

# **Projektionsbericht 2017 für Deutschland**

**gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013**

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	8
Tabellenverzeichnis .....	10
Abkürzungsverzeichnis .....	18
Zusammenfassung .....	26
1    Einleitung und methodischer Ansatz .....	36
1.1    Einleitung .....	36
1.2    Methodischer Ansatz für die Emissionsprojektionen .....	37
2    Beschreibung der Rahmendaten und der in Deutschland ergriffenen Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz .....	41
2.1    Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten .....	41
2.1.1    Demographische Entwicklung .....	41
2.1.2    Gesamtwirtschaftliche Entwicklung .....	43
2.2    Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise .....	45
2.2.1    Preisprojektionen für Rohöl, Steinkohle und Erdgas .....	45
2.2.2    Preisprojektionen für Braunkohle .....	49
2.3    Preise für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen .....	50
2.4    Projektion der Entwicklung der Endverbraucherpreise .....	51
2.5    Projektion der Verkehrsnachfrage .....	52
2.5.1    Verkehrsnachfrage im MMS .....	52
2.5.2    Verkehrsnachfrage im MWMS .....	53
2.6    Rahmendaten in einzelnen Sektoren .....	53
2.6.1    Verkehr .....	53
2.6.1.1    Verkehrsnachfrage .....	53
2.6.1.2    Batteriepreisentwicklung .....	54
2.6.1.3    Entwicklung der Diskrepanz zwischen Testzyklus und Realverbrauch bei Pkw .....	54
2.6.1.4    Biokraftstoffanteil .....	55
2.6.2    Private Haushalte .....	57
2.6.2.1    Anzahl privater Haushalte .....	57
2.6.2.2    Raumwärme und Warmwasser .....	58
2.6.3    Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen(GHD) - Strom und Prozesswärme / -dampf .....	58
2.7    Sektorübergreifende Maßnahmen .....	61
2.7.1    Mit-Maßnahmen- Szenario (MMS) .....	62

2.7.1.1	Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung	62
2.7.1.2	Ordnungsrecht	64
2.7.1.3	Flankierende und informatorische Instrumente	66
2.7.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) .....	68
2.7.2.1	Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung	68
2.7.2.2	Ordnungsrecht	68
2.8	Maßnahmen in einzelnen Sektoren.....	69
2.8.1	Verkehr.....	69
2.8.1.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	69
2.8.1.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	71
2.8.2	Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung .....	75
2.8.2.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	75
2.8.2.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	83
2.8.3	Private Haushalte – Strom .....	85
2.8.3.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	85
2.8.3.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	86
2.8.4	Industrie & GHD – Strom und Prozesswärme / -dampf .....	87
2.8.4.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	87
2.8.4.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	92
2.8.5	Stromsektor / Energiewirtschaft.....	94
2.8.5.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	94
2.8.5.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	95
2.8.6	Industrieprozesse und Produktverwendung (CO <sub>2</sub> -, CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen) .....	95
2.8.6.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	95
2.8.6.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	95
2.8.7	Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase) .....	95
2.8.7.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	95
2.8.7.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	96
2.8.8	Landwirtschaft.....	96
2.8.8.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	96
2.8.8.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	98
2.8.9	LULUCF .....	98
2.8.9.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	99
2.8.9.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	99
2.8.10	Abfallwirtschaft .....	99
2.8.10.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	99

2.8.10.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	100
3	Quantifizierung der Wirkungen der Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz.....	102
3.1	Sektorale Projektionen .....	102
3.1.1	Methodische Vorbemerkungen zur Quantifizierung der sektorübergreifenden Maßnahmen .....	102
3.1.2	Verkehr.....	103
3.1.2.1	Methodik	103
3.1.2.2	Annahmen und Parameter im MMS	105
3.1.2.3	Annahmen und Parameter im MWMS	108
3.1.2.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	110
3.1.2.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	113
3.1.2.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	116
3.1.3	Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung .....	117
3.1.3.1	Methodik	117
3.1.3.2	Annahmen und Parameter	120
3.1.3.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	121
3.1.3.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	126
3.1.3.5	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	130
3.1.4	Private Haushalte – Strom .....	133
3.1.4.1	Methodik	133
3.1.4.2	Annahmen und Parameter	135
3.1.4.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	138
3.1.4.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	140
3.1.5	Industrie .....	142
3.1.5.1	Methodik	142
3.1.5.2	Annahmen und Parameter MMS	146
3.1.5.3	Annahmen und Parameter MWMS	155
3.1.5.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	157
3.1.5.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	160
3.1.5.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	162
3.1.6	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).....	163
3.1.6.1	Methodik	163
3.1.6.2	Annahmen und Parameter	165
3.1.6.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	166
3.1.6.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	167
3.1.7	Stromsektor.....	168

