030	2035
	kt CO ₂ e			
Verringerte Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr	-97,4	-331,4	-648,8	-980,5
Grünlanderhaltung	-790,2	-1.673,5	-2.556,8	-3.440,0
Moorbodenschutz	0,0	-471,4	-732,0	-490,9
Summe der Einzelmaßnahmen	-887,7	-2.476,3	-3.937,5	-4.911,4

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

3.1.12.2.2. Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen

Aufgrund der Annahmen zur Veränderung der Kohlenstoffbindung im Wald und der weiterhin hohen Emissionen aus anderen Landnutzungskategorien wird der LULUCF-Bereich ab 2020 insgesamt zur Emissionsquelle (Tabelle 82 und Tabelle 88). Prozentuale Betrachtungen den Nullpunkt überschreitender absoluter Emissionen (Emission negativ = Senke; Emission positiv = Emission) sind nicht zu interpretieren. Der Übergang von der Senken- in die Quellfunktion kann nur anhand der absoluten Emissionen festgestellt werden. Auf die Darstellung prozentualer Änderungen wird in Tabelle 88 deshalb verzichtet.

Tabelle 88: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des LULUCF-Sektors zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	-33,0	-13,7	-18,0	-16,2				
MMS					27,9	9,6	17,4	17,3
CH ₄ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,9	0,9	0,9	0,9				
MMS					0,9	0,9	1,0	1,0
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,8	0,7	0,8	0,9				
MMS					0,8	0,8	0,6	0,5
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5				
MMS					29,5	11,3	19,0	18,8

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen des Thünen-Instituts

Anmerkung: In der Abgrenzung des NIR: nur nicht-energetische Emissionen

3.1.13. Abfallwirtschaft

3.1.13.1. Methodik

Basierend auf dem vom IPCC entwickelten und vom Öko-Institut erweiterten Multi-Phasen-Abfallmodell (Emissionen der Deponierung, Quellgruppe 5.A) werden die statistischen Daten der Emissionsberichterstattung 2018 als Rahmendaten eingesetzt (UBA 2018a). Die Methanemissionen aus Deponien in Deutschland resultieren aus:

- ▶ den in den Deponien noch verbliebenen Resten abbaubarer Bestandteile von unvorbehandelten Abfällen, die vor 2005 und ausnahmsweise z.T. auch nach 2005 deponiert wurden sowie
- ▶ der heutigen Ablagerung von vorbehandelten Abfällen, insbesondere aus der mechanischen biologischen Restabfallbehandlung (MBA).

Für die Deponierung von vorbehandelten Abfällen wurde angenommen, dass diese bezogen auf die Menge je Einwohner unverändert bleiben, in der Summe demzufolge entsprechend der Entwicklung der Einwohnerzahl bis 2020 leicht ansteigen und danach bis 2035 wieder etwas zurückgehen (siehe Abbildung 2). Das Multi-Phasen-Abfallmodell berücksichtigt die einzelnen Abfallfraktionen, so dass über deren unterschiedlichen Halbwertszeiten die Emissionen berechnet und anschließend summiert werden. Das kinetische Modell zur Emissionsberechnung aus der Abfalldeponierung bildet neben der Ausgasung der deponierten organischen Materialien über die Zeit auch die Erfassung von Deponiegas ab⁷⁵.

Für die Emissionen aus den Anlagen der Bioabfallbehandlung (5.B) werden die in Kompostierungs- (5.B.1) und Vergärungsanlagen (5.B.2) eingesetzten Mengen mit den jeweiligen Emissionsfaktoren (Cuhls et al. 2015b; Cuhls et al. 2015a, 2015a; UBA 2016a; UBA 2018a) für Methan und Lachgas verknüpft. Bis zum Jahr 2030 wird mit einer Steigerung des Bioabfallaufkommens in Folge der Vorgaben zur getrennten Bioabfallerfassung gerechnet.

Für die Unterquellgruppen kommunale und industrielle Abwasserbehandlung (5.D) und andere (5.E) werden die einwohnerspezifischen Daten aus dem Inventarbericht 2018 unverändert fortgeschrieben.

3.1.13.2. Annahmen und Parameter

Im MMS werden folgende Maßnahmen und Trends betrachtet:

- a) Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie
- b) Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz und Fortsetzung des Trends zur Erweiterung von Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe

Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie

Durch die Belüftung stillgelegter Hausmülldeponien werden biologisch abbaubare Abfallbestandteile mikrobiell oxidiert. Der biogene Kohlenstoff im Abfall wird unter den aeroben Verhältnissen – nicht wie beim anaeroben Abbau in Methan – sondern in Kohlendioxid biogenen Ursprungs und damit treibhausgasneutral umgewandelt. Dies führt zu einer entsprechenden Reduzierung des Methanbildungspotenzials einer Deponie. Seit 2013 wird die direkte Deponiebelüftung zur Reduktion des Methanbildungspotenzials im Rahmen der NKI-Kommunalrichtlinie gefördert.

Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz und Fortsetzung des Trends zur Erweiterung von Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe

⁷⁵ Für nähere Details zum Modell vgl. (UBA 2018a)

Infolge der Umsetzung der Vorgaben aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz von 2012 zur getrennten Erfassung von Bioabfällen wird angenommen, dass die getrennt erfasste Bioabfallmenge aus kommunalen Abfällen auf 145 kg pro Einwohner bis 2030 ansteigt. Das entspricht Potenzialschätzungen für das Jahr 2030 von 6,5 Mt Biogut aus der Biotonne und 5,5 Mt Grüngut aus dem aktuellen UBA-Vorhaben⁷⁶. Hinzu kommen weitere biogene Abfälle aus anderen Quellen (z.B. Industrie), die unverändert fortgeschrieben wurden. Wegen dem Trend zur Umrüstung von reinen Kompostierungsanlagen zu kombinierten Vergärungsanlagen mit Nachrotte, wird angenommen, dass bis zum Jahr 2030 50 % des biogenen Abfalls in Kompostierungsanlagen und 50 % in Vergärungsanlagen behandelt werden. Zusätzlich wurden bis zum Jahr 2030 Verbesserungen im Behandlungsprozess und bei der Produktlagerung von Vergärungsanlagen unterstellt und Emissionsfaktoren für Vergärungsanlagen mit und ohne Nachrotte abgeleitet. Damit reduziert sich der CH₄-Emissionsfaktor für alle Vergärungsanlagen von 2.800 g CH₄/g Bioabfall auf 1.760 und für N₂O von 67 auf 40 g N₂O/g Bioabfall.

3.1.13.3. Ergebnisse der Projektion

Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre 2020, 2025, 2030 und 2035 abgeleitet.

Die starke Reduktion der Methanemissionen aus dem Abfallsektor ist auf eine verminderte Deponierung von organischen Abfällen ab dem Jahr 2005 zurückzuführen. Zusätzlich werden im MMS die über die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) geförderten Maßnahmen zur Deponiebelüftung berücksichtigt. Die CH₄-Emissionen sanken vor allem zwischen 1990 und 2005 durch eine verbesserte Abwasserbehandlung wie z.B. der Anschluss der Haushalte an die öffentliche Kanalisation. Nach 2016 bleiben die CH₄-Emissionen aus der Abwasserbehandlung nahezu konstant. Die biologische Abfallbehandlung war zu Beginn der 90er Jahre nicht relevant, entwickelt sich aber seitdem immer weiter. Die CH₄-Emissionen aus der Kompostierung und der Abfallvergärung steigen bis zum Jahr 2025 durch eine Erhöhung der Abfallbehandlungsmengen und steigende Bevölkerungszahlen weiter an und sinken danach bis zum Jahr 2035 wieder geringfügig ab durch eine Verbesserung der Behandlungs- und Lagerungsprozesse und sinkende Bevölkerungszahlen. Im Abwasserbereich sanken die CH₄-Emissionen vor allem zwischen 1990 und 2005 durch eine verbesserte Abwasserbehandlung wie z.B. der Anschluss der Haushalte an die öffentliche Kanalisation. Nach 2016 bleiben die CH₄-Emissionen aus der Abwasserbehandlung nahezu konstant.

Damit können die Methanemissionen der gesamten Abfall- und Abwasserwirtschaft bis zum Jahr 2035 um 87,5 % ggü. 1990 und um 77,3 % ggü. 2005 reduziert werden (Tabelle 89).

Tabelle 89: Entwicklung der Methanemissionen im Abfallsektor 1990 – 2035 in kt CH₄

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Abfalldeponierung	1.370,0	762,0	504,0	335,0	260,1	186,8	135,7	134,4
Biologische Abfallbehandlung	1,0	19,5	21,6	27,6	28,3	28,3	27,5	27,3
Abwasserbehandlung	105,6	30,2	26,5	23,0	23,1	23,1	23,0	22,9
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	NO	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Gesamte Methan-Emissionen	1.476,6	811,9	552,3	385,8	311,6	238,4	186,3	184,6

⁷⁶ Laufendes UBA-Vorhaben (FK 3716 43 102 0): Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor) BioRest.

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
ggü. 1990 in %	-	-45,0	-62,6	-73,9	-78,9	-83,9	-87,4	-87,5
ggü. 2005 in %	-	-	-32,0	-52,5	-61,6	-70,6	-77,0	-77,3

Quelle: (UBA 2018a; UBA 2018b), Berechnungen des Öko-Instituts

Auch die Lachgasemissionen sinken bereits im MMS bis zum Jahr 2035, überwiegend durch eine Verbesserung der Abwasserbehandlung zwischen 1990 und 2005. Gegenüber 1990 wird eine Reduktion von -43,0 % im Jahr 2035 erzielt, ggü. 2005 liegt der Rückgang der N₂O-Emissionen bei -6,2 % (Tabelle 90).

Tabelle 90: Entwicklung der Lachgasemissionen im Abfallsektor 1990-2035 in kt N₂O

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Biologische Abfallbehandlung	0,1	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Abwasserbehandlung	4,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	NO	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Gesamte Lachgasemissionen	4,8	2,9	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
ggü. 1990 in %	-	-39,2	-44,2	-42,1	-41,6	-41,7	-42,5	-43,0
ggü. 2005 in %	-	-	-8,3	-4,7	-4,0	-4,2	-5,4	-6,2

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Berechnungen des Öko-Instituts

Tabelle 91 zeigt die historische und die projizierte Entwicklung der Methan- und Lachgasemissionen des Abfallsektors für die Jahre 1990-2035. Große Treiber der Emissionsminderungen im Abfallsektor sind sowohl das Verbot der Deponierung organischer Abfälle als auch die Zunahme der behandelten Abwässer in kommunalen Kläranlagen. Bis zum Jahr 2035 werden zusätzliche Minderungen über Maßnahmen zur Deponiebelüftung und Verbesserungen der Behandlungs- und Lagerprozesse bei der biologischen Abfallbehandlung erreicht. Im Gegensatz zu anderen Sektoren gelingt dem Abfallsektor durch das rechtzeitige Steuern von Politikmaßnahmen und großen Synergien mit anderen Umweltzielen schon im MMS im Jahr 2035 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen ggü. 1990 von 85,8 %.

Tabelle 91: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CH ₄ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	39,6	20,3	13,8	9,6				
MMS					7,8	6,0	4,7	4,6
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	1,4	0,9	0,8	0,8				
MMS					0,8	0,8	0,8	0,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	38,4	21,2	14,6	10,5				
MMS					8,6	6,8	5,5	5,4

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-44,8	-61,9	-72,7				
MMS					-77,5	-82,3	-85,7	-85,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2016			-31,0	-50,5				
MMS					-59,2	-67,9	-74,1	-74,3

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Berechnungen des Öko-Instituts

3.1.13.3.1. Quantifizierung der Einzelmaßnahmen

Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie

Seit 2013 wird die direkte Deponiebelüftung zur Reduktion des Methanbildungspotenzials im Rahmen der NKI-Kommunalrichtlinie gefördert. Bis Oktober 2018 wurden insgesamt 43 Projekte mit einer durchschnittlichen Reduktion der Treibhausgase von ca. 45.400 Mg CO₂e oder 2.063 Mg CH₄ je Projekt begonnen (PTJ 2018). Bei einer Laufzeit bis zum Jahr 2022 wird angenommen, dass in den Folgejahren 2019-2022 jeweils 8 weitere Projekte mit ähnlichen Minderungspotenzialen genehmigt werden. Eine systematische Auswertung der erreichbaren Reduktion der Methanemissionen liegt nicht vor. Für die Berechnung wird daher davon ausgegangen, dass die der Bewilligung zugrunde liegenden Planeinsparungen pauschal auf den Zeitraum von 10 Jahren verteilt werden. Darüber hinaus verringern sich die längerfristigen Deponieemissionen durch die Deponiebelüftung, da dem Deponiekörper biologisch abbaubare Substanzen entzogen werden und diese dann nicht mehr zur Deponiegasbildung beitragen können. Die Berechnung der Emissionsreduktion erfolgt daher über eine Anpassung des DDOCm-Gehalts im Abfallmodell⁷⁷. Bei der Realisierung von insgesamt 75 Projekten werden im Jahr 2030 insgesamt 0,4 Mt CO₂eq. durch die Deponiebelüftung eingespart. Nach Ende der Belüftungsdauer verringern sich die Einsparungen aus der Deponiebelüftung wieder, da die organischen Substanzen weitgehend abgebaut sind und die gesamten Methanemissionen aus der Abfalldeponierung sich auf einem niedrigeren Niveau befinden.

Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz

Bis zum Jahr 2035 beträgt die Zunahme der Behandlungsmengen von Bioabfällen ggü. 2016 ca. 21 %. Da aber gleichzeitig eine Verbesserung im Behandlungsprozess und bei der Produktlagerung unterstellt wird und bis zum Jahr 2035 die Bevölkerung sinkt, steigen die Emissionen aus der biologischen Abfallbehandlung trotz der Zunahmen der Behandlungsmengen im Zeitverlauf kaum an.

Tabelle 92: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im Abfallsektor

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO ₂ e			

⁷⁷ Eine finale Methode zur Berücksichtigung der Emissionsreduktion aus der Deponiebelüftung wird derzeit erarbeitet und demnächst für die Inventarberichterstattung verfügbar sein. Ggf. kann es daher zu Abweichungen zwischen den hier ausgewiesenen Emissionsreduktionen und der finalen Inventarberechnung kommen.

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
Deponiebelüftung	F	62	275	403	399
Bioabfälle Kreislaufwirtschaftsgesetz	R	-20	-19	10	18
Summe der Einzelmaßnahmen		42	256	413	417

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

3.2. Primär- und Endenergieverbrauch

Die im Folgenden dargestellten Bilanzen des Primär- und Endenergieverbrauch folgen insgesamt dem Schema der Energiebilanzen. Primäre Datengrundlagen für die historischen Daten sind

- ▶ das Zentrale System Emissionen (ZSE) beim Umweltbundesamt (UBA) für alle brennstoffförmigen Energieträger
- ▶ sowie die Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) für alle übrigen Energieträger.

Durch die Kombination dieser beiden Datenquellen kommt es im Folgenden zu Abweichungen gegenüber den von der AGEB veröffentlichten Daten.⁷⁸ Eine vollständige Vereinheitlichung zwischen modellierten Daten (Kombination der Datenquellen ZSE und AGEB) mit den von den AG Energiebilanzen veröffentlichten Daten ist nicht möglich. Schon die Energiebilanzen selbst sind in sich nicht vollständig konsistent, sondern weisen teilweise statistische Differenzen aus.⁷⁹ Um die Konsistenz zwischen historischen und Projektionsdaten zu wahren, sind auch für die historischen Jahre die Primär- und Endenergieverbräuche aus dem Modell aufgeführt. Dies wird auch deswegen getan, da so die historischen Energieverbräuche konsistent zu den berechneten Emissionen sind. Abweichungen zwischen modellierten und AGEB-Daten mit besonderer Bedeutung sind in den folgenden Unterkapiteln zu Primär- und Endenergieverbrauch vermerkt.⁸⁰ Zusätzlich ist zu beachten, dass in das nationale Treibhausgasinventar (UBA 2018b, 2018c) aus zeitlichen Restriktionen für das jeweils letzte veröffentlichte Jahr (in diesem Fall also für das Jahr 2016) noch nicht die endgültige Energiebilanz 2016 sondern nur die vorläufige, sogenannte „Schätzbilanz 2016“ berücksichtigt werden kann.

3.2.1. Primärenergieverbrauch

Die im Folgenden dargestellten Bilanzen des Primärenergieverbrauchs (PEV) wurden mit Hilfe eines Modells generiert, an einigen Stellen durch Zusatz- und Anpassungsrechnungen ergänzt und folgen insgesamt dem Schema der Energiebilanzen.⁸¹

⁷⁸ Insbesondere der absolute Beitrag biogener Energieträger ist in den ZSE-Daten für manche Jahre deutlich höher als in der Energiebilanz.

⁷⁹ So betragen die statistischen Differenzen der Jahre 1990 bis 2016 im Median 3 PJ mit einer Schwankungsbreite zwischen -168 PJ und +115 PJ.

⁸⁰ Der modellierte PEV ist im Mittel um 0,2% höher und der EEV im Mittel um 1,4% höher als der jeweils von AGEB veröffentlichte.