3.1.7.1	Methodik	168
3.1.7.2	Annahmen und Parameter	171
3.1.7.3	Stromverbrauch	181
3.1.7.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	184
3.1.7.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	191
3.1.7.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	197
3.1.8	Übrige Energiewirtschaft.....	199
3.1.8.1	Methodik, Annahmen und Parameter	199
3.1.8.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	199
3.1.8.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	202
3.1.8.4	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	204
3.1.9	Diffuse Emissionen aus Brennstoffen .....	205
3.1.9.1	Methodik	205
3.1.9.2	Annahmen und Parameter	206
3.1.9.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	206
3.1.9.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	208
3.1.9.5	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	209
3.1.10	Industrieprozesse und Produktverwendung (CO <sub>2</sub> -, CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen) .....	210
3.1.10.1	Methodik sowie Annahmen und Parameter	210
3.1.10.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	210
3.1.10.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	213
3.1.10.4	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	214
3.1.11	Industrieprozesse und Produktverwendung (Emissionen fluorierter Treibhausgase).....	215
3.1.11.1	Methodik sowie Annahmen und Parameter	215
3.1.11.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	217
3.1.11.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	220
3.1.11.4	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	223
3.1.12	Landwirtschaft.....	225
3.1.12.1	Methodik	225
3.1.12.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	226
3.1.12.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	229
3.1.12.4	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	232
3.1.13	LULUCF .....	233
3.1.13.1	Methodik	233
3.1.13.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	233

3.1.13.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	237
3.1.13.4	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	237
3.1.14	Abfallwirtschaft .....	238
3.1.14.1	Methodik	238
3.1.14.2	Annahmen und Parameter im MMS	238
3.1.14.3	Annahmen und Parameter im MWMS	239
3.1.14.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	240
3.1.14.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	240
3.1.14.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS	241
3.2	Primär- und Endenergieverbrauch .....	242
3.2.1	Primärenergieverbrauch .....	242
3.2.1.1	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	243
3.2.1.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	245
3.2.2	Endenergieverbrauch.....	246
3.2.2.1	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	247
3.2.2.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	250
3.3	Gesamte energie- und prozessbedingte Treibhausgasemissionen .....	254
3.3.1	Emissionen aus Verbrennungsprozessen.....	254
3.3.2	Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung.....	256
3.4	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen und deren Komponenten .....	258
3.4.1	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios.....	258
3.4.1.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen	258
3.4.1.2	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen	260
3.4.1.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD	263
3.4.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios .....	264
3.4.2.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen	264
3.4.2.2	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen	266
3.4.2.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD	269
3.5	Sensitivitätsanalysen.....	270
3.5.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	271
3.5.1.1	Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung	271
3.5.1.2	EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor	273
3.5.1.3	Ergebnis im MMS	273
3.5.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario.....	274
3.5.2.1	Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung	274
3.5.2.2	EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor und Stromexport	275

3.5.2.3	Ergebnis im MWMS	276
4	Institutionelle Maßnahmen und Instrumente zum Kyoto-Protokoll.....	278
4.1	Zuständigkeiten auf Bundesebene .....	278
4.1.1	IMA „CO <sub>2</sub> -Reduktion“.....	278
4.1.2	Arbeitsgruppe „Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffekts“ (AGE).....	278
4.1.3	Nationales System Emissionsinventare und die Nationale Koordinierungsstelle.....	278
4.1.4	DEHSt.....	279
4.1.5	Joint-Implementation-Koordinierungsstelle (JIKO).....	280
4.1.6	Focal Point für Bildung zum Klimaschutz .....	280
4.1.7	Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) .....	281
4.1.8	Bilaterale ständige Arbeitsgruppen „Umwelt und Energie“ .....	282
4.2	Zuständigkeiten auf Länderebene .....	282
4.3	Maßnahmen zur Beteiligung an flexiblen Mechanismen .....	284
5	Quellenverzeichnis.....	285
Anhang	.....	291
A1	Instrumententypen.....	291
A2	Sektorzuordnungen .....	291
A3	Emissionen in der Sektorzuordnung des Klimaschutzplans 2050.....	292
A4	Bruttostromerzeugung .....	293