⁸¹ Um die Vergleichbarkeit mit dem Mengengerüst für die Emissionsermittlung zu ermöglichen, ist auf die folgenden Unterschiede zwischen der Systematik der Emissionsinventarisierung und der Systematik der Energiebilanzen hinzuweisen: Erstens wird in der Systematik der Energiebilanz beim Endenergieeinsatz der gesamte Energiebedarf des Flugverkehrs, also auch des internationalen Flugverkehrs bilanziert. Dagegen wird der internationale Seeverkehr weder beim Endenergieeinsatz noch beim Primärenergieverbrauch (im Inland), sondern bei den Hochseebunkerungen erfasst. Bei der Emissionsinventarisierung werden dagegen der internationale Luft- und Seeverkehr nur nachrichtlich ausgewiesen. Zweitens errechnet sich in der Systematik der Energiebilanz der Endenergiebedarf des Verarbeitenden Gewerbes und des Übrigen Bergbaus (im Folgenden: Industrie) aus dem direkten Endenergieeinsatz in der Industrie sowie dem der Wärmeerzeugung zuzurechnenden Brennstoffeinsatz in den industriellen Heizkraftwerken. Für die Emissionsermittlung werden dem Sektor Industrie aber die gesamten Energieeinsätze in Industriekraftwerken zugerechnet. Um eine möglichst umfassende Vergleichbarkeit der Energiedaten zu gewährleisten, wurden für die Ermittlung der Energiebedarfs-

In diesem Kontext ist anzumerken, dass hinsichtlich der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs eine systematische Verzerrung durch die verschiedenen Konventionen der Energiestatistik zu berücksichtigen ist. So wird die Kernenergie nach der verwendeten Wirkungsgradmethode per Konvention primärenergieseitig mit einem Faktor 3 bewertet, wohingegen v.a. erneuerbare Energieträger, abgesehen von Geothermie (hier erfolgt die primärenergieseitige Bewertung mit dem Faktor 10) und Biomasse, mit einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100 % in die Primärenergiebilanz eingehen.⁸² Tendenziell sinkt somit der PEV aufgrund der unterschiedlichen primärenergieseitigen Bewertung der nicht-fossilen Energieträger. In den Primärenergieverbräuchen dieses Berichts ist der nichtenergetische Verbrauch von fossilen Energieträgern enthalten.⁸³ Entsprechend der Methodik der Energiebilanz werden für die Herstellung von Biokraftstoffen keine Umwandlungsverluste berücksichtigt, der Endenergieverbrauch ist hier also identisch zum Primärenergieverbrauch.

3.2.1.1. Ergebnisse der Projektion

Der Primärenergieverbrauch sinkt im MMS von 14.521 PJ im Jahr 2008⁸⁴ auf 11.271 PJ im Jahr 2035 (-22 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs, wie Abbildung 28 und Tabelle 93 zeigen.

Der Verbrauch von Mineralölen und Kohlen nimmt zwischen 2016 und 2035 deutlich ab: So sinkt der Primärenergieverbrauch von Mineralöl um 708 PJ (-15 %) über den Betrachtungszeitraum. Diese Reduktion findet in erster Linie im Bereich der privaten Haushalte statt – einerseits durch den abnehmenden Wärmebedarf durch Sanierungsmaßnahmen und andererseits durch den geringer werdenden Marktanteil von Heizölkesseln. Der Verbrauch von Kohlen geht aufgrund der Abnahme der Kohleverstromung um 861 PJ (-27 %) zurück. Dabei ist der Rückgang von Braunkohle (-28 %) etwas stärker als der von Steinkohle (-27 %). Der Einsatz der Kernenergie zur Stromerzeugung geht aufgrund des Atomausstiegs nach 2022 auf null zurück. Der Verbrauch an fossilen Gasen sinkt bis 2035 um 532 PJ (-17 %) gegenüber 2016, bedingt durch die Abnahme der Erdgasnutzung in Kraftwerken und privaten Haushalten.

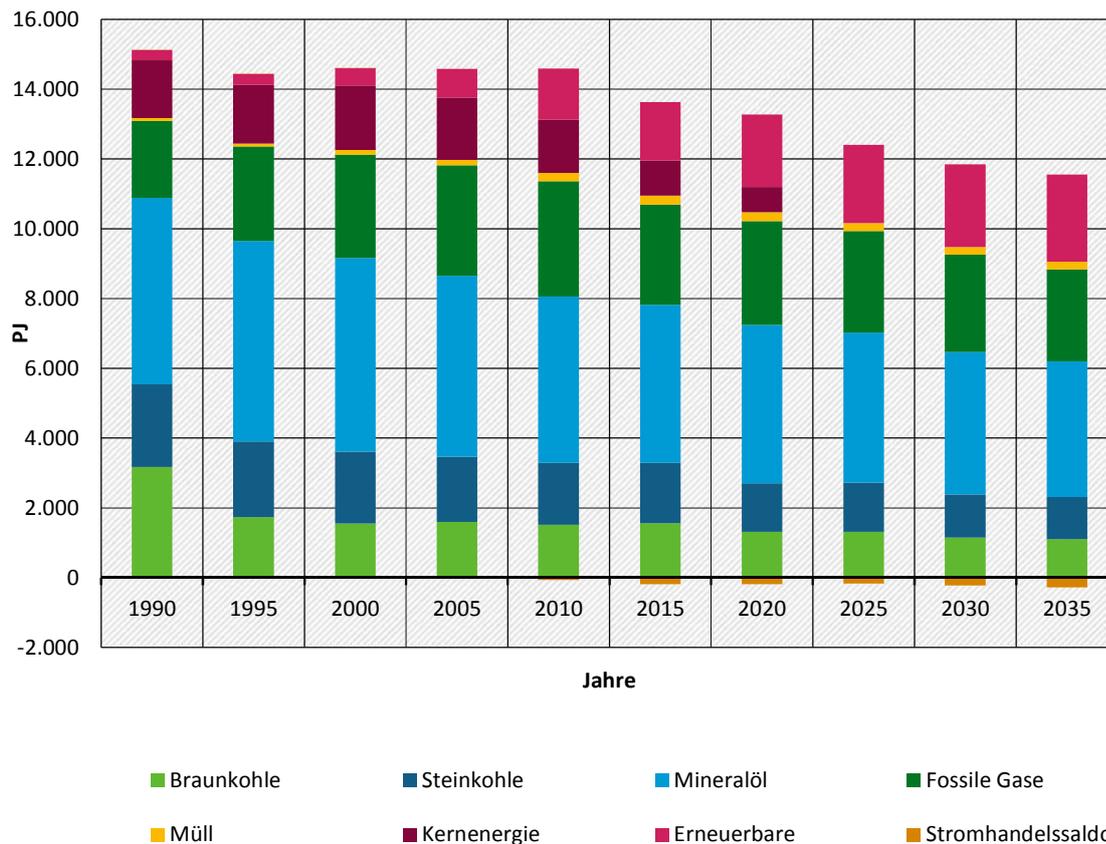
daten die nachstehenden Konventionen getroffen: Der Energieverbrauch des internationalen Seeverkehrs wird bei der Primärenergiebetrachtung nicht berücksichtigt. Der Energieverbrauch sowohl des nationalen als auch des internationalen Luftverkehrs wird dagegen bei der Primärenergieermittlung voll berücksichtigt.

⁸² Auch der Stromaußenhandelsaldo wird primärenergieseitig mit einem Wirkungsgrad von 100% bewertet.

⁸³ Der nicht-energetische Verbrauch fossiler Energieträger wurde über ein einfaches Modell basierend auf den Produktionsdaten der chemischen Industrie ermittelt, beträgt etwa 1.000 PJ und steigt im Zeitverlauf leicht an.

⁸⁴ Das Jahr 2008 wurde als Vergleichsjahr gewählt, da das Energiekonzept der Bundesregierung Primärenergieverbrauchsminierungsziele gegenüber diesem Jahr formuliert hat (20% bis 2020 und 50% bis 2050).

Abbildung 28: Primärenergieverbrauch im MMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich zwischen dem Basisjahr 2016 und dem Ende der Analyse im Jahr 2035 ein Anstieg des Verbrauchs um 772 PJ (+45 %) einstellt. In erster Linie ist das auf ein deutliches Ansteigen der Windenergie um 452 PJ, und damit auf das Zweieinhalbfache des Beitrags aus dem Jahr 2016. Wind ist im Jahr 2035 mit 741 PJ der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger. Im Jahr 2035 trägt die Biomasse 129 PJ bzw. 11 % mehr als 2016 zum Primärenergieverbrauch bei, und bleibt somit weiterhin wichtigster erneuerbarer Energieträger mit etwa 51 % des Einsatzes aller erneuerbaren Energieträger von insgesamt 2.496 PJ. Drittwichtigster erneuerbarer Energieträger ist und bleibt die Solarenergie, deren Beitrag sich bis 2035 verdoppelt. Der verbleibende regenerative Primärenergieverbrauch von 146 PJ verteilt sich auf Wasserkraft sowie Geothermie und Umweltwärme. Damit werden die Erneuerbaren zusammen nach Mineralöl und fossilen Gasen zum drittwichtigsten Energieträger. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger steigt von fast 13 % im Jahr 2014 auf gut 22 % im Jahr 2035.

Der absolute Beitrag von Müll ist leicht rückläufig und 2035 um 37 PJ (-14 %) niedriger als 2016. Das negative Stromaußenhandelsaldo (also der Stromexportüberschuss) steigt bis 2035 deutlich an und ist dann 88 PJ (45 %) höher als 2016.

Tabelle 93: Primärenergieverbrauch im MMS 2008-2035

Energieträger	2008	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.525	1.316	1.315	1.150	1.104

Energieträger	2008	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Steinkohle	1.823	1.779	1.650	1.392	1.412	1.228	1.210
Mineralöl	4.974	4.765	4.594	4.532	4.306	4.092	3.886
Fossile Gase	3.219	3.301	3.169	2.982	2.896	2.785	2.637
Müll	192	234	257	250	232	222	220
Kernenergie	1.623	1.534	923	727	0	0	0
Biomasse ^a	934	1.164	1.150	1.265	1.288	1.263	1.279
Windenergie	149	140	288	495	565	664	741
Wasserkraft	73	76	74	77	77	77	78
Solarenergie	31	61	165	186	245	300	330
Geothermie und Umweltwärme	17	20	46	56	64	68	68
Stromhandelssaldo	-81	-64	-193	-188	-169	-220	-281
PEV gesamt^b	14.521	14.526	13.648	13.089	12.231	11.629	11.271
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-6,0 %</i>	<i>-9,9 %</i>	<i>-15,8 %</i>	<i>-19,9 %</i>	<i>-22,4 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>8,3 %</i>	<i>10,1 %</i>	<i>12,6 %</i>	<i>15,9 %</i>	<i>18,3 %</i>	<i>20,4 %</i>	<i>22,1 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkungen: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

3.2.2. Endenergieverbrauch

Energiebilanz und Nationales Treibhausgasinventar verwenden unterschiedliche Abgrenzungen der einzelnen Sektoren. Die folgende Tabelle 94 gibt einen Überblick, welche Inventarsektoren welchen Endenergiesektoren zugeordnet wurden. Durch diese Zuordnung wurde eine näherungsweise Übereinstimmung zwischen den Konventionen des Treibhausgasinventars einerseits und der Energiebilanz andererseits erzielt.⁸⁵

Tabelle 94: Vergleich der Zuordnung der CRF-Sektoren 1.A.2 bis 1.A.5 und der Endenergiesektoren in der Energiebilanzstruktur

Beschreibung	CRF-Sektor	Endenergiesektor	Kommentar
Brennstoffeinsatz Stromerzeugung in industriellen Kraftwerken	1.A.2		In der Energiebilanz dem Umwandlungssektor zugeordnet
Brennstoffeinsatz Wärmeerzeugung in industriellen Kraftwerken	1.A.2	Industrie	
Bauwirtschaftlicher Sonderverkehr	1.A.2	GHD	
Inländischer Flugverkehr	1.A.3.a	Verkehr	
Straßenverkehr	1.A.3.b	Verkehr	
Schienenverkehr	1.A.3.c	Verkehr	
Küsten- und Binnenschifffahrt	1.A.3.d	Verkehr	
Erdgasverdichterstationen	1.A.3.e		In der Energiebilanz dem Umwandlungssektor zugeordnet

⁸⁵ Der so im Modell ermittelte gesamte Endenergieverbrauch liegt für die historischen Jahre 1990 bis 2016 im Mittel etwa 1% höher, wobei die Abweichung mit 2,2% im Jahr 1990 am höchsten und mit 0,6% im Jahr 2010 am geringsten ist.

Beschreibung	CRF-Sektor	Endenergiesektor	Kommentar
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	1.A.4.a	GHD	
Private Haushalte	1.A.4.b	Haushalte	
Landwirtschaft	1.A.4.c	GHD	
Militär	1.A.5.a	GHD	
Internationaler Luftverkehr	1.D.1.a	Verkehr	
Internationale Schifffahrt	1.D.1.b		In der Energiebilanz weder im Primär- noch im Endenergieverbrauch enthalten

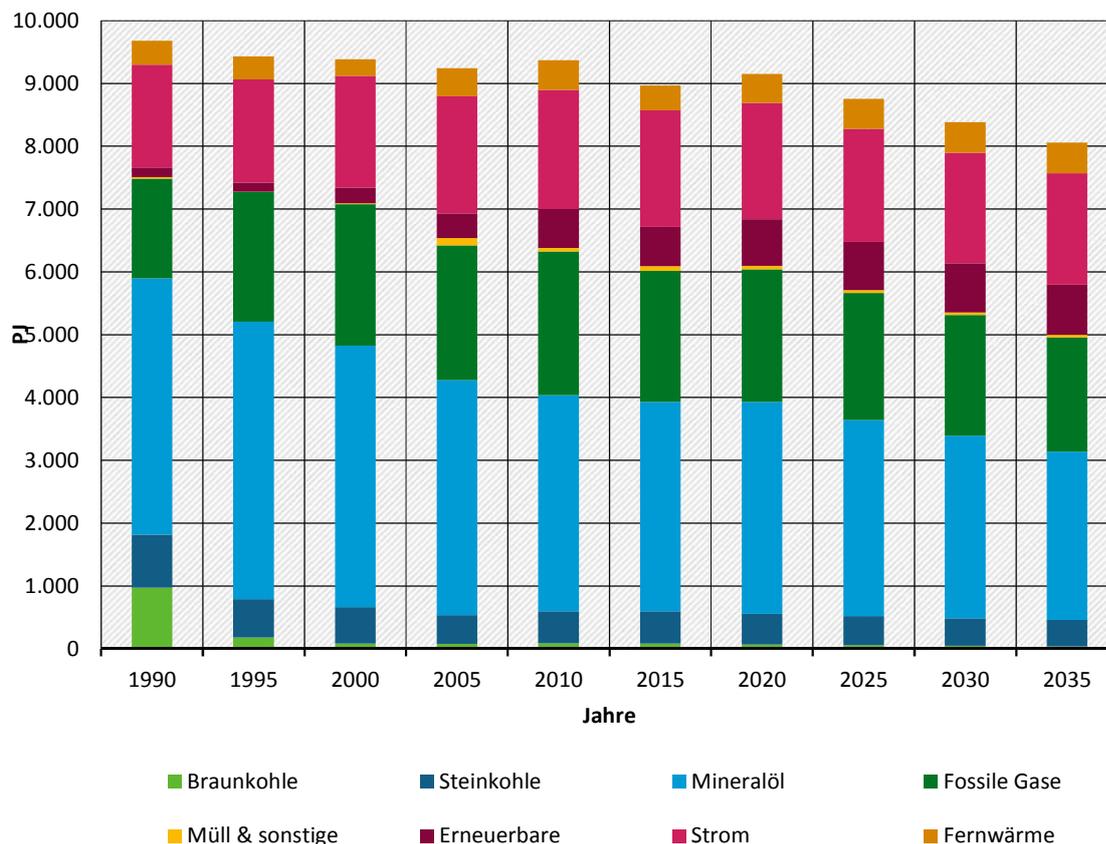
Quelle: Darstellung Öko-Institut

3.2.2.1. Ergebnisse der Projektion

Der gesamte Endenergieverbrauch ist rückläufig. Er sinkt von 9.236 PJ im Jahr 2016 auf 8.753 PJ im Jahr 2025 und 8.062 PJ im Jahr 2035, was einem Rückgang von 5 % bzw. 13 % entspricht.

Wie beim Primärenergieverbrauch entwickeln sich die einzelnen Energieträgergruppen unterschiedlich (siehe Tabelle 95 und Abbildung 29).

Abbildung 29: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Aufgrund des Rückgangs der Kohleverstromung nimmt der Verbrauch von Braunkohlen von 2016 bis 2025 um etwa 39 % und bis 2035 um 57 % ab. Der Einsatz von Steinkohlen, der in den Sektoren Energie und Industrie (v.a. Metallherzeugung) relevant, ist geht bis 2035 um lediglich 17 % gegenüber 2016 zurück, da die Steinkohle in der Stahlindustrie nur begrenzt substituiert werden kann. Bei den Mineralölprodukten ist, trotz steigendem Verbrauch von Flugkraftstoffen

insgesamt, ein Rückgang um 21 % bis 2035 zu beobachten. Dieser ist in erster Linie durch die verringerte Nachfrage nach Heizöl in privaten Haushalten bedingt. Bei fossilen Gasen, von denen Erdgas mit Abstand das wichtigste ist, geht der Verbrauch bis 2035 um 19 % gegenüber 2016 zurück, bedingt durch die Abnahme der Erdgasnutzung in Kraftwerken und privaten Haushalten.

Der Beitrag der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch nimmt im Szenariozeitraum deutlich zu (+21 % von 656 PJ auf 797 PJ), wobei dieser Anstieg sowohl auf Biomasse, als auch auf Solarenergie sowie Geothermie und Umweltwärme entfällt. Der gesamte Endenergieverbrauch an Strom sinkt bis 2030 um gut 5 %, steigt dann aber aufgrund neuer Verbraucher wie z.B. Elektrofahrzeuge bis 2035 wieder leicht an.

Tabelle 95: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS (2016-2035)

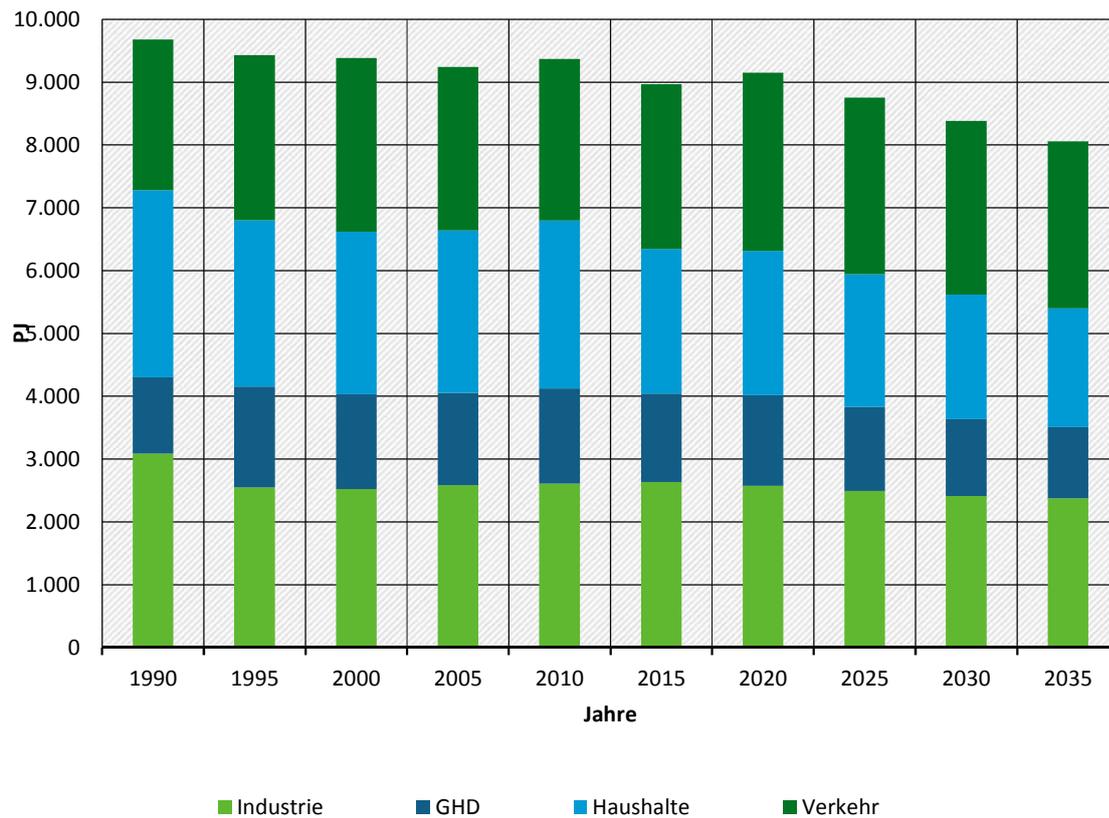
Energieträger	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	91	71	55	45	39
Steinkohle	509	484	461	441	422
Mineralöl	3.382	3.373	3.120	2.906	2.675
Fossile Gase	2.250	2.113	2.025	1.921	1.822
Müll	61	54	48	44	42
Sonstige	13	0	0	0	0
Biomasse ^a	584	651	659	654	664
Solarenergie	28	38	51	60	69
Geothermie und Umweltwärme	44	54	61	64	64
Strom	1.863	1.851	1.795	1.762	1.776
Fernwärme	410	463	477	483	489
Endenergieverbrauch gesamt	9.236	9.153	8.753	8.381	8.062
<i>Änderung ggü. 2016</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-0,9 %</i>	<i>-5,2 %</i>	<i>-9,3 %</i>	<i>-12,7 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Die Entwicklungen in den einzelnen Sektoren fallen dabei sehr unterschiedlich aus (siehe Abbildung 30 und Tabelle 96). Der Endenergieverbrauch der Industrie sinkt aufgrund der beschlossenen Maßnahmen bis 2035 um 11 % gegenüber 2016 trotz Wirtschaftswachstums. Deutlich stärker sinkt der Endenergieverbrauch im GHD-Sektor (bis 2035 um, 21 %) und in privaten Haushalten (22 %). In diesen beiden Sektoren wirken vor allem Wärmeschutzmaßnahmen im Gebäudebereich und der Ausbau effizienterer Anlagentechnik. Im Verkehr steigt der Endenergieverbrauch zunächst bis 2020 um 5 %, anschließend sinkt er aber und liegt 2035 etwa 2 % niedriger als 2016.

Abbildung 30: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 96: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS (2016-2035)

Sektor	2016	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Industrie	2.671	2.573	2.495	2.411	2.375
GHD	1.442	1.442	1.332	1.223	1.134
Haushalte	2.412	2.301	2.119	1.983	1.890
Verkehr	2.711	2.836	2.807	2.764	2.664
Endenergieverbrauch	9.236	9.153	8.753	8.381	8.062
<i>Änderung ggü. 2016</i>	0,0 %	-0,9 %	-5,2 %	-9,3 %	-12,7 %

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2018b, 2018c), übrige Energieträger: (AGEB 2008a-2018, 2008b-2018), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

4. Treibhausgasemissionen

4.

4.1. Emissionen aus Verbrennungsprozessen

Die summarische Entwicklung der CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen für das MMS ist – einschließlich der den internationalen Bunkerungen zuzurechnenden Emissionen – in Tabelle 97 zusammengestellt.

Über den gesamten Zeitraum bis 2035 werden gegenüber 1990 THG-Emissionsminderungen von rund 39 % erzielt, dies entspricht -27 % gegenüber 2005. Dabei sind CH₄- und N₂O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen von untergeordneter Bedeutung, das dominierende Treibhausgas ist verbrennungsbedingtes CO₂. Im Jahr 2020 beträgt die THG-Minderung, bezogen auf 1990, rund 28 % (-282 Mt CO₂e).

Tabelle 97: Emissionsentwicklungen für die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen nach Gasen, 1990–2035

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	1.004,1	838,7	814,0	786,1				
MMS					725,0	701,7	642,6	609,8
CH ₄ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	6,3	2,2	3,6	4,7				
MMS					4,6	4,6	4,5	4,4
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	6,9	5,2	5,8	5,9				
MMS					5,5	5,4	5,0	4,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2016	1.017,3	846,1	823,3	796,7				
MMS					735,2	711,7	652,1	619,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2016		-16,8	-19,1	-21,7				
MMS					-27,7	-30,0	-35,9	-39,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 2005 – 2016			-2,7	-5,8				
MMS					-13,1	-15,9	-22,9	-26,8

Anmerkung: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR; mit CO₂-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung sowie mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Die Entwicklung der Emissionen unterscheidet sich zwischen den einzelnen Brennstoffen, wie Tabelle 98 zeigt. Zwei Gruppen sind erkennbar: Die Emissionen aus Mineralöl und Kohle gehen

von 2016 bis 2035 sukzessive zurück (-20 % beim Mineralöl; -28 % Braunkohle; -28 % Steinkohle), während die Emissionen aus Müll und Biomasse annähernd konstant bleiben. Die Emissionen aus Stein- und Braunkohle nehmen hauptsächlich aufgrund des verringerten Einsatzes in den Kraftwerken der Energiewirtschaft ab, der Einsatz von Mineralöl geht u.a. durch die Abkehr von Ölheizungen bei den privaten Haushalten zurück. Bei den fossilen Gasen liegen die Emissionen bis 2035 über dem Niveau des Jahres 1990 (durch das größere Gewicht von vergleichsweise emissionsarmem Erdgas als Energieträger). Insgesamt bleibt die Verbrennung von Mineralöl über den gesamten Zeitraum die größte Emissionsquelle, während durch den Rückgang bei Stein- und Braunkohle das Erdgas ab 2020 den zweitgrößten Anteil der Emissionen verursacht. Die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung sind bedingt durch einen Rückgang der Kohleverstromung zwischen 2020 und 2035 rückläufig.

Tabelle 98: Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Braunkohle	346,5	178,2	168,4	169,2	146,0	146,1	127,7	122,6
Steinkohle	203,7	165,7	160,5	142,8	119,2	121,7	104,6	103,0
Mineralöl	335,8	311,2	286,3	281,8	278,4	258,9	242,3	224,7
Fossile Gase	122,5	175,2	184,9	176,8	166,2	160,9	154,5	145,8
Müll	7,7	13,4	19,4	21,2	20,6	19,2	18,4	18,2
Biomasse ^a	0,5	1,2	2,8	3,9	4,1	4,1	4,0	4,0
Brennstoffe gesamt	1.016,7	845,0	822,3	795,7	734,4	710,9	651,4	618,3
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7
Gesamt inklusive REA	1.017,3	846,1	823,3	796,7	735,2	711,7	652,1	619,0
<i>ggü. 2005</i>	20,2 %	0,0 %	-2,7 %	-5,8 %	-13,1 %	-15,9 %	-22,9 %	-26,8 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-16,8 %	-19,1 %	-21,7 %	-27,7 %	-30,0 %	-35,9 %	-39,2 %
Nachrichtlich								
CO ₂ aus Biomasseverfeuerung	22,1	60,2	109,3	108,1	117,8	119,7	117,5	118,9

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkung: ^a Bezieht sich auf die CH₄ und N₂O-Emissionen, also ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung

4.2. Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung

Die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung sinken bis 2035 um gut 54 % (53 Mt CO₂e) gegenüber 1990 und gut 42 % (32 Mt CO₂e) gegenüber 2005. Auch hier ist CO₂ dominierend, wenn auch weniger als bei den verbrennungsbedingten Emissionen (etwa ¾). Da für den Rückgang der Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung ab 2016 hauptsächlich die HFKW und SF₆ verantwortlich sind, steigt der Anteil des CO₂ bis 2035 auf rund 85 Prozent.

HFKW und SF₆ sind nach CO₂ die größten Verursacher von Emissionen in diesem Sektor und tragen, wie erwähnt, auch hauptsächlich zur Minderung in diesem Bereich bei. NF₃ spielt nur eine marginale Rolle, ebenso gering ist der Beitrag der FKW und des bei Industrieprozessen und

Produktverwendung wenig bedeutenden Methans (CH₄). Die N₂O-Emissionen sind bereits in der Vergangenheit stark zurückgegangen und bleiben bis 2035 auf niedrigem Niveau konstant.

Historisch ist der stärkste Rückgang der CO₂-Emissionen aus Industrieprozessen im Bereich der chemischen Industrie zu verzeichnen, in Zukunft werden die CO₂-Emissionen vor allem bei der Stahlerzeugung – bedingt durch einen Rückgang der Produktion - zurückgehen. Bei den N₂O-Emissionen wurden in der Vergangenheit sehr starke Emissionsreduktionen erzielt, woran der Einbezug von bestimmten N₂O-Emissionen in den EU-Emissionshandel eine bedeutende Rolle spielte. Verantwortlich sowohl für den bisherigen als auch den projizierten Rückgang der F-Gase sind vor allem die F-Gas-Regulierungen auf EU-Ebene.

Für Details siehe Kapitel 3.1.9 und 3.1.10.

Tabelle 99: Emissionsentwicklungen für die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung nach Gasen, 1990–2035

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung 1990–2016	60,0	52,8	46,7	44,9				
MMS					42,4	40,2	38,5	37,9
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990–2016	0,4	0,6	0,5	0,5				
MMS					0,5	0,5	0,5	0,5
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990–2016	23,4	8,6	1,9	1,1				
MMS					1,1	1,1	1,2	1,2
HFKW-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,1	9,0	10,3	11,0				
MMS					9,4	7,4	3,6	3,4
FKW-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	3,1	0,8	0,3	0,3				
MMS					0,3	0,3	0,3	0,3
SF₆-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	4,4	3,3	3,2	3,9				
MMS					4,3	2,7	1,2	1,0
NF₃-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2016	0,0	0,0	0,1	0,0				
MMS					0,0	0,0	0,0	0,0
Nicht spezifizierter Mix								
Entwicklung 1990 – 2016	5,8	1,0	0,5	0,2				
MMS					0,2	0,2	0,2	0,2
Summe THG-Emissionen								

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Entwicklung 1990 – 2016	97,1	76,3	63,4	61,8				
MMS					58,2	52,4	45,4	44,5
Summe THG-Emissionen	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2016		-21,5	-34,7	-36,4				
MMS					-40,1	-46,1	-53,3	-54,2
Summe THG-Emissionen	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 2005–2014			-16,9	-19,0				
MMS					-23,7	-31,3	-40,5	-41,7

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

4.3. Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen und deren Komponenten

Im Folgenden werden die Entwicklungen der Treibhausgasemissionen des MMS auf zwei unterschiedliche Weisen aggregiert dargestellt. Zum einen werden die Beiträge der unterschiedlichen Treibhausgase, zum anderen die Beiträge der einzelnen Quellbereiche abgebildet. Die gesamten Treibhausgasemissionen werden dabei jeweils in einer weiten und einer engen Abgrenzung dargestellt, das heißt jeweils mit bzw. ohne Berücksichtigung der Emissionsbeiträge der Hochseeschifffahrt und des internationalen Flugverkehrs sowie zur Freisetzung oder Bindung von Treibhausgasen im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF = Land Use, Land-Use Change and Forestry). Diese beiden internationalen Verkehre sind zwar in den nationalen Treibhausgasinventaren enthalten, allerdings nur nachrichtlich als „memo items“. In der Regel werden Emissionen aus internationalem Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie aus LULUCF nicht auf die Erreichung nationaler Klimaschutzziele in Deutschland angerechnet; dieser Konvention wird auch in diesem Bericht gefolgt.

4.3.1. Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen

In Tabelle 100 ist die Entwicklung der Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung sind die Treibhausgasemissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie von LULUCF nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 2016 wurden in der nationalen Bilanz die Treibhausgasemissionen bereits um knapp 27 % gegenüber dem Jahr 1990 und um über 8 % gegenüber 2005 reduziert. Gegenüber dem Referenzjahr 1990 sinken die gesamten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um gut 33 % (knapp -16 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2030 um 42 % (-26 % gegenüber 2005). Die Ziele der Bundesregierung einer Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40 % bis 2020 und 55 % bis 2030 werden also im MMS nicht erreicht.

Zwischen 1990 und 2016 wurden die jährlichen Emissionen von Kohlendioxid⁸⁶ um fast 24 % reduziert. Im Jahr 2035 werden die CO₂-Emissionen gut 42 % niedriger liegen als 1990. Historisch und auch in der Projektion ist CO₂ das Gas mit dem größten Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. 1990 hatte es einen Anteil von gut 84 %, 2016 sogar von fast 88 %. Bis 2035 wird sich dieser Anteil kaum verändern. Die nicht in die Summe eingehenden und daher nur nachrichtlich ausgewiesenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung von Biomasse vervielfachten sich zwischen 1990 und 2016 und werden ein Maximum etwa 2030 erreichen, um anschließend leicht zurückzugehen.

Bei Methan sind die größten Emissionsminderungen bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen: CH₄ war 1990 nach CO₂ das bedeutendste Treibhausgas und hatte einen Anteil von fast 10 % an den Gesamtemissionen. Da aber die CH₄-Emissionen bis zum Jahr 2016 um 55 % und somit überdurchschnittlich reduziert werden konnten, sank der Anteil auf nur noch gut 6 %. Bis zum Jahr 2035 sinken die CH₄-Emissionen um knapp 62 % gegenüber 1990. Da aber hier die Emissionsminderungen insbesondere nach 2020 unterproportional sind, steigt der Anteil bis 2035 wieder leicht an auf knapp 7 %.

Lachgas hatte 1990 einen Anteil von gut 5 % an den gesamten Treibhausgasemissionen. Auch hier konnten bis zum Jahr 2016 die Emissionen bereits um etwa 42 % reduziert werden, sodass der Anteil an den Gesamtemissionen von 5 % auf 4 % sank. Wie auch beim Methan sind beim Lachgas nur geringe weitere Emissionsreduktionen zu verzeichnen. 2035 werden die N₂O-Emissionen um rund 48 % geringer sein als 1990. Der Anteil der Lachgasemissionen steigt wieder auf knapp 5 % im Jahr 2035.

Die fluorierten Treibhausgasemissionen hatten im Jahr 1990 einen Anteil von 1,1 %, der bis zum Jahr 2016 auf 1,7 % anstieg. Bis zum Jahr 2035 wird der Anteil der fluorierten Treibhausgase auf 0,7 % abzusinken.⁸⁷

Tabelle 100: Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen, 1990-2035

Treibhausgas	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Kohlendioxid (CO ₂) ^a	1.053,0	867,2	833,7	801,8	735,5	707,1	644,5	612,7
Methan (CH ₄)	120,2	68,4	58,1	54,4	50,3	47,7	46,1	46,0
Lachgas (N ₂ O)	65,0	43,3	36,6	37,9	35,6	35,0	34,2	34,1
Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW)	0,1	9,0	10,3	11,0	9,4	7,4	3,6	3,4

⁸⁶ Nicht berücksichtigt sind hier – wie auch in den übrigen CO₂-Emissionen dieses Berichts die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse.

⁸⁷ Innerhalb der fluorierten Treibhausgase ist die Gruppe der teilfluorierten Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) im Jahr 2016 die bedeutendste. Zwischen 1995 (dem Referenzjahr für fluorierte Treibhausgase) und 2016 haben sich die HFKW-Emissionen mehr als vervierfacht. Da die HFKW-Emissionen aber künftig wieder deutlich absinken werden, wird im Jahr 2035 ein Emissionsniveau von 69 % unterhalb von 2016 erreicht, dieses ist allerdings immer noch höher als im Basisjahr 1995. Die Emissionen von perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) wurden bis 2016 bereits um 88 % gegenüber 1995 reduziert; zukünftig sind hier nur noch geringe Emissionsminderungen zu erwarten. Die Emissionen von Schwefelhexafluorid (SF₆) wurden bis 2016 um rund 40 % gegenüber 1995 reduziert. Da aber zunächst ein Anstieg der SF₆-Emissionen projiziert wird, liegen die SF₆-Emissionen 2020 nur noch um 31 % niedriger als 1995. Dafür wird aber nach 2020 ein sehr deutlicher Rückgang erwartet, sodass die SF₆-Emissionen bis 2035 um etwa 85 % gegenüber 1995 reduziert werden können. Der nicht näher spezifizierte Mix aus HFKW und FKW wurde bis 2016 bereits um über 97 % gegenüber 1995 reduziert und wird etwa auf diesem Niveau bleiben. Die Emissionen von Stickstofftrifluorid (NF₃) haben ihr Maximum im Jahr 2010 erreicht, lagen 2016 aber immer um ein mehrfaches höher als 1995, haben aber auch zukünftig eine vernachlässigbare Bedeutung. Die Reduktionen gegenüber den Basisjahremissionen des Kyoto-Protokolls (hier wurden für CO₂, CH₄ und N₂O die Emissionen des Jahres 1990, für die fluorierten Gase hingegen die Emissionen des Jahres 1995 angesetzt) sind jeweils geringfügig höher als die Emissionsreduktionen gegenüber dem Jahr 1990.