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen .....	39
Abbildung 2-1:	Aktuelle Bevölkerungsprojektionen im Vergleich .....	41
Abbildung 2-2:	Vergleich aktueller und vergangener Projektionen des Bruttoinlandsproduktes.....	45
Abbildung 2-3:	Historie der Energieträgerpreise und Empfehlung der EU-Kommission .....	46
Abbildung 2-4:	Historie der Energieträgerpreise und vorgeschlagenes Niedrigpreisszenario .....	47
Abbildung 2-5:	Vergleich der Ölpreisprojektion im Projektionsbericht 2015 mit verschiedenen Optionen der Projektion für den Projektionsbericht 2017 .....	49
Abbildung 2-6:	Settlement-Preise für den EUA-Spotmarkt sowie EUA-Futures verschiedener Liefertermine, 2003–2016 .....	51
Abbildung 2-7:	Entwicklung der durchschnittlichen CO <sub>2</sub> -Emissionen von Pkw-Neuzulassungen in der EU im Zeitraum 2010-2025 .....	55
Abbildung 3-1:	Flussdiagramm zum TEMPS-Modell .....	104
Abbildung 3-2:	Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab .....	118
Abbildung 3-3:	Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/ EE-Lab .....	121
Abbildung 3-4:	Endenergiebedarfsentwicklung der Wärmebereitstellung nach Gebäudekategorien im MMS.....	122
Abbildung 3-5:	Endenergieentwicklung nach Energieträger im MMS .....	123
Abbildung 3-6:	Endenergieentwicklung nach Energieträger im MWMS (ohne KWK-Maßnahme) .....	126
Abbildung 3-7:	Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul).....	135
Abbildung 3-8:	Überblick des Modells FORECAST-Industry .....	144
Abbildung 3-9:	Anzahl der monatlichen Förderanträge im Programm Energieberatung Mittelstand .....	152
Abbildung 3-10:	Annahmen zur Diffusion CO <sub>2</sub> -armer Prozessinnovationen im MWMS .....	157
Abbildung 3-11:	Vereinfachte Darstellung des “Bottom-up”-Mengengerüsts für den Sektor GHD im Modell FORECAST .....	164
Abbildung 3-12:	Stilllegungskalküle in ELIAS.....	169
Abbildung 3-13:	Iteration zwischen Kraftwerksstilllegung und -investition (ELIAS) und Kraftwerkseinsatz (PowerFlex) .....	171
Abbildung 3-14:	Wirkungsgrade von Bestandskraftwerken (Kondensations-Kraftwerke und Stromscheiben der KWK-Anlagen) nach Inbetriebnahmehjahr .....	173
Abbildung 3-15:	Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035 .....	185
Abbildung 3-16:	Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035 .....	192

Abbildung 3-17:	Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) .....	219
Abbildung 3-18:	Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS).....	222
Abbildung 3-19:	Primärenergieverbrauch im Mit-Maßnahmen-Szenario .....	243
Abbildung 3-20:	Primärenergieverbrauch im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario.....	245
Abbildung 3-21:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS .....	248
Abbildung 3-22:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS.....	250
Abbildung 3-23:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS .....	251
Abbildung 3-24:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS .....	253
Abbildung 3-25:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS (1990–2035) .....	262
Abbildung 3-26:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS (1990–2035).....	268
Abbildung 3-27:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MMS) .....	272
Abbildung 3-28:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MWMS).....	275