Treibhausgas	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)	3,1	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Schwefelhexafluorid (SF ₆)	4,4	3,3	3,2	3,9	4,3	2,7	1,2	1,0
Nicht spezifizierter Mix (HFKW/FKW)	5,8	1,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Stickstofftrifluorid (NF ₃)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	1.251,6	993,1	942,8	909,4	835,6	800,4	730,0	697,6
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-8,4 %	-15,9 %	-19,4 %	-26,5 %	-29,8 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,7 %	-24,7 %	-27,3 %	-33,2 %	-36,0 %	-41,7 %	-44,3 %
ggü. Basisjahr ^b	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-27,6 %	-33,4 %	-36,2 %	-41,8 %	-44,4 %
Nachrichtlich:								
CO ₂ aus Biomasseverfeuerung	22,1	60,2	109,3	104,5	108,1	117,8	119,7	117,5

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung. ^b Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, die Basisjahremission wurden entsprechend berechnet.

Kumuliert werden im Projektionszeitraum (2017 bis 2035) 14,9 Gt (Gigatonnen) CO₂e emittiert, davon entfallen auf fossiles Kohlendioxid 13,1 Gt CO₂e, auf Methan 0,9 Gt CO₂e, auf Lachgas 0,7 Gt CO₂e und auf die fluorierten Treibhausgase 0,2 Gt CO₂e. Weitere 2,2 Gt CO₂ stammen aus der Biomasseverfeuerung.

4.3.2. Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im MMS bieten Tabelle 101 sowie Abbildung 31.⁸⁸ Die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern weicht vom Sektorzuschnitt des *Klimaschutzplans 2050* ab. In der nationalen Betrachtung ohne internationalen Luft- und Seeverkehr und ohne LULUCF sind die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2016 rund 27 % gegenüber dem Jahr 1990 bzw. um gut 8 % gegenüber dem Jahr 2005 gesunken. Bis zum Jahr 2020 werden die Emissionen um rund 33 % gegenüber 1990 (-16 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2035 um gut 44 % gegenüber 1990 (-30 % gegenüber 2005) sinken.

Die Energiewirtschaft hat den größten Anteil an den von 2016 bis zum Jahr 2035 erzielten Emissionsminderungen. Die Emissionen sinken hier gegenüber 2016 absolut um 46 Mt CO₂e bis 2020 und um 84 Mt CO₂e bis 2035. Im Jahr 2020 entspricht das einer Minderung von 14 % gegenüber 2016 (-33 % ggü. 1990) und im Jahr 2035 einer Minderung von 25 % (-42 % ggü. 1990). Diese Abnahme ist in erster Linie auf den Rückgang der Kohleverstromung zurückzuführen. Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke tragen zu etwa gleichen Anteilen zu dieser Emissionsreduktion bei. Die Treibhausgasemissionen aus der übrigen Energiewirtschaft sinken hauptsächlich aufgrund rückläufiger Energieverbräuche der Raffinerien. Der Anteil der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen ändert sich hingegen nur wenig. War dieser Anteil an den Gesamtemissionen (ohne internationalen Verkehr und LULUCF) von gut 34 % im Jahr 1990 auf knapp 37 % im Jahr 2016 angestiegen, sinkt er bis 2035 auf knapp 36 %.

⁸⁸ Eine Übersicht der Emissionsentwicklung in der Sektordefinition des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung bietet Tabelle A 3 im Anhang A3.

Die energiebedingten Industrieemissionen sinken von 2016 bis 2020 um 8 Mt CO₂e bzw. etwa 7 % (37 % unterhalb von 1990), um bis 2035 um 23 Mt CO₂e bzw. 18 % gegenüber 2016 abzusinken (-45 % ggü. 1990). Insgesamt steigt der Anteil der Industrieemissionen von knapp 14 % im Jahr 2016 auf knapp 15 % im Jahr 2035.

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sinken bis 2020 um rund 1 Mt CO₂e bzw. 2 % gegenüber 2016 (-49 % ggü. 1990) und sinken dann gegenüber dem Jahr 2016 um 18 Mt CO₂e bzw. 40 % bis zum Jahr 2035 (-69 % ggü. 1990). Der Anteil von GHD an den Gesamtemissionen bleibt bei etwa 4 %.

Der zweitgrößte Beitrag zur projizierten Emissionsreduktion kommt von den privaten Haushalten: Diese reduzieren ihre Emissionen gegenüber 2016 bis 2020 um 14 % bzw. 13 Mt CO₂e (-40 % ggü. 1990) und bis 2035 um 46 % bzw. 42 Mt CO₂e (-63 % ggü. 1990). Zudem sinkt der Anteil der privaten Haushalte an den Gesamtemissionen von 10 % im Jahr 2016 auf 7 % im Jahr 2035. Diese Emissionsreduktion kommt einerseits durch den abnehmenden Wärmebedarf durch Sanierungsmaßnahmen, und andererseits durch den geringer werdenden Marktanteil von Heizölkesseln zustande.

Im Verkehr werden nur geringe Emissionsreduktionen erreicht. Bis 2020 steigen die Emissionen weiter an, danach ist eine Reduktion bis 2035 um 15 Mt CO₂e bzw. 9 % gegenüber 2016 (-7 % ggü. 1990) zu verzeichnen. Dennoch setzt sich der historische Trend des steigenden Anteils der Verkehrsemissionen fort: Hatte der Verkehr 1990 noch einen Anteil von gut 13 % an den Gesamtemissionen, stieg dieser Anteil bis 2016 auf gut 18 % und wird 2035 bei knapp 22 % liegen. Außerdem ist anzumerken, dass sich aufgrund des Ausbaus der Elektromobilität ein Teil der Emissionen aus dem Verkehrssektor in die Energiewirtschaft verlagert, da die öffentliche Stromerzeugung in letzterem bilanziert wird.

Die flüchtigen Emissionen der Energiesektoren weisen geringe absolute aber hohe relative Emissionsminderungen auf: Emissionsminderungen von 3 Mt CO₂e von 2016 bis 2020 und von 4 Mt CO₂e bis 2035 entsprechen Rückgängen gegenüber 2016 um 27 % im Jahr 2020 (-81 % ggü. 1990) und 35 % im Jahr 2035 (-83 % ggü. 1990). Ursächlich ist hier vor allem der im Jahr 2018 erfolgte Ausstieg aus dem Steinkohlenbergbau. Der relative Anteil bleibt bei etwa 1 %.

Von den Nicht-Energie-Emissionen waren die Emissionen aus Industrieprozessen 1990 die bedeutendsten und machten damals knapp 8 % der Gesamtemissionen aus, 2016 lag der Anteil der Industrieprozesse bei knapp 7 % und dieser Anteil wird sich bis 2035 auf gut 6 % reduzieren. Diese Reduktion findet vor allem bei der Stahlerzeugung bedingt durch einen Rückgang der Produktion – und bei den F-Gasen statt, bei letzteren aufgrund der F-Gas-Regulierungen auf EU-Ebene. Insgesamt werden die Emissionen aus Industrieprozessen gegenüber dem Jahr 2016 bis 2020 um knapp 4 Mt CO₂e bzw. 6 % (-40 % ggü. 1990) und bis 2035 um 17 Mt CO₂e bzw. 28 % (-54 % ggü. 1990) reduziert.

Zwar sanken die Emissionen aus der Landwirtschaft zwischen 1990 und 2016, aber dennoch ist die Landwirtschaft mittlerweile bedeutendste Quelle für Treibhausgase außerhalb des Energiesektors geworden. Zudem ist die Landwirtschaft der Sektor, der in der Projektion die geringste Emissionsminderung aufweist: gegenüber 2016 bis 2020 um 2 Mt CO₂e bzw. 3 % (-20 % gegenüber 1990) und bis 2035 4 Mt CO₂e bzw. 6 % gegenüber 2016 (-23 % gegenüber 1990). Dies bedeutet auch, dass der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen von gut 6 % im Jahr 1990 über 7 % im Jahr 2016 auf knapp 9 % im Jahr 2035 ansteigen wird.

Der Anstieg der landwirtschaftlichen Emissionen und der nur noch geringe Rückgang der Emissionen der Abfallwirtschaft erklären den in Kapitel 4.3.1 beobachteten unterdurchschnittlichen Rückgang der Methan- und Lachgasemissionen.

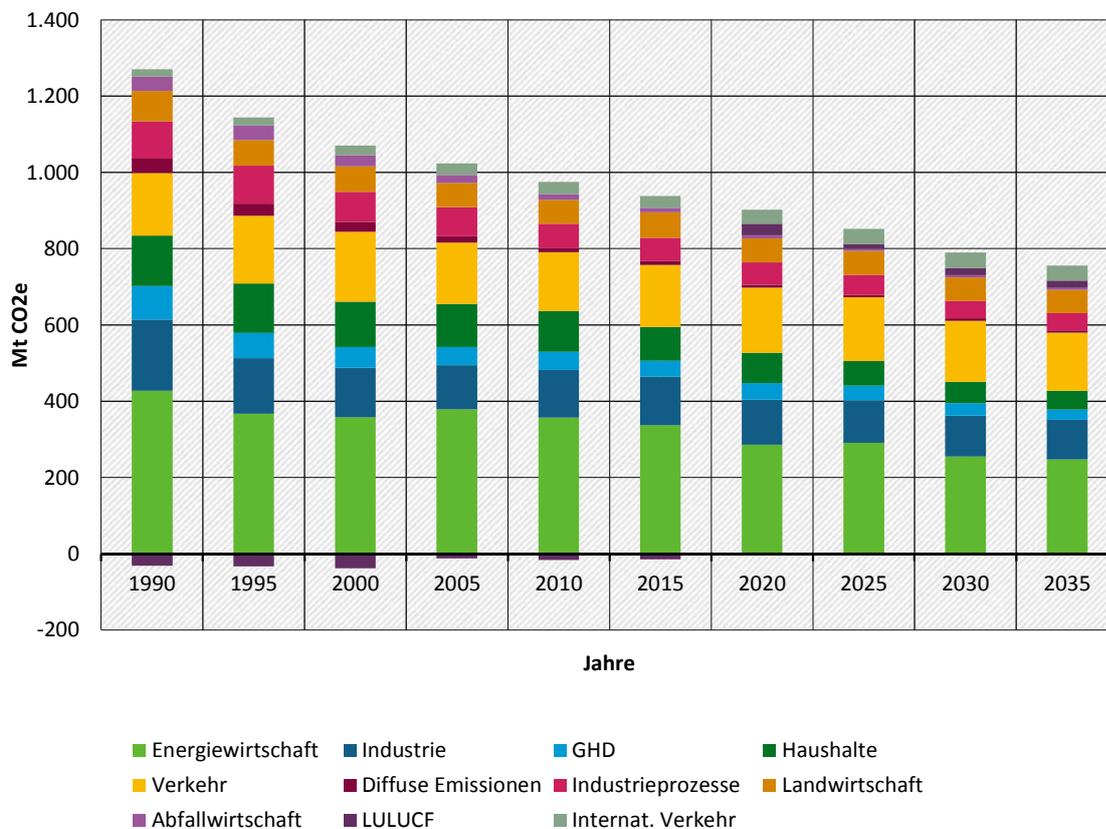
Die Abfallwirtschaft ist der Sektor, der mit einem Rückgang der Emissionen von 1990 bis 2016 um knapp 73 % die historisch höchsten relativen Emissionsminderungen aufweist. Dennoch können die Emissionen der Abfallwirtschaft zwischen 2016 und 2020 um weitere 2 Mt CO₂e bzw. 18 % und bis 2035 um 5 Mt CO₂e bzw. 48 % gegenüber 2016 reduziert werden. Damit weist die Abfallwirtschaft mit 77 % im Jahr 2020 und 86 % im Jahr 2035 auch weiterhin die größten relativen Emissionsminderungen gegenüber 1990 auf. Haupttreiber für diese Entwicklung ist die verminderte Deponierung von organischen Abfällen seit dem Jahr 2005, wodurch die Methanemissionen aus Deponien auch in den kommenden Jahrzehnten weiter abnehmen.

Der LULUCF-Sektor stellte in der Vergangenheit in Summe eine Senke dar, in der Projektion hingegen wird er zu einer Emissionsquelle. Hierzu wird auf das Kapitel 3.1.12 verwiesen.

Die Emissionen aus dem Deutschland zuordenbaren Anteil des internationalen Luft- und Seeverkehrs stiegen von 1990 bis 2016 um 87 %. Bis zum Jahr 2020 werden diese Emissionen um weitere 2 Mt CO₂ bzw. 6 % und bis zum Jahr 2035 um 5 Mt CO₂e bzw. 13 % gegenüber dem Jahr 2016 ansteigen. Die Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs sind im Jahr 2020 um 87 % höher als im Jahr 1990 und im Jahr 2035 sogar mehr als doppelt so hoch wie im Jahr 1990.

Unter Berücksichtigung der Emissionen aus internationalem See- und Luftverkehr lagen die Emissionen im Jahr 2016 um 25 % niedriger als 1990 bzw. um 8 % unter dem Wert von 2005. Bis 2020 sinken die Emissionen um 27 % gegenüber 1990 (-11 % gegenüber 2005) und bis 2035 um 39 % gegenüber 1990 (-25 % gegenüber 2005).

Abbildung 31: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen (1990–2035)



Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Tabelle 101: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen, 1990-2035

Sektor ^b	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Energiewirtschaft	427,4	379,4	356,9	332,2	286,1	290,3	255,1	247,8
Industrie	186,7	115,3	125,1	126,4	118,0	112,0	107,1	103,4
GHD	88,4	47,8	47,6	45,1	44,0	38,3	32,5	27,0
Haushalte	131,9	112,0	107,0	91,5	78,9	65,0	55,9	49,4
Verkehr	164,4	161,4	154,2	166,8	171,2	166,5	160,3	152,1
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,0	7,3	7,0	6,7	6,4
Industrieprozesse	97,1	76,3	63,4	61,8	58,2	52,4	45,4	44,5
Landwirtschaft	79,4	63,3	62,6	65,2	63,2	62,0	61,5	61,5
Abfallwirtschaft	38,4	21,2	14,6	10,5	8,6	6,8	5,5	5,4
Gesamt	1.251,6	993,1	942,8	909,4	835,6	800,4	730,0	697,6
<i>ggü. 2005</i>	<i>26,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-5,1 %</i>	<i>-8,4 %</i>	<i>-15,9 %</i>	<i>-19,4 %</i>	<i>-26,5 %</i>	<i>-29,8 %</i>
<i>ggü. 1990</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-20,7 %</i>	<i>-24,7 %</i>	<i>-27,3 %</i>	<i>-33,2 %</i>	<i>-36,0 %</i>	<i>-41,7 %</i>	<i>-44,3 %</i>
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	<i>-0,3 %</i>	<i>-20,9 %</i>	<i>-24,9 %</i>	<i>-27,6 %</i>	<i>-33,4 %</i>	<i>-36,2 %</i>	<i>-41,8 %</i>	<i>-44,4 %</i>
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	29,5	11,3	19,0	18,8
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	34,7	36,9	39,5	41,1	39,3
Gesamt inklusive nachrichtlich	1.238,9	1.011,2	958,9	929,7	902,1	851,2	790,1	755,6
<i>ggü. 2005</i>	<i>22,5 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-5,2 %</i>	<i>-8,1 %</i>	<i>-10,8 %</i>	<i>-15,8 %</i>	<i>-21,9 %</i>	<i>-25,3 %</i>
<i>ggü. 1990</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-18,4 %</i>	<i>-22,6 %</i>	<i>-25,0 %</i>	<i>-27,2 %</i>	<i>-31,3 %</i>	<i>-36,2 %</i>	<i>-39,0 %</i>
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	<i>-0,3 %</i>	<i>-18,6 %</i>	<i>-22,8 %</i>	<i>-25,2 %</i>	<i>-27,4 %</i>	<i>-31,5 %</i>	<i>-36,4 %</i>	<i>-39,2 %</i>

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet. ^b Die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern weicht vom Sektorzuschnitt des *Klimaschutzplans 2050* ab. Eine Darstellung der „Umrechnung“ für Vergleichszwecke findet sich in Tabelle A 3.

4.3.3. Entwicklung der Treibhausgasemissionen in EU-Emissionshandel und ESD

Tabelle 102 beschreibt die Emissionsentwicklung in den vom Emissionshandel (ETS) und in den von der Effort-Sharing-Decision (ESD) erfassten Sektoren.⁸⁹ Bis 2020 gehen die Emissionen von stationären Anlagen im Emissionshandel um 24 % gegenüber dem Jahr 2005 zurück. Die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren gehen bis 2020 um 7 % zurück.⁹⁰ Im Zeitraum von 2020 bis 2030 gehen die Emissionen von stationären Anlagen in den

⁸⁹ Weder vom ETS noch vom ESD erfasst sind die NF₃-Emissionen.

⁹⁰ Die Minderungsverpflichtungen der Mitgliedstaaten bis 2020 im Rahmen dieser Entscheidung wurden in absolute Emissionsbudgets umgerechnet, um den seit 2008 erfolgten Veränderungen in der Zuordnung der verschiedenen Quellbereiche zum Geltungsbereich der Effort-Sharing-Entscheidung und methodischen Änderungen bei der Inventarberechnung gerecht zu werden. Danach muss Deutschland 2020 ein Budget von 425,6 Mt CO₂e einhalten. Im MMS zeigen die Ergebnisse einen Rückgang der Emissionen bis 2020 auf etwa 436,6 Mt CO₂e.

vom Emissionshandel erfassten Sektoren nur um 8 Prozentpunkte zurück, während die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren um gut 13 Prozentpunkte zurückgehen. Im ETS kommt die Reduktion der Emissionen zum deutlich größeren Teil aus der Energiewirtschaft (vor allem von fossilen Kraftwerken) und zum kleineren Teil aus der Industrie. Etwa die Hälfte der Emissionsminderung im ESD liefern die Gebäude (GHD und private Haushalte). Weitere relevante ESD-Minderungen kommen aus der Industrie (hier vor allem durch die Reduktion der Emission fluoriertes Treibhausgase), Energiewirtschaft und der Reduktion der diffusen Emissionen. Die ESD-Emissionen des Verkehrs steigen bis 2020 noch an, sinken dann aber bis 2035 deutlich ab. Kleinere Reduktionsbeiträge kommen aus der Abfallwirtschaft und der Landwirtschaft. Während der Emissionsrückgang im ESD zwischen 2020 und 2035 relativ gleichmäßig erfolgt, sind beim ETS deutliche Variationen zu erkennen: Zwischen 2020 und 2025 gehen die ETS-Emissionen kaum zurück. Ein Grund hierfür ist der durch den Kernenergieausstieg bedingte Wegfall emissionsfreier Kraftwerke. Zwischen 2025 und 2030 ist der Emissionsrückgang im ETS deutlich stärker und in ähnlicher Geschwindigkeit wie in den ESD-Sektoren. Nach 2030 nimmt die Minderungsgeschwindigkeit im ETS wieder ab.

Die Emissionen der stationären Anlagen, die vom Emissionshandel erfasst werden, erfolgt durch eine Abschätzung für die einzelnen Sektoren (CRF-Kategorien), zu welchem Anteil sie vom Emissionshandel erfasst werden. Hier treten naturgemäß Ungenauigkeiten auf, weil die Modellierung nicht emissionshandelspflichtige Anlagen abbildet, sondern die Sektoren des Inventars.

Tabelle 102: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035

	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Emissionen stationärer ETS ^a	518,9	478,9	452,9	396,6	394,0	354,1	343,4
Emissionen ESD ^b	471,6	461,3	454,1	436,6	404,1	373,4	351,9
Summe ESD und stationärer ETS ^c	990,5	940,2	907,0	833,2	798,1	727,7	695,4
<i>Stationärer ETS ggü. 2005</i>	0,0 %	-7,7 %	-12,7 %	-23,6 %	-24,1 %	-31,8 %	-33,8 %
<i>ESD ggü. 2005</i>	0,0 %	-2,2 %	-3,7 %	-7,4 %	-14,3 %	-20,8 %	-25,4 %
NF ₃ (außerhalb von ESD und ETS) ^d	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), (EEA 2018), Berechnungen des Öko-Institut

Anmerkung: ^a Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. ^b Jahre 2005-2016 aus Konsistenzgründen (Vergleich mit Daten für 2020-2035) mit CRF-Kategorien berechnet; in der ab 2013 gültigen ETS-Abgrenzung. Entspricht nicht dem Basiswert für das Minderungsziel unter der Effort-Sharing-Entscheidung. ^c Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs sowie sämtliche NF₃-Emissionen weder vom stationären ETS noch vom ESD erfasst sind. ^d NF₃-Emissionen sind weder von ESD noch von ETS erfasst.

4.4. Sensitivitätsanalysen

Die Annahmen für die verwendeten Rahmendaten sind aufgrund der großen zeitlichen Spanne bis zum Jahr 2035 mit Unsicherheiten verbunden. Um den Einfluss von Abweichungen in den Grundannahmen zur Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsentwicklung und zu den Energie- und CO₂-Preisen auf die Ergebnisse abschätzen zu können, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Wie in Kapitel 2.2 bereits beschrieben, wurde hierfür für die Energiepreise auf die Werte des Niedrigpreisszenarios aus der Folgenabschätzung des *Klimaschutzplans 2050* zurückgegriffen (Öko-Institut et al. 2019). Der Preis für die CO₂-Zertifikate im Europäischen Emissionshandelssystem (EUA) wurde für diese Analyse auf dem für 2020 angenommenen Niveau kon-

stant gehalten.⁹¹ Die gewählten Annahmen für Energie- und CO₂-Preise der Sensitivitätsrechnung sind in Tabelle 103 dargestellt.

Tabelle 103: Energie- und CO₂-Preise für die Sensitivitätsrechnung „Mittelfristig niedrigere Preise“

	2020	2025	2030	2035
	€ ₂₀₁₆ /GJ bzw. € ₂₀₁₆ /EUA			
Rohöl Brent	10,9	12,1	13,3	14,3
Steinkohle*	3,1	3,1	3,1	3,1
Erdgas	5,5	6,1	6,1	6,1
EUA	15,5	15,5	15,5	15,5

*Aus Gründen der Vergleichbarkeit entsprechen die Annahmen der Sensitivität dem Niedrigpreisszenario aus der Folgenabschätzung des Klimaschutzplans. Die Kohlepreise folgen hier dem im Jahr 2020 angegebenen Preis aus dem Annual Energy Outlook 2017 der EIA, der für die Folgejahre fortgeschrieben wurde. Daher ist der Preis in 2020 und 2025 höher als im MMS.

Quelle: Herleitung und Details siehe Tabelle 3, S. 40

Der Einfluss der Bevölkerungsentwicklung und des Wirtschaftswachstums auf die energiebedingten THG-Emissionen wurde mit Hilfe einer Komponentenzerlegung durchgeführt.⁹² Für die oben genannte Variation der Energie- und CO₂-Preise wurde eine weitere Strommarktmodellierung eingesetzt.

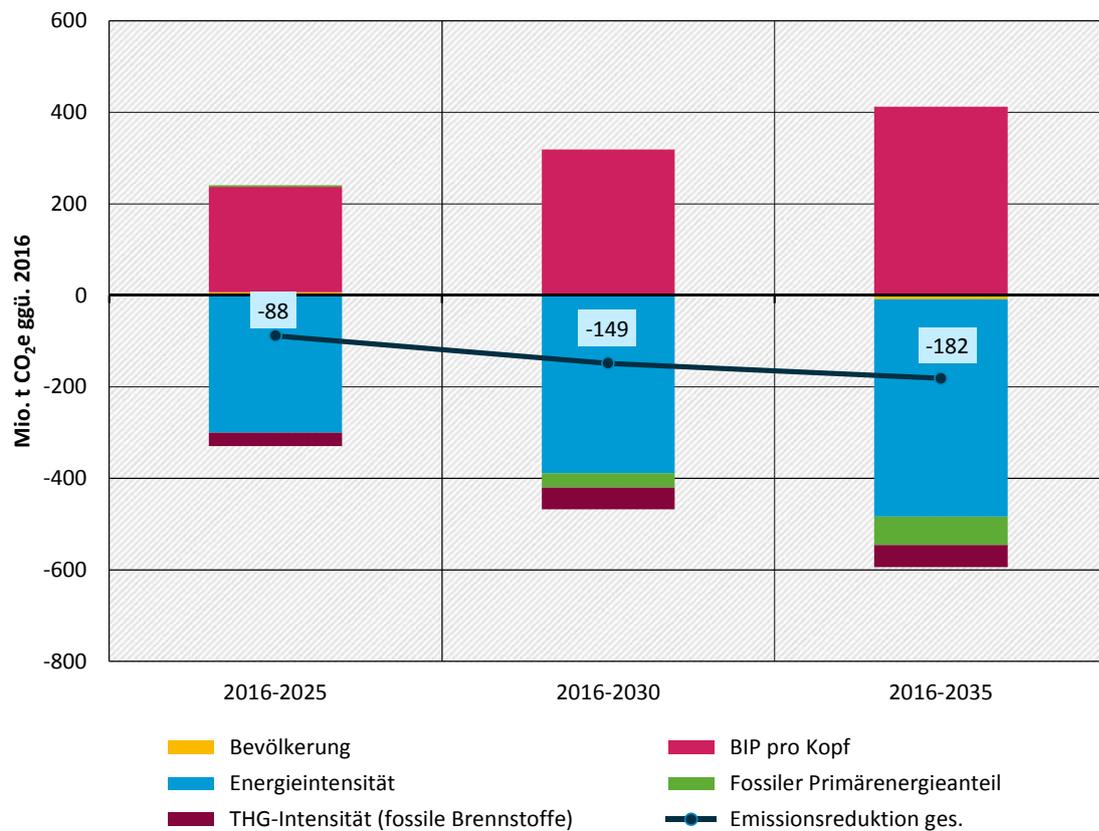
4.4.1. Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung

Die Ergebnisse der Komponentenzerlegung sind in Abbildung 32 dargestellt. Hierbei wird deutlich, welchen positiven oder negativen Einfluss die vorher definierten Treiber auf die THG-Emissionen haben. Insgesamt zeigt sich, dass im MMS die energiebedingten Emissionen zwischen Jahren 2016 und 2035 um 182 Mt CO₂e sinken. Die steigende Wirtschaftsleistung hat dabei mit Abstand die größte emissionssteigende Wirkung (+412 Mt CO₂e), wird aber durch verbesserte Energieeffizienz (-475 Mt CO₂e) mehr als ausgeglichen. Die leicht zurückgehende Bevölkerung hat nur einen geringen Einfluss auf die THG-Emissionen. Mit zusammengenommen -111 Mt CO₂e trägt der sinkende Anteil der fossilen Energieträger und die geringere Emissionsintensität der verbleibenden fossilen Brennstoffe ebenfalls wesentlich zu den sinkenden THG-Emissionen bei.

⁹¹ Das für 2020 angenommene EUA-Preisniveau liegt unterhalb des tatsächlichen Durchschnittspreises für das Gesamtjahr 2018. Die Rahmendaten für den Projektionsbericht 2019 wurden im Juni 2018 erstellt und gingen anschließend in die Modellierung für den Projektionsbericht ein. Seit Juni 2018 haben sich die EUA-Preise weiter entwickelt. Diese Entwicklung sei hier informativ dargestellt: Der Durchschnittspreis für das Gesamtjahr 2018 lag bereits knapp oberhalb des angenommenen Preisniveaus für 2020 aus der EU-Guideline 2018. Anfang 2019 erreichte der Preis mit knapp 23 €/EUA ungefähr das für 2025 angenommene Niveau. Dies zeigt, dass die Annahmen mit Unsicherheiten behaftet sind und die Marktentwicklung in Folge der Anfang 2018 beschlossenen Reform des EU-Emissionshandels zumindest für das Jahr 2018 unterschätzt wurde.

⁹² Angelehnt an Diekmann et al. ((1999)) mit Berücksichtigung von energiebedingten CH₄- und N₂O-Emissionen. Für Konsistenz mit der Bilanzierung des inländischen Primärenergieverbrauchs werden Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr, aber nicht die Emissionen des internationalen Seeverkehrs, eingeschlossen.

Abbildung 32: Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MMS)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Mit Hilfe dieser Komponentenzerlegung wurde die Sensitivitätsanalyse durchgeführt, indem alle Parameter konstant gehalten wurden und nur die Bevölkerungsentwicklung bzw. das BIP entsprechend der Vorgaben in Kapitel 2 verändert wurden.

- ▶ Die alternative Bevölkerungsprojektion entspricht bis zum Jahr 2020 den Wachstumsraten der Variante 2-A des StaBA, bei denen anschließend die Dynamik der EU-Guidance 2018 auf die Folgejahre angelegt wurde. Die Sensitivität liegt niedriger als die Grundannahme.
- ▶ Für die Sensitivitätsannahme des Wirtschaftswachstums wurde die EU-Guidance 2018 angewendet. Dieses Wirtschaftswachstum ist schwächer als die Grundannahme.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsrechnungen sind in Tabelle 106 aufgeführt. Die abgeschwächten Wirtschaftswachstumsraten führen dazu, dass weitere 26 Mt CO₂e bis 2035 eingespart werden. Bezogen auf 1990 entspricht das zusätzlichen 2 % THG-Minderung. Die stärkere Abnahme der Bevölkerung führt zu einer Verminderung der energiebedingten Emissionen um 7 Mt CO₂e bzw. weiteren 0,5 % ggü. 1990.

4.4.2. EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor

Als Sensitivität der CO₂- und Brennstoffpreise wurden die Werte des Niedrigpreisszenarios der Folgenabschätzung des *Klimaschutzplans 2050* (Öko-Institut et al. 2019) genutzt. Die Rohöl- und Erdgaspreise liegen hier niedriger als die Grundannahmen des MMS. Die Preise für Steinkohle sind zunächst höher als im MMS. Ab 2026 liegt der Preis wiederum darunter (Abbildung 4, S.38).

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse umfasst nur den Stromsektor. Der Einfluss, den die veränderten Preise auf andere Sektoren haben, wurde nicht untersucht.

Tabelle 104 zeigt die Veränderung der Stromerzeugung ggü. dem MMS, wenn die CO₂- und Brennstoffpreise entsprechend variiert werden. In den Jahren, in denen die Steinkohlepreise höher als in der Grundannahme sind (2020 und 2025), sinkt die Stromerzeugung aus Steinkohle. Zudem steigt der Stromimport. Bei den niedrigeren Steinkohlepreisen in 2030 und 2035 steigen hingegen die Stromerzeugung aus Steinkohle und der Stromexport.

Für 2035 ist zu sehen, dass im Gegensatz zum MMS die Stromproduktion aus Kohle steigt und aus Erdgas leicht sinkt, während der Exportsaldo steigt. Die Merit Order zeigt hier, dass mehr Kapazität aus Steinkohle in Deutschland verwendet wird und der Import von Strom aus ausländischen Erdgaskraftwerken sinkt. In 2030 dominiert jedoch ein anderer Effekt: Im MMS ist der CO₂-Preis ungefähr gleich mit dem niederländischen CO₂-Mindestpreis. In der Sensitivität ist die Differenz der EUA-Preise mit dem CO₂-Mindestpreis der Niederlande deutlich größer. Stromerzeugung aus Steinkohle in den Niederlanden geht also zurück. Dadurch schiebt sich Erdgas-erzeugung in Deutschland in der Merit Order vor die niederländische Steinkohle.

Tabelle 104: Veränderung der Stromerzeugung bei Veränderung der Brennstoff- und CO₂-Preise im MMS

	2020	2025	2030	2035
	TWh			
Braunkohle	0,1	0,2	0,5	2,0
Steinkohle	-6,8	-3,8	0,7	4,0
Erdgas	1,6	1,8	3,6	-0,5
Strom-Importsaldo	4,6	1,6	-4,7	-5,2

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Die daraus resultierende Veränderung der CO₂-Emissionen sind in Tabelle 105 aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass in den Jahren, in dem die Stromproduktion aus der Steinkohle und der Stromexport sinken, auch die CO₂-Emissionen sinken. In den Jahren hingegen, in denen der CO₂-Preis, verglichen mit der Grundannahme, niedrig ist, steigt die Kohlestromerzeugung und somit auch die CO₂-Emissionen. Zusätzlich wird in diesen Jahren auch mehr Strom exportiert.

Tabelle 105: Veränderung der CO₂-Emissionen des Stromsektors bei niedrigen Brennstoff- und CO₂-Preisen, MMS⁹³

	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂			
Differenz	-5,2	-2,3	2,9	5,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

4.4.3. Ergebnis

In Tabelle 106 werden die Entwicklungen der THG-Emissionen für die Sensitivitätsrechnungen zusammengefasst:

⁹³ Die zur Berechnung der hier dargestellten Differenzen verwendeten CO₂-Emissionen des Stromsektors wurden nicht den Bereinigungen unterzogen, die in Tabelle 55 vorgenommen wurden, und weichen deshalb leicht ab. Dort wurden insbesondere die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt sowie Emissionsfaktoren der Kraftwerke nach Sektoren feiner differenziert.

Tabelle 106: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)

	1990	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e					
<i>Emissionen im Energiesektor (inkl. int. Flugverkehr)</i>						
MMS	1.048,8	798,3	733,9	709,9	649,7	616,6
Schwächeres Wirtschaftswachstum			721,1	683,8	625,9	591,0
Niedrigere Bevölkerung			732,0	705,6	645,2	609,7
Mittelfristig niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			728,7	707,6	652,6	622,4
Differenz gegenüber MMS						
Schwächeres Wirtschaftswachstum			-12,8	-26,0	-23,8	-25,6
Niedrigere Bevölkerung			-1,9	-4,3	-4,6	-7,0
Mittelfristig niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			-5,2	-2,3	2,9	5,7
Gesamtemissionen (ohne int. Verkehr & LULUCF)						
MMS	1.251,6	909,4	835,6	800,4	730,0	697,6
Schwächeres Wirtschaftswachstum			822,8	774,4	706,2	672,0
Niedrigere Bevölkerung			833,7	796,1	725,5	690,6
Mittelfristig niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			830,4	798,2	732,9	703,3
Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990 (%)						
MMS		-27,3 %	-33,2 %	-36,0 %	-41,7 %	-44,3 %
Schwächeres Wirtschaftswachstum			-34,3 %	-38,1 %	-43,6 %	-46,3 %
Niedrigere Bevölkerung			-33,4 %	-36,4 %	-42,0 %	-44,8 %
Mittelfristig niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			-33,7 %	-36,2 %	-41,4 %	-43,8 %

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

5. Institutionelle Maßnahmen und Instrumente zum Kyoto-Protokoll

5.

5.1. Zuständigkeiten auf Bundesebene

5.1.1. IMA „CO₂-Reduktion“

Die Bundesregierung hat bereits frühzeitig eine umfassende Klimaschutzstrategie entwickelt. Mit dem Beschluss vom 13. Juni 1990 wurde die Interministerielle Arbeitsgruppe (IMA) "CO₂-Reduktion" unter Federführung des BMU eingerichtet. Die Aufgabe dieser Arbeitsgruppe besteht darin, Leitlinien für das klimaschutzpolitische Handeln zu entwerfen, den bestehenden Handlungsbedarf zu identifizieren, Potenziale zur Minderung von Treibhausgasen aufzuzeigen und dem Bundeskabinett umfassende Maßnahmenbündel zur Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland vorzuschlagen. Die IMA „CO₂-Reduktion" hat dem Bundeskabinett im November 1990, Dezember 1991, September 1994, November 1997, Oktober 2000 und Juli 2005 Berichte zur Nationalen Klimaschutzstrategie vorgelegt. Zuletzt hat die Bundesregierung 2014 das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 erarbeitet.