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2015–2035.....	27
Tabelle 1-2:	Entwicklung der gesamten Treibhausgase nach Quellbereichen im MMS, 1990–2035 .....	28
Tabelle 1-3:	Entwicklung der gesamten Treibhausgase nach Quellbereichen im MWMS, 1990–2035.....	30
Tabelle 1-4:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 für die Sensitivitätsrechnungen (MMS und MWMS) .....	32
Tabelle 2-1:	Projizierte Wachstumsraten der Bevölkerung in %.....	43
Tabelle 2-2:	Durchschnittliche, jährliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsproduktes für Deutschland in verschiedenen Projektionen, sowie Vorschläge für den Projektionsbericht 2017 in Prozent.....	44
Tabelle 2-3:	Energiepreis-Projektionen* für Rohöl, Erdgas und Steinkohle, 2015–2035 .....	48
Tabelle 2-4:	Kostenannahmen der Braunkohleförderung für den Projektionsbericht 2017 .....	50
Tabelle 2-5:	Annahmen zur Entwicklung der mittleren Endverbraucher-Strompreise je Sektor [Eurocent <sub>2016</sub> /kWh] .....	51
Tabelle 2-6:	Verkehrsnachfrage Personenverkehr im MMS in Mrd. pkm.....	52
Tabelle 2-7:	Verkehrsnachfrage Güterverkehr im MMS in Mrd. tkm .....	52
Tabelle 2-8:	Verkehrsnachfrage Seeverkehr im MMS in Mrd. tkm .....	53
Tabelle 2-9:	Annahmen für die Entwicklung der Batteriesystemkosten.....	54
Tabelle 2-10:	Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MMS .....	56
Tabelle 2-11:	Vergleich der Anzahl privater Haushalte verschiedener Quellen (fettgedruckt: für den Projektionsbericht 2017 verwendete Daten) .....	57
Tabelle 2-12:	Angenommenen Entwicklung der Wohnflächen bis zum Jahr 2035 .....	58
Tabelle 2-13:	Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie je Wirtschaftszweig [Mrd. Euro2010].....	58
Tabelle 2-14:	Produktionsmengen energieintensiver Grundstoffe.....	59
Tabelle 2-15:	Anzahl der Beschäftigten je Wirtschaftszweig im Sektor GHD [Mio. Beschäftigte] .....	61
Tabelle 2-16:	Übersicht Ökodesign-Richtlinie: Umsetzungsstand und Modellierung.....	65
Tabelle 3-1:	Abschätzung der Gesamtwirkung übergeordneter Instrumente im MMS und MWMS und Zuordnung auf einzelne Sektoren (angegeben ist wie in den nachfolgenden sektoralen Tabellen die kumulierte Einsparung im jeweiligen Jahr; in PJ).....	102
Tabelle 3-2:	Angenommene Mautsätze in ct / km im MMS.....	106

Tabelle 3-3:	Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Berechnungen des TEMPS-Modells.....	106
Tabelle 3-4:	Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Bottom-Up Schätzung (zum Vergleich).....	106
Tabelle 3-5:	Angenommene Haushaltsausgaben für den SHHV im MMS.....	108
Tabelle 3-6:	Angenommene Mautsätze im MWMS .....	108
Tabelle 3-7:	Angenommene Haushaltsausgaben für den SHHV im MWMS .....	109
Tabelle 3-8:	Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MWMS.....	110
Tabelle 3-9:	Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MMS in PJ .....	111
Tabelle 3-10:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen .....	113
Tabelle 3-11:	Nachrichtlich: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen.....	113
Tabelle 3-12:	Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MWMS in PJ.....	114
Tabelle 3-13:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsmin-derungen .....	115
Tabelle 3-14:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen.....	115
Tabelle 3-15:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	116
Tabelle 3-16:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung .....	123
Tabelle 3-17:	Einsparungen fossiler Brennstoffe.....	124
Tabelle 3-18:	Direkte Minderungen an Treibhausgasemissionen .....	125
Tabelle 3-19:	Auswirkung auf Stromnachfrage .....	125
Tabelle 3-20:	Ausgestaltung des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) sowie zentrale Annahmen für die Wirkungsabschätzung .....	127
Tabelle 3-21:	Zusätzliche Einsparungen fossiler Brennstoffe pro Jahr durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor).....	128
Tabelle 3-22:	Zusätzliche Emissionsminderung durch Einsparung fossiler Brennstoffe pro Jahr im MWMS.....	128
Tabelle 3-23:	Zusätzliche Einsparungen bei der sektoralen Stromnachfrage durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor).....	129
Tabelle 3-24:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	130

Tabelle 3-25:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	132
Tabelle 3-26:	Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten .....	136
Tabelle 3-27:	Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MMS.....	137
Tabelle 3-28:	Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MWMS .....	138
Tabelle 3-29:	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MMS