5.1.2. Arbeitsgruppe „Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffekts“ (AGE)

Das Bundeskabinett hat am 18. Oktober 2000 im Rahmen des Nationalen Klimaschutzprogramms die Arbeitsgruppe "Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffektes" (AGE) unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) eingerichtet. Im Klimaschutzprogramm 2005 hat das Bundeskabinett die Beratungen der AGE nachdrücklich begrüßt und das Mandat verlängert. Die Arbeitsgruppe hat die Aufgabe, Fragen, die sich im Zusammenhang mit dem Einsatz des Emissionshandels im klimaschutzpolitischen Maßnahmenbündel ergeben zu prüfen und Empfehlungen für die Ausgestaltung dieses Instruments zu geben. Dies hat sich auch für die laufende dritte (2013-2020) und die Gestaltung der vierten Handelsperiode (2021-2030) bewährt. Hintergrund für die Beratungen der AGE sind sowohl die Diskussionen auf der internationalen Ebene (Klimarahmenkonvention, Kyoto-Protokoll, Übereinkommen von Paris), die Ausgestaltung und Umsetzung von Klimapolitik auf Europäischer Ebene, wie das Klima- und Energiepaket 2020 sowie der Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 sowie die nationale Umsetzung der Emissionshandelsrichtlinie (Treibhausgasemissionshandelsgesetz – TEHG und weitere begleitende Rechtsakte).

5.1.3. Nationales System Emissionsinventare und die Nationale Koordinierungsstelle

Artikel 5 des Kyoto-Protokolls verpflichtet alle im Anhang B aufgeführten Vertragsstaaten ein Nationales System zur Emissionsberichterstattung aufzubauen, das den jeweiligen national verfügbaren Sachverstand in die Erstellung der Treibhausgasinventare einbeziehen soll. Auch in den überarbeiteten Berichterstattungsvorschriften unter der Klimarahmenkonvention, wie auch gemäß der EU-Verordnung Nr. 525/2013/EU, sind ab 2013 ähnliche Anforderungen zum Aufbau institutionellen Arrangements enthalten.

Die Umsetzung dieser Anforderung erfolgte in Deutschland auf der Grundlage einer Entscheidung der Staatssekretäre der an der Berichterstattung zu beteiligenden Ressorts vom 05.06.2007. Zur Erörterung aller zu klärenden Fragen im Rahmen des Nationalen Systems, insbesondere zu Fehlstellen in den Datenströmen, sowie zur offiziellen Freigabe der Inventare und der nach den Artikeln 5, 7 und 8 des Kyoto-Protokolls notwendigen Berichte ist ein Koordinie-

rungsausschuss aller an der Berichterstattung beteiligten Ressorts eingerichtet, der den Prozess der Emissionsberichterstattung begleitet. Die Federführung hat das BMU.

Das Umweltbundesamt, Fachgebiet V 1.6 „Emissionssituation“ ist als die zuständige Nationale Koordinierungsstelle („single national entity“) für die Berichterstattung nach VN-Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll benannt. Die Nationale Koordinierungsstelle ist dafür zuständig, das nationale Inventar zu planen und zu erstellen, eine Qualitätskontrolle und -sicherung bei allen relevanten Prozessschritten durchzuführen, auf eine ständige Verbesserung des Inventars hinzuwirken, und die Entscheidungen des Koordinierungsausschusses vorzubereiten. Die Nationale Koordinierungsstelle dient darüber hinaus als zentrale Anlaufstelle und koordiniert und informiert alle Teilnehmer des Nationalen Systems, wie auch die Öffentlichkeit.

Für die jährliche Erstellung des nationalen Emissionsinventars werden Daten zur Berechnung von Emissionsquellen und -senken verwendet, die nach Maßgabe der Anforderungen des Art. 7 Abs. 1-5 der Verordnung 525/2013/EU und des Art. 3 der Durchführungsverordnung 749/2014/EU zur Berechnung der Emissionen in den Quell- und des Abbaus in den Senkengruppen erforderlich sind. Die Zuständigkeiten für die Bereitstellung dieser Daten werden durch den Staatssekretärsbeschluss vom 05.05.2007 wie folgt auf die Ressorts verteilt:

Für die Quellgruppe 1 (Energie) ist – mit Ausnahme der Quellgruppen 1.A.3 (Verkehr) und 1.A.5a (Energie: Sonstige), soweit Emittenten der Bundeswehr betroffen sind – das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie zuständig.

Für die Quellgruppen 2 (Industrieprozesse und Produktverwendungen) ist, mit Ausnahme der Emissionen an fluorierten Gasen, das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie zuständig.

Für die Quellgruppe 1.A.3 (Verkehr) ist das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur zuständig.

Für die Quellgruppe 1.A.5a (Energie: Sonstige) ist, soweit Emittenten der Bundeswehr betroffen sind, das Bundesministerium für Verteidigung zuständig. Soweit Daten der Geheimhaltung unterliegen, werden vom Umweltbundesamt die Erfordernisse der Geheimhaltung berücksichtigt.

Für die Quell- und Senkengruppen 3 (Landwirtschaft) und 4 (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) ist das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft zuständig.

Für die Quellgruppe 5 (Abfall), die Emissionen an fluorierten Gasen in den Quellgruppen 2, sowie die Treibhausgas-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse, ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit zuständig.

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft ist auch für die Erstellung der Tabellen im einheitlichen Berichtsformat nach der Entscheidung 529/2013/EU in den Quell- und Senkengruppen 3 und 4 zuständig.

Grundsätzlich sind für Durchführungsaufgaben der amtlichen Statistik einschließlich Datenlieferung, Qualitätskontrolle, Dokumentation und Archivierung der Daten die nach den einschlägigen Statistikvorschriften bestimmten Behörden zuständig. Die Zusammenarbeit der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder mit den mit der Berichterstattung befassten Stellen erfolgt durch das Statistische Bundesamt. Dabei ist die statistische Geheimhaltung sicherzustellen

5.1.4. DEHSt

Die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt ist die zuständige nationale Behörde zur Umsetzung der marktwirtschaftlichen Klimaschutzinstrumente Emissionshandel sowie projektbasierten Mechanismen des Kyoto-Protokolls. Sie nimmt ein breites Aufgabenspektrum wahr. Die EU-Emissionshandelsrichtlinie, das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz

(TEHG), die Zuteilungsverordnung (ZuV 2020) sowie das Projektmechanismengesetz (ProMechG) definieren dieses genauer.

Die DEHSt unterstützt Anlagenbetreiber, Luftfahrzeugbetreiber und sachverständige Stellen (Verifizierer) aktiv bei der ordnungsgemäßen Umsetzung der emissionshandelsrechtlichen Vorgaben und stellt diese durch entsprechende Kontrollen sicher. Neben der Überwachung der jährlichen Emissionsberichterstattung gehören dazu im Wesentlichen die Berechnung und Ausgabe der kostenlosen Zuteilung, die Steuerung der Versteigerung von Emissionsberechtigungen in Deutschland sowie das Kontomanagement für alle Konten im deutschen Teil des EU-Emissionshandelsregisters. Seit 2014 ist die DEHSt zudem für die Zahlung der Beihilfe für stromintensive Unternehmen zur Kompensation indirekter CO₂-Kosten (sog. Strompreiskompensation) zuständig. Zudem erstellt die DEHSt Analysen und Auswertungen, die sie in Form von Berichten der Öffentlichkeit in deutscher und oftmals auch in englischer Sprache zur Verfügung stellt. Hierzu zählen bspw. die jährlichen Auswertungsberichte der Ergebnisse der Emissionsberichterstattung der stationären Anlagen und Luftverkehrsbetreiber sowie die monatlichen Auktionsberichte. Im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben kooperiert die DEHSt mit der Nationalen Koordinierungsstelle und dem Nationalen System Emissionsinventare.

Darüber hinaus ist die DEHSt Kontaktstelle für das Bundesumweltministerium, für die Bundesländer und die zuständigen Landes-Immissionsschutzbehörden.

5.1.5. Koordinierungsstelle Marktmechanismen

Die Koordinierungsstellen Marktmechanismen (KM) löst die im Vorfeld des Kyoto-Protokolls zur 1. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention 1995 eingerichtete Joint-Implementation-Koordinierungsstelle (JIKO) ab. Die KM hat die ihre Tätigkeit Ende 2018 im Vorfeld der 25. VSK in Kattowitz aufgenommen. Die Aufgaben der KM liegen in der Unterstützung der internationalen Klimaverhandlungen zu marktbasierter Klimaschutzmaßnahmen in den Bereichen UNFCCC zu Artikel 6 ÜvP, in ICAO zur Implementierung des Offsettings von CORSIA sowie in der IMO zur Entwicklung eines noch zu definierenden marktbasierter Ansatzes. Die KM unterstützt zudem in der Entwicklung und Implementierung von multilateralen und bilateralen Pilotaktivitäten zu den neuen Marktmechanismen. In der Zielsetzung der neuen Marktmechanismen soll die KM v.a. mithelfen, die Ablösung der Kyoto-Mechanismen durch die Mechanismen des Paris Abkommen umzusetzen. Insbesondere ist die Tätigkeit der KM auf die Zielsetzung der Ambitionssteigerung der NDCs in den Umsetzungsländern der freiwilligen Maßnahmen des Artikels 6 ausgerichtet. Der KM fällt die Aufgabe zu, die Entwicklung des internationalen Kohlenstoffmarkts ganzheitlich zu betrachten und beizutragen, wie internationale Klimaschutzprojekte wirksam an den Möglichkeiten der Umsetzungsländern ansetzen und darüber hinausgehen.

5.1.6. Focal Point für Bildung zum Klimaschutz

Im Rahmen der Umsetzung des Artikel 6 der Klimarahmenkonvention wurde der National Focal Point für Bildung zum Klimaschutz im Bundesumweltministerium eingerichtet, um die Vielfalt der Bildungsaktivitäten im Bereich des Klimaschutzes als wesentlichen Teilbereich der Nachhaltigen Entwicklung besser sichtbar zu machen und damit wiederum eine Grundlage zur Weiterentwicklung zu schaffen. Der Focal Point dient als Plattform für öffentliche und private Akteure im Bildungsbereich. Die vielen verschiedenen staatlichen und nichtstaatlichen Akteure des Bildungsbereichs und deren vielfältige Bildungsaktivitäten sollen im Rahmen des föderalen Systems stärker vernetzt werden; durch einen intensiven Austausch können Synergieeffekte verstärkt nutzbar gemacht werden.

5.2. Zuständigkeiten auf Länderebene

Die Bundesrepublik ist ein föderaler Staat, in dem die Zuständigkeiten von Bund und Ländern durch das Grundgesetz geregelt werden. Die einzelnen Bereiche des Umweltrechts sind der konkurrierenden Gesetzgebung zugeordnet. Dies bedeutet, dass die Bundesländer die Gesetzgebungsbefugnis haben, solange der Bund nicht von seiner Gesetzgebungszuständigkeit Gebrauch macht. Der Bund prägt die Umweltgesetzgebung und die Umsetzung von EU-Richtlinien im Umweltbereich. Die Länder wirken über den Bundesrat an der Bundesgesetzgebung unmittelbar mit.

Alle 16 deutschen Bundesländer verfügen über Konzepte, Programme und/oder Pläne zum Klimaschutz (siehe hierzu die Übersicht in (BMUB 2013), Seiten 98 bis 103). Häufig sind diese mit dem Thema Energieversorgung verknüpft. In mehreren Ländern gibt es Klimaschutzgesetze, Berlin hat ein Energiezukunftsgesetz. Teilweise handelt es sich um integrierte Konzepte, die Klimaschutz und Klimaanpassung gleichermaßen behandeln. Dazu kommen weitere Ziele für die Steigerung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien⁹⁴.

Die Verwaltungsorganisation in den Ländern ist in der Regel dreistufig gegliedert. Sie ist unterteilt in die Landesregierung, die Regierungspräsidien sowie die Landratsämter oder Stadtkreise. Der Aufbau der Verwaltung obliegt grundsätzlich dem jeweiligen Bundesland. In mehreren Ländern sind die Ressortzuständigkeiten für Klimaschutz- und Energiepolitik zusammengelegt (BW, BE, HH, HE, NI, RP, ST, SH, TH). Teilweise wird der Klimaschutz durch die Gründung von Energieagenturen und Netzwerken institutionell unterstützt.

Der regelmäßige Bund-Länder-Austausch zu Klimaschutzthemen findet in verschiedenen Gremien statt (siehe Tabelle 107). Zur Evaluierung von Synergieeffekten und Integrationsmöglichkeiten verschiedener Bund-Länder-Arbeitsgremien, die sich mit Klimaschutz befassen, hat die UMK im Dezember 2016 die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität - Nachhaltigkeit (BLAG KliNa) beauftragt, einen länderoffenen Ausschuss Klimaschutz für zwei Jahre einzurichten. Die BLAG KliNa wurde von der UMK Ende 2018 beauftragt, mögliche weitere Synergieeffekte zwischen Untergremien zu prüfen. Bis zu einer endgültigen Entscheidung über die künftigen Strukturen wird der Ausschuss weiter tagen.

Die klimapolitische Zusammenarbeit von Bund und Ländern erfolgt in Fachministerkonferenzen. Deren Beschlüsse entfalten zwar keine unmittelbare Rechtswirkung, sie geben jedoch die politische Agenda zu Klima-, Umwelt- und Energiethemen⁹⁵ vor. Die Umweltministerkonferenz (UMK), in der die Umweltressorts des Bundes und der Länder vertreten sind, hat sich bereits frühzeitig mit Klimaschutz und Energiethemen befasst und in einer Sonder-Umweltministerkonferenz "Klimawandel und Konsequenzen" 2007 deutlich gemacht, dass Deutschland und seine Länder ein vitales Interesse haben, aktive Klimaschutzpolitik im nationalen, europäischen und weltweiten Rahmen zu betreiben.

Ein wichtiger Mechanismus für die Zusammenarbeit zwischen den Bundes- und Landesbehörden ist mit den gemeinsamen Bund-Länder-Arbeitsgremien unter dem Dach der UMK gegeben. Die acht Arbeitsgremien der UMK stellen einen möglichst ländereinheitlichen Vollzug des Umweltrechts in der Bundesrepublik Deutschland sicher. Sie prüfen ihre Bereiche auf Klimarelevanz, um vorhandene Emissionsminderungspotenziale der im Kyoto-Protokoll reglementierten Treibhausgase zu erschließen.

⁹⁴ Es gibt zahlreiche landesspezifische Förderprogramme rund um den Klimaschutz. Einen aktuellen Überblick bietet die Internetseite <http://www.energiefoerderung.info>, auf der Bürgerinnen und Bürger für ihren Wohnort geltende Förderprogramme abrufen können.

⁹⁵ Energiethemen werden schwerpunktmäßig in der Wirtschaftsministerkonferenz behandelt.

Besondere Bedeutung für den Klimaschutz haben die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität - Nachhaltigkeit (**BLAG KliNa** – gegründet 2007), die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (**LAI** – gegründet 1964), die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (**LAGA** – gegründet 1963) und die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikalien-sicherheit (**BLAC** - gegründet 1996).

Tabelle 107: Übersicht des regelmäßig stattfindenden Austauschs zu Klimaschutzthemen zwischen Bund und Ländern im Rahmen der UMK-Struktur

Gremium	Teilnehmer	Organisation	Inhalte
AG Emissionshandel <i>7 Treffen pro Jahr</i>	Vertreter von Unternehmen, Verbänden, Gewerkschaften, der Bundesregierung, der Bundesfraktionen und einzelner Länder (BW, NS, NRW, RP)	AGE Sekretariat mit 9 MitarbeiterInnen, Vorsitz: BMU	Fragen des Emissionshandels und des Kohlenstoffmarktes diskutieren und Empfehlungen für die Ausgestaltung geben; Themenschwerpunkte: - Ausgestaltung des EU-Emissionshandelssystems auf europäischer und nationaler Ebene - Nutzung weiterer flexibler Mechanismen - Verknüpfung des Europäischen Emissionshandels mit anderen Emissionshandelssysteme
Aktionsbündnis Klimaschutz <i>2 Treffen pro Jahr</i>	Vertreter von Verbänden, einzelnen Ländern, Kommunen, der Wissenschaft und der Bundesregierung	BMU	- Umsetzung der beschlossenen Maßnahmen unterstützen - Aktivierung der Potenziale erleichtern, die derzeit noch als „nicht quantifizierbar“ eingestuft werden - Weitere Handlungsmöglichkeiten identifizieren
Bund-Länder Austausch Klimaschutz <i>2 Treffen pro Jahr</i>	Referenten für kommunalen Klimaschutz von Bund und Ländern	SK:KK (difu), finanziert vom BMU	Fachlicher informeller Austausch zu Themen des kommunalen Klimaschutzes, bspw. - Förderprogramme für Kommunen & Förderpraxis - Vorstellung von Modellprojekten, Instrumenten o.ä.
AG EEWärmeG <i>~ 1 Treffen pro Jahr</i>	Referenten für EEWärmeG von Bund und Ländern; Beteiligung vom BMWi	Arbeitsgruppe der BLAG KliNa; Vorsitz: HE; Gastgeber rotierend alle Länder	- Koordinierung des Vollzugs des EEWärmeG - Auslegungsfragen des EEWärmeG - Austausch zwischen den Länderreferenten
Ständiger Ausschuss Anpassung an die Folgen des Klimawandels (StA AFK) <i>2 Treffen pro Jahr</i>	Referenten für Anpassung an die Folgen des Klimawandels von Bund und Ländern	Arbeitsgruppe der BLAG KliNa; Vorsitz: BMU, NW & SN	- Begleitung der Fortschreibung des „Aktionsplans Anpassung“ im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie - Klimafolgenmonitoring der Länder und des Bundes, Indikatoren - Anpassungsstrategien des Bundes und der Länder - Finanzierungsfragen zur Anpassung an den Klimawandel - Koordinierung der Arbeit zum

Gremium	Teilnehmer	Organisation	Inhalte
			Thema Anpassung

Quelle: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit, Stand September 2016

Literaturverzeichnis

- AGEB (2008-2016): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Jahre 1990–2014 (Stand 2008 für die Jahre 1990-2002, Stand 2012 für die Jahre 2003-2010, Stand 2013 für das Jahr 2011, Stand 2014 für das Jahr 2012, Stand 2015 für das Jahr 2013, Stand 2016 für das Jahr 2014).
- AGEB (2008a-2018): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Jahre 1990–2016, AGEB. Verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2016.html>.
- AGEB (2008b-2018): Satellitenbilanz Erneuerbare Energien, Jahre 2000–2016, AGEB. Verfügbar unter <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2016.html>.
- AGEB (2018): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern.
- Alfen Consult GmbH; AVISO GmbH; Institut für Verkehrswissenschaft, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (2014a): 1. Ergänzung zum Wegekostengutachten 2013-2017. Mautsatzberechnung als Grundlage für den „Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes“. Verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/wegekostengutachten-2013-2017-ergaenzungsberechnung.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 02.08.2016.
- Alfen Consult GmbH; AVISO GmbH; Institut für Verkehrswissenschaft, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (2014b): 2. Ergänzungsberechnung zum Wegekostengutachten 2013 – 2017. Mautsatzberechnung als Grundlage für den „Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes“. Verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/wegekostengutachten-2013-2017-zweite-ergaenzungsberechnung.pdf?__blob=publicationFile.
- Barthel, C.; Franke, M.; Müller, P. & Dittmar, C. (2010): Analyse der Vorstudien für Wohnungslüftung und Klimageräte. Veröffentlichung im Rahmen des Projektes "Materialeffizienz und Ressourcenschonung" (MaRes) Arbeitspaket 14 (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.).
- BBSR (2015): Wohnungsmarktprognose 2030 (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Hrsg.), Bonn.
- BDEW (2016): Strompreisanalyse Mai 2016 - Haushalte und Industrie (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Hrsg.).
- Biere, David (2015): Modellgestützte Szenario-Analyse der langfristigen Erdgasnachfrageentwicklung der deutschen Industrie. Dissertation (Fakultät für Wirtschaftswissenschaften des Karlsruher Institut of Technology, Hrsg.), Karlsruhe.
- BMEL (2016): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre - Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Wald-Rohholzpotential-40Jahre.pdf?__blob=publicationFile.
- BMF (2015): 25. Subventionsbericht - Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 2013 bis 2016. Berlin: Bundesfinanzministerium.
- BMUB (2013): Sechster Nationalbericht. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen.
- BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_broschuere_bf.pdf, zuletzt abgerufen am 16.12.2016.
- BMVI (2016): Verkehr in Zahlen 2016/2017, Hamburg. Verfügbar unter http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehr-in-zahlen-pdf-2016-2017.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 15.05.2017.
- BMWi (2016): Zahlen und Fakten Energiedaten. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- BMWi (2018a): Frühjahrsprojektion der Bundesregierung: Altmaier: Der Aufschwung geht weiter! Verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2018/20180425-fruehjahrsprojektion-der-bundesregierung-altmaier-der-aufschwung-geht-weiter.html>.
- BMWi & BAFA (2017): Hintergrundinformationen zur Besonderen Ausgleichsregelung Antragsverfahren 2016 für Begrenzung der EEG-Umlage 2017.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2016): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2015. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), zuletzt abgerufen am 11.10.2016.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2017): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2016. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung, zuletzt abgerufen am 18.03.2019.
- Bundesbank (2018): Perspektiven der deutschen Wirtschaft - Gesamtwirtschaftliche Vorausschätzungen für die Jahre 2018 und 2019 mit einem Ausblick auf das Jahr 2020. Verfügbar unter https://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Downloads/Veroeffentlichungen/Monatsberichtsauftaetze/2018/2018_06_prognose.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 22.06.2018.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, Berlin. Verfügbar unter https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf, zuletzt abgerufen am 25.02.2018.

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017). Richtlinie über Zuwendungen für die Aus- und Umrüstung von Seeschiffen zur Nutzung von LNG als Schiffskraftstoff. Verfügbar unter http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/richtlinie-zuwendung-lng-seeschiffe.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 18.09.2017.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018b): Energiedaten: Gesamtausgabe. Verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>, zuletzt abgerufen am 24.08.2018.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018c): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). (Stand: Februar 2018). Verfügbar unter http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html, zuletzt abgerufen am 26.06.2018.
- Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt (2015): Monitoringbericht 2015. Bundesnetzagentur.
- Bundesnetzagentur (BNetzA) (2018): Kraftwerksliste Bundesnetzagentur - Stand 19.11.2018. Bundesnetzagentur (BNetzA).
- Bundesregierung (2013): Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (BMUB, Hrsg.).
- Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016.
- Bundesregierung (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland. gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2017?tx_ttnews%5BbackPid%5D=217, zuletzt abgerufen am 08.09.2017.
- Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) (2008): Die Zukunft der digitalen Consumer Electronics, Berlin.
- BWE (2018): Energiewende beschleunigen - Ausbau der Offshore-Windenergie läuft bis 2020 nach Plan. Verfügbar unter <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/detail/energiewende-beschleunigen-ausbau-der-offshore-windenergie-laeuft-bis-2020-nach-plan/>.
- Cuhls, C.; Mähl, B. & Clemens, J. (2015a): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, UBA Texte 39/2015, FKZ 206 33 326 & 3709 44 320. Umweltbundesamt.
- Cuhls, Carsten; Mähl, Birte & Clemens, Joachim (2015b): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Texte 39/2015), Dessau.
- de Jong, Gerard; Schroten, Arno; van Essen, Huib; Otten, Matthijs & Bucci, Pietro (2010): Price sensitivity of European road freight transport – towards a better understanding of existing results. significance; CE Delft, zuletzt abgerufen am 04.10.2016.
- dena (2016): Evaluation des Förderprogramms Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand. Berlin: dena.
- Deutscher Brauerbund (o.J.).
- Deutscher Bundestag (2015). Gesetz zur Finanzierung der Beendigung des subventionierten Steinkohlenbergbaus zum Jahr 2018 (2015). Verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/steinkohlefin/index.html>, abgerufen am 23.02.2017.
- Deutscher Bundestag (2016): Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Kostendeckung im öffentlichen Personennahverkehr. Drucksache 18/8180, zuletzt abgerufen am 12.07.2016.
- Deutscher Bundestag (2017): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung der Bestimmungen zur Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung und zur Eigenversorgung. KWKG.
- Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus & Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt (IWU).
- Diekmann, Jochen; Eichhammer, W.; Rieke, H.; Schlomann, B. & Ziesing, H. J. (1999): Energie-Effizienz-Indikatoren. Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Heidelberg: Physica.
- DIW (2014): Data Documentation 72. Electricity Sector Data for Policy-Relevant Modeling: Data Documentation and Applications to the German and European Electricity Markets. Verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/95950>.
- DIW (2018): Verkehr in Zahlen 2018/2019. 47. Jahrgang (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Hrsg.). Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW).
- Durand, Antoine; Jochem, Eberhard; Chassein, Edith; Roser, Annette; Joest, Steffen & Quezada, Akamitl (2018): Energy efficiency networks: Lessons learned from Germany. eceee industrial energy efficiency conference, Berlin.
- EC (2016a): Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2017 Final, 14/06/2016.
- EC (2018): Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2019 Final, 15/06/2016. European Commission (EC).
- EEA (2018): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer (European Environment Agency (EEA), Hrsg.). Verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>, zuletzt abgerufen am 10.09.2018.
- EIA (2017): Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050. Verfügbar unter [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf), zuletzt abgerufen am 22.06.2018.
- Eisland, R. (2016): Long-term energy demand in the German residential sector. Baden-Baden.

- ENTSO-E (2017): Summarized and aggregated provisional data of TYNDP 2018 scenarios (used also for MAF 2017). Version of October 2017. Verfügbar unter https://www.entsoe.eu/Documents/TYNDP2018_MAF2017_Market%20Data_provisional.xlsx, zuletzt abgerufen am 14.12.2018.
- EU Commission (2018): Review of Regulation 206/2012 and 626/2011. Air conditioners and comfort fans. Task 3 Report. Final Version. Verfügbar unter <https://www.eco-airconditioners.eu/download>.
- EuP Preparatory Studies Lot 10 (2008): Residential room conditioning appliances (airco and ventilation). Final Report. Verfügbar unter <http://www.ecoaircon.eu/>.
- European Commission Economic and Financial Affairs European Economy Institutional Papers (2017): The 2018 ageing report. Underlying assumptions & projection methodologies (European economy Institutional paper, 065 (November 2017)). Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- European Commission (EC) (2016b): EU Reference Scenario 2016 Main Results, Brussels.
- EWI; Prognos & gws (2014). Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose. Projekt Nr. 57/12.
- FhG IFAM (2015). Wirkungen von Förderprogrammen der KfW im Bereich Nichtwohngebäude der Förderjahre 2011 bis 2014.
- Fichtner et al. (2011). Evaluierung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien: Ergebnisse der Förderung für das Jahr 2010.
- Fichtner et al. (2012). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011.
- Fichtner et al. (2014a). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014 - Evaluierung des Förderjahres 2012.
- Fichtner et al. (2014b). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014 - Evaluierung des Förderjahres 2013.
- Fichtner et al. (2016). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014 - Evaluierung des Förderjahres 2014.
- Fleiter, T., Hirzel, S., Jakob, M., Barth, J., Quandt, L., Reitze, F. & Toro, F. (Hrsg.) (2010): Electricity demand in the European service sector: a detailed bottom-up estimate by sector and by end-use (Konferenzband der IEECB 13-14.04.2010), Frankfurt.
- Fleiter, T., Schломann, B. & Eichhammer, W. (Hrsg.) (2013): Energieverbrauch und CO2 Emissionen industrieller Prozesstechniken - Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Fleiter, Tobias; Braungardt, Sibylle; Sohaib, Tariq; Schломann, Barbara; Eichhammer, Wolfgang; Elsland, Rainer; Kranzl, Lukas & Jakob, Martin (2015): Assessing the impact of the EU Ecodesign Directive on a member state level (ecee summer study proceedings, Hrsg.), Presqu'île de Giens, France.
- Fleiter, Tobias; Fehrenbach, Daniel; Worrell, Ernst & Eichhammer, Wolfgang (2012a). Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials. Energy 40 (1), S. 84–99. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421200120X>.
- Fleiter, Tobias; Gruber, Edelgard; Eichhammer, Wolfgang & Worrell, Ernst (2012b). The German energy audit program for firms - a cost-effective way to improve energy efficiency? Energy Efficiency 5 (4), S. 447–469.
- Fleiter, Tobias; Rehfeldt, Matthias; Herbst, Andrea; Elsland, Rainer; Klingler, Anna-Lena; Manz, Pia & Eidelloth, Stefan (2018). A methodology for bottom-up modelling of energy transitions in the industry sector. The FORECAST model. Energy Strategy Reviews (22), S. 237–254.
- Fraunhofer ICT & Fraunhofer ISI (2010): EUPlastVoltage - Procedures and targets. Intelligent Energy Europe. Verfügbar unter <http://www.euplastvoltage.eu/uploads/downloads/procedures-and-targets.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.11.2015.
- Fraunhofer ISI (2014): Kurzstudie zur Prüfung der weiterführenden Förderung von Beleuchtungssystemen, die auf LED-Technik basieren im Rahmen des Förderprogrammes „Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Fraunhofer ISI & et al. (bevorstehend): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. Projekt Nr. 63/15 im Auftrag des BMWi. Abschlussbericht.
- Fraunhofer ISI; Fraunhofer IFAM; Prognos; IFEU & HfWU (2014): Ausarbeitung von Instrumenten zur Realisierung von Endenergieeinsparungen in Deutschland auf Grundlage einer Kosten-/Nutzen-Analyse. Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE). Zusammenfassung (Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, Prognos, IFEU & HfWU, Hrsg.), Karlsruhe.
- Fraunhofer IZM (2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland: Abschlussbericht.
- Fraunhofer IZM & Borderstep (2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- Fraunhofer IZM (Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration), Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung) (2009): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Studie im Auftrag des BMWi., Berlin, Karlsruhe.
- Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) (2002-2010): GfK Retail Panel Haushaltsgeräte Deutschland 1998-2008 – Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrpülmaschine, Kühlschrank, Gefrierschrank, Kochen und Klimaanlage, Nürnberg.
- Hackmann, M.; Pyschny, H. & Stanek, R. (2015): Total Cost of Ownership Analyse für Elektrofahrzeuge. P3 automotive GmbH (P3 group).

- Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C. & Osterburg, B. (2018): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2016 : report on methods and data (RMD) submission 2018 (Thünen Report, Bd. 57). Braunschweig.
- Harthan, Ralph O. (2015): Integration of Renewable Energies into the German Power System and Their Influence on Investments in New Power Plants. Integrated Consideration of Effects on Power Plant Investment and Operation (Dissertation). Verfügbar unter http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx_slubopus4frontend%5Bid%5D=16011, zuletzt abgerufen am 14.07.2016.
- Hautzinger, H.; Mayer, K.; Helms, M.; Kern, C.; Wiesenhütter, M.; Haag, G. & Binder, J. (2004): Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens - insbesondere der Pkw-Fahrleistung - als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn.
- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER); Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT); Johann Heinrich von Thünen-Institut; Öko-Institut; Stern, Rainer Dr.; Department of Climate, Air and Sustainability (TNO); Universität Stuttgart; Bundesforschungsanstalt für Ländliche Räume, Wald und Fischerei; Institut für Ländliche Räume & Institut für agrarrelevante Klimaforschung (2014): Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien; Texte 35/2014 (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.), Dessau-Roßlau. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_35_2014_komplett.pdf, zuletzt abgerufen am 22.02.2017.
- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) & Öko-Institut (2016). Bericht der Plausibilitäts- und Machbarkeitsprüfung der Einspar- und Minderungsziele der Maßnahme „Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen“.
- International Energy Agency (IEA) (2017): World Energy Outlook 2017, zuletzt abgerufen am 22.06.2018.
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japan. Verfügbar unter <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, zuletzt abgerufen am 14.07.2015.
- IPCC (2013): 2013 Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol (KP Supplement), Geneva. Verfügbar unter http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/home/2013KPSupplementaryGuidance_inv.html, zuletzt abgerufen am 05.11.2014.
- IREES & adelphi (2017): Analyse der Entwicklung des Marktes und Zielerreichungskontrolle für gesetzlich verpflichtende Energieaudits. Karlsruhe.
- IREES & Fraunhofer ISI (2010): Evaluierung des Förderprogramms "Energieeffizienzberatung" als Komponente des Sonderfonds "Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)", Karlsruhe.
- IREES & Fraunhofer ISI (2014): Evaluation des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ (Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien & Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Hrsg.), Karlsruhe.
- IWU & Fraunhofer IFAM (2013). Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2012.
- IWU & Fraunhofer IFAM (2014). Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2013.
- IWU & Fraunhofer IFAM (2015). Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2014.
- IWU & Fraunhofer IFAM (2017). Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2015.
- IWU & Fraunhofer IFAM (2018). Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2016.
- Jaccard, Mark (2005). Hybrid energy-economy models and endogenous technological change. In R. Loulou, J.-P. Waaub & G. Zaccour (Hrsg.), *Energy and Environment* (S. 81–109). New York: Springer.
- Jochem, Eberhard & Idrissova, Farikha (2014): Bericht über die Auswertungen der Daten der Initialberatungen aus dem Projekt "30 Pilot-Netzwerke", Karlsruhe.
- Jochem, Eberhard; Mai, Michael & Ott, Volker (2010). Energieeffizienznetzwerke - beschleunigte Emissionsminderung in der mittelständischen Wirtschaft. Zeitschrift für Energiewirtschaft 34, S. 21–28.
- KBA (2018): Verkehr in Kilometern, KBA. Verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html, zuletzt abgerufen am 2018.
- Kless, S. & Veldues, B. (2008): Auszug aus Wirtschaft und Statistik: Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2005. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Klingler, Anna-Lena; Elsland, Rainer; Stute, Judith & Klobasa, Marian (2018): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromabgabe an Letztverbraucher für die Kalenderjahre 2019 bis 2023 (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Hrsg.).
- Knörr, Wolfram; Bergk, Fabian; Gores, Sabine & Heidt, Christoph (2014): „Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2015 (Berichtsperiode 1990-2013). ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, zuletzt abgerufen am 27.10.2016.
- Korn, Michael; Leupold, Andreas; Niederau, Arnold; Schneider, Christiane; Hartwig, Karl-Hans & Scheffler, Raimund (2014): Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2013 bis 2017. Weimar, Leipzig, Aachen, Münster: Alfen Consult GmbH; AVISO GmbH; Institut für Verkehrswissenschaft, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, zuletzt abgerufen am 27.01.2016.
- Korn, Michael; Leupold, Andreas; Schneider, Christiane; Hartwig, Karl-Hans & Daniels, Helmut (2018): Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2018 bis 2022. Endbericht (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Hrsg.). Berlin: Alfen Consult

- GmbH; AVISO GmbH; BUNG Ingenieure AG. Verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Presse/wegekostengutachten.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 04.06.2018.
- Kranzl, Lukas; Hummel, Marcus; Müller, Andreas & Steinbach, Jan (2013). Renewable heating: perspectives and the impact of policy instruments. *Energy Policy* 59, S. 44–58.
- Litman, Todd (2016a): Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities (Victoria Transport Policy Institute, Hrsg.), zuletzt abgerufen am 12.07.2016.
- Litman, Todd (2016b): Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities (Victoria Transport Policy Institute, Hrsg.), zuletzt abgerufen am 12.07.2016.
- Milchindustrie (o.J.).
- Miller, Joshua (2016). Reducing CO2 emissions from road transport in the European Union: An evaluation of policy options. Verfügbar unter http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-CO2-policies_201606.pdf, zuletzt abgerufen am 13.12.2016.
- Müller, Andreas (2015): Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water : A Case Study for the Austrian Building Stock. Technische Universität Wien.
- Müller, Andreas & Biermayr, Peter (2011). Die Zukunft des Wärmebedarfs für Heizung und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden bis 2050. 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien IEWT. Wien: Energy Economics Group, Vienna University of Technology, S. 1–17.
- Nabitz, Lisa; Hirzel, Simon & Antoni, Oliver (2016): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. AP2 Teil Evaluierung des Programms „Förderung von Energiemanagementsystemen“. Fraunhofer ISI.
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) (2019): WEGE ZUR ERREICHUNG DER KLIMAZIELE 2030 IM VERKEHRSSEKTOR. Zwischenbericht 03/2019 (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Hrsg.), Berlin, zuletzt abgerufen am 03.05.2019.
- (Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas, Hrsg.) (2018): NEP-Gas-Datenbank. Ausbaumaßnahmen, 2018 NEP Entwurf. Verfügbar unter <https://www.nep-gas-datenbank.de/app/>.
- Nitsch, Joachim; Pregger, Thomas; Naegler, Tobias; Heide, Dominik; Luca de Tena, Diego; Trieb, Franz; Scholz, Yvonne; Nienhaus, Kristina; Gerhardt, Norman; Sterner, Michael; Trost, Tobias; von Oehsen, Amany; Schwinn, R.; Pape, C.; Hahn, H.; Wickert, M. & Wenzel, B. (2012). Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Verfügbar unter <http://elib.dlr.de/76043>, zuletzt abgerufen am 30.01.2017.
- Odeck, James & Johansen, Kjell (2016). Elasticities of fuel and traffic demand and the direct rebound effects. An econometric estimation in the case of Norway. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 83, S. 1–13.
- Öko-Institut (2013): Treibhausgasneutraler Verkehr 2050: Ein Szenario zur zunehmenden Elektrifizierung und dem Einsatz stromerzeugter Kraftstoffe im Verkehr. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Öko-Institut (2014): Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Hrsg.). Verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2208/2014-754-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.
- Öko-Institut (2015): Die Entwicklung der EEG-Kosten bis 2035. Wie der Erneuerbaren-Ausbau entlang der langfristigen Ziele der Energiewende wirkt (Agora, Hrsg.), Berlin.
- Öko-Institut; DLR; infras; IFEU & tipping points (2017a): Renewbility. Verfügbar unter <http://www.renewbility.de/renewbility-3/ergebnisse/>, zuletzt abgerufen am 17.07.2017.
- Öko-Institut; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI); Prognos AG; M-Five; Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES); FiBL (2019): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung, Berlin. Verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Folgenabschaetzung-Klimaschutzplan-2050-Endbericht.pdf>, zuletzt abgerufen am 17.01.2019.
- Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2019): Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 - Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 3. Quantifizierungsbericht. Verfügbar unter <https://www.bmu.de/download/wissenschaftliche-grundlagen-zum-klimaschutzbericht-2018/>.
- Öko-Institut; IFEU; FFU Berlin; Hochschule Karlsruhe; Prognos; Ziesing, Hans-Joachim & Klinski, Stefan (2017b): Evaluierung der Nationalen Klimaschutzinitiative. Evaluierungszeitraum 2012-2014. Verfügbar unter <https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/Gesamtbericht%20NKI-Evaluation%202012-2014.pdf>.
- Öko-Institut & ISI, Fraunhofer (2018). Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 - Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 2. Quantifizierungsbericht. Verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/APK-2020-Quantifizierungsbericht-2017-final.pdf>, zuletzt abgerufen am 09.07.2018.
- Öko-Institut & Forwind (2016): Erstellung generischer EE-Strom-Einspeisezeitreihen mit unterschiedlichem Grad an fluktuierendem Stromangebot. Verfügbar unter <https://www.oeko.de/aktuelles/2016/daten-zur-einspeisung-erneuerbarer-energien/>.
- Öko-Institut et al. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde (Öko-Institut, Hrsg.). Berlin: Öko-Institut et al. Verfügbar unter <http://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.06.2016.
- Öko-Institut, Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Prof. Dr. Stefan Klinski (2017): Klimaschutz im Stromsektor 2030 - Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Endbericht (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Climate Change 02/2017), Dessau-Roßlau. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf, zuletzt abgerufen am 27.01.2017.

- Prognos (2014): Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012 (Prognos, Hrsg.), Berlin.
- Prognos (2016a): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. Teilprojekt: Evaluierung der Maßnahme „energieeffiziente und klimaschonende Produktionsprozesse“. Berlin: Prognos.
- Prognos (2016b): Letztverbrauch 2021 Planungsprämissen für die Berechnung der EEG-Umlage. Berlin: Prognos.
- Prognos AG; EWI & gws (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Projekt Nr. 12/10, Basel/Köln/Osnabrück.
- Prognos AG, EWI, GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt abgerufen am 24.07.2015.
- Projektträger Jülich (PTJ) (2018): Investive Klimaschutzmaßnahmen - Klimaschutz bei stillgelegten Siedlungsabfalldeponien. Übersicht der Vorhaben mit PLAN Einsparungen (Stand 12.10.2018 - unveröffentlicht).
- PWC (2018): Evaluierung der Förderprogramme Energieberatung im Mittelstand und Energieberatung für Nicht-Wohngebäude in Kommunen und gemeinnützigen Organisationen. Frankfurt.
- Rehfeldt, Matthias; Fleiter, Tobias & Worrell, Ernst (2018). Inter-fuel substitution in European industry. A random utility approach on industrial heat demand. *Journal of Cleaner Production* (187), S. 98–110.
- RWI (2017): Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 (Monitoring 2013).
- Schlomann, B.; Steinbach, J.; Kleeberger, H.; Geiger, B.; Pich, A.; Gruber, E.; Mai, M.; Schiller, W. & Gerspacher, A. (2014): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- SSP Consult (2018): Mittelfristprognose Winter 2017 / 2018. Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr (BMVI, Hrsg.), zuletzt abgerufen am 06.06.2018.
- Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., Hrsg.) (2018): Entwicklung ausgewählter Energiepreise. Verfügbar unter <https://kohlenstatistik.de/17-0-Deutschland.html>, zuletzt abgerufen am 18.01.2019.
- Statistisches Bundesamt (2012): Fachserie 4 Reihe 6.4: Produktion im Produzierenden Gewerbe (Statistisches Bundesamt, Hrsg.).
- Statistisches Bundesamt (2018): Tabellen 066 und 067.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2016a): Brennstoffeinsatz für Elektrizitäts- und Wärmeherzeugung nach Energieträgern.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2016b): Elektrizitäts- und Wärmeherzeugung nach Energieträgern.
- Statistisches Bundesamt (StBA) (2010): Produktionsdatenbank (Prodcum), Wiesbaden. Verfügbar unter <http://www.eds-destatis.de/de/theme4/prodcum.php>.
- StBA: Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes. Fachserie 4, Reihe 4.3, Statistisches Bundesamt.
- StBA: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung: Erwerbstätige und Arbeitnehmer nach Wirtschaftsbereichen, Statistisches Bundesamt.
- StBA (2014). Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgueter/Tabellen/Haushaltsgeraete_D.html;jsessionid=C31652E6733135B52042C3DE401DC823.cae4.
- StBA (2016a): Bautätigkeit und Wohnungen - Bestand an Wohnungen Fachserie 5 Reihe 3. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (StBA).
- StBA (2016b): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011 (Statistisches Bundesamt, Hrsg.) (Fachserie 1 Reihe 1.3), Wiesbaden.
- StBA (2017a): Aktualisierung der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung - Basis 2015. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/AktualisierungBevoelkerungsvorausberechnung.html>.
- StBA (2017b): Entwicklung der Privathaushalte bis 2035. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/HaushalteMikrozensus/EntwicklungPrivathaushalte.html>.
- StBA (2018): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Bruttoinlandsprodukt. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Inlandsprodukt/Tabellen/Gesamtwirtschaft.html>, zuletzt abgerufen am 22.06.2018.
- Steinbach, Jan (2013). Akteurspezifische Untersuchung von Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Ausbau erneuerbarer Energien im Wohngebäudebereich. *Proceedings of the IEWT (8. Internationale Energiewirtschaftstagung)* Wien.
- Steinbach, Jan (2015): Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich (Fraunhofer Verlag, Hrsg.), Stuttgart. Verfügbar unter <https://www.verlag.fraunhofer.de/bookshop/buch/Modellbasierte-Untersuchung-von-Politikinstrumenten-zur-F%C3%B6rderung-erneuerbarer-Energien-und-Energieeffizienz-im-Geb%C3%A4udebereich/245046>.

- Thünen (2012): Bundeswaldinventur: Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (2012). Verfügbar unter <https://bwi.info/?inv=WEHAM2012>.
- Thünen Institut (2018): Thünen-Baseline 2017 - 2027. Agrarökonomische Projektionen für Deutschland (Thünen Report Nr. 56). Braunschweig: Thünen Institut. Verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen-Report_56.pdf, zuletzt abgerufen am 05.07.2018.
- UBA (2018a). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016. Climate change (12). Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission.
- Übertragungsnetzbetreiber (2018): Prognose der EEG-Umlage 2019 nach EEG. Prognosekonzept und Berechnung der ÜNB. Verfügbar unter <https://www.netztransparenz.de/EEG/EEG-Umlagen-Uebersicht/EEG-Umlage-2019>.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2011): Projektionen zu den Emissionen von HFKW, FKW und SF6 für Deutschland bis zum Jahr 2050 (Climate Change 21/2011). Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4226.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2015): Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (Climate Change 6/2015). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_06_2015_massnahmen_zur_verbesserung_der_marktdurchdringung.pdf, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.
- Umweltbundesamt (UBA) (2016a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2014 (Climate Change 23/2016), Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt (UBA) (2016b): Zentrales System Emissionen (ZSE). Datenauspielung, Stand 11.10.2016.
- Umweltbundesamt (UBA) (2018b): Zentrales System Emissionen (ZSE). Datenauspielung, Stand Januar-Submission 2018. Umweltbundesamt (UBA).
- Umweltbundesamt (UBA) (2018c): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016. Gekürzte Version für die EU, Dessau-Roßlau. Verfügbar unter http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envwldoww/2018_01_15_EU-NIR_2018.pdf, zuletzt abgerufen am 20.02.2018.
- UNFCCC (2000). UNFCCC guidelines on reporting and review. Review of the implementation of commitments and of other provisions of the convention. FCCC/CP/1999/7. Verfügbar unter <http://unfccc.int/resource/docs/cop5/07.pdf>, zuletzt abgerufen am 13.12.2018.
- UNFCCC (2013). Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention. Decision 24/CP.19. Verfügbar unter http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/reporting_requirements/items/2759.php, zuletzt abgerufen am 21.09.2017.
- Van Holsteijn en Kemna B.V. et al. (2014): "Omnibus" Review Study on Cold Appliances, Washing Machines, Dishwashers, Washer-Driers, Lighting, Set-top Boxes and Pumps.
- Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. (WVZ) (o.J.).
- Wolfram, P. & Lutsey, N. (2016): Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions. International Council on Clean Transportation (ICCT). Verfügbar unter http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LitRvw_EV-tech-costs_201607.pdf.
- ZVEI (2006-2009): Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2005-2008, Frankfurt.

Anhang

A1: Instrumententypen

Tabelle A 1: Klassifikation der Instrumententypen

Instrumententyp	Erläuterung, Beispiele	
Ökonomische Instrumente	E	Preis- und mengenpolitische Steuerungsmechanismen: Umweltabgaben-/Steuern, Handelbare Zertifikate, Handelbare Quoten, Tarifpolitik, Marktreform/-öffnung
Fiskalische Instrumente	F	Subventionen und öffentliche Infrastrukturausgaben: Zuschüsse, verbilligte Kredite, Steuererleichterungen, Staatliche Investitionen
Verpflichtungserklärungen	V	Freiwillige und verhandelte Selbstverpflichtungen: Vereinbarungen von Wirtschaftsbereichen, Branchen oder Unternehmen
Regulierung	R	Ordnungsrechtliche Vorschriften: Ver- und Gebote, technische Standards, Produktkennzeichnung
Information	I	Allgemeine Information und Beratung: Broschüren, Informationszentralen, Agenturen, Beratungsstellen
Bildung	ET	Regelung und Förderung der Bildung: Aus-, Fort- und Weiterbildung
Forschung und Entwicklung	D	Förderung der Forschung, Entwicklung und Demonstration: Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, Projektförderung
Andere	O	Andere Instrumente: Appelle, indikative Zielvorgaben/Planung, Hemmnisabbau

Quelle: (UNFCCC 2000)

A2: Sektorzuordnungen

Die folgende Tabelle zeigt, welche Quellgruppen des Treibhausgasinventars (CRF-Kategorien) welchen Sektoren dieses Berichts zugeordnet wurden. Zusätzlich wurde die entsprechende Zuordnung im *Klimaschutzplan 2050* der Bundesregierung gegenübergestellt.

Tabelle A 2: Zuordnung von CRF-Kategorien im Projektionsbericht 2019 und im Klimaschutzplan 2050

CRF	Projektionsbericht 2019	Klimaschutzplan 2050	Kommentar
1.A.1 Energiewirtschaft	Energiewirtschaft	Energiewirtschaft	
1.A.2 Industrie	Industrie	Industrie	
1.A.3.a Luftverkehr	Verkehr	Verkehr	
1.A.3.b Straßenverkehr	Verkehr	Verkehr	
1.A.3.c Schienenverkehr	Verkehr	Verkehr	
1.A.3.d Schiffsverkehr	Verkehr	Verkehr	
1.A.3.e Übriger Verkehr	Verkehr	Energiewirtschaft	Erdgasverdichterstationen
1.A.4.a GHD	GHD	Gebäude	
1.A.4.b Haushalte	Haushalte	Gebäude	
1.A.4.c Landwirtschaft (energiebedingt)	GHD	Landwirtschaft	u.a. Kraftstoffeinsatz in Land- und Forstwirtschaft
1.A.5 Andere Bereiche	GHD	Gebäude	Militär (stationär + mobil)
1.B Diffuse Emissionen	Diffuse Emissionen	Energiewirtschaft	
2 Industrieprozesse	Industrieprozesse	Industrie	
3 Landwirtschaft	Landwirtschaft	Landwirtschaft	

CRF	Projektionsbericht 2019	Klimaschutzplan 2050	Kommentar
4 LULUCF	LULUCF	-	
5 Abfall und Abwasser	Abfallwirtschaft	Sonstige	

Quelle: Darstellung Öko-Institut

A3: Emissionen in der Sektorzuordnung des Klimaschutzplans 2050

Im Hauptteil des Berichts wurde eine Sektorzuordnung verwendet, die sich eng an die CRF-Quellgruppen anlehnen. Im *Klimaschutzplan 2050* (KSP 2050) der Bundesregierung (BMUB 2016) wird eine andere Sektoraufteilung verwendet. Diese hat nicht nur weniger Sektoren, sondern teilweise sind auch einzelne Quellgruppen anders zugeordnet. Ein Vergleich der unterschiedlichen Sektorzuordnungen ist in Anhang A2 aufgeführt.

Die folgende Tabelle stellt daher die Ergebnisse dieses Projektionsberichts 2019 in die Sektorzuordnung des KSP 2050 umgerechnet dar.

Tabelle A 3: Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MMS, 1990-2035

Sektor	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Energiewirtschaft	466,4	397,4	369,4	343,4	294,6	298,5	262,9	255,2
Industrie	283,8	191,6	188,5	188,2	176,2	164,4	152,5	147,9
Gebäude	209,7	153,9	148,5	130,0	116,4	97,0	82,5	71,1
Verkehr	163,3	159,9	153,0	165,6	170,1	165,4	159,3 ⁹⁶	151,1
Landwirtschaft	90,0	69,2	68,7	71,8	69,7	68,3	67,4	66,8
Teilsumme	1.213,3	971,9	928,2	898,9	827,0	793,6	724,5	692,1
Sonstige	38,4	21,2	14,6	10,5	8,6	6,8	5,5	5,4
Gesamt	1.251,6	993,1	942,8	909,4	835,6	800,4	730,0	697,6
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-8,4 %	-15,9 %	-19,4 %	-26,5 %	-29,8 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,7 %	-24,7 %	-27,3 %	-33,2 %	-36,0 %	-41,7 %	-44,3 %
ggü. Basisjahr ^a	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-27,6 %	-33,4 %	-36,2 %	-41,8 %	-44,4 %

Quelle: (UBA 2018b, 2018c), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet.

Aufgrund laufender methodischer Verbesserungen und Aktualisierungen im deutschen Treibhausgasinventar können die historischen Werte von den Angaben im *Klimaschutzplan 2050* abweichen.

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse des Projektionsberichts 2019 in der Struktur des *Klimaschutzplans* wird in einem separaten Dokument vorgenommen.

⁹⁶ Es gibt auch andere Szenarien, welche im Auftrag der Bundesregierung erstellt wurden, mit abweichenden Ergebnissen für 2030. Das in der NPM abgestimmte Referenzszenario vom März 2019 kommt z.B. auf 150 Mt CO₂e (BMVI 2019).

A4: Bruttostromerzeugung

Tabelle A 4: Bruttostromerzeugung im MMS (2008-2035)

Energieträger	2008	2016	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Kernenergie	148,8	84,6	66,6	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	150,6	149,5	132,6	134,4	119,0	114,5
Steinkohle	124,6	112,2	86,6	92,1	72,1	74,6
Erdgas	89,1	81,3	73,3	75,2	74,1	67,9
Mineralöl	9,7	5,8	2,9	2,8	2,9	2,9
Wasserkraft	20,4	20,5	21,3	21,4	21,5	21,6
Windenergie onshore	41,4	67,8	106,4	111,3	125,1	135,5
Windenergie offshore	0,0	12,3	31,1	45,6	59,4	70,2
Photovoltaik	4,4	38,1	40,9	53,4	65,7	71,3
Biomasse ^a	27,8	50,9	44,4	45,3	42,9	43,2
Geothermie	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
Sonstige	24,7	27,3	30,2	27,7	26,6	26,9
Bruttostromerzeugung	641,5	650,3	636,6	609,6	609,9	629,5
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>1,4 %</i>	<i>-0,8 %</i>	<i>-5,0 %</i>	<i>-4,9 %</i>	<i>-1,9 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>14,7 %</i>	<i>29,2 %</i>	<i>38,4 %</i>	<i>45,5 %</i>	<i>51,7 %</i>	<i>54,4 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-53,7	-52,3	-47,0	-61,2	-78,1
Bruttostromverbrauch	619,0	596,6	584,3	562,6	548,7	551,4
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-3,6 %</i>	<i>-5,6 %</i>	<i>-9,1 %</i>	<i>-11,4 %</i>	<i>-10,9 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>15,2 %</i>	<i>31,8 %</i>	<i>41,8 %</i>	<i>49,3 %</i>	<i>57,5 %</i>	<i>62,1 %</i>

Quelle: AGE (2018), Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischen Anteils des Mülls. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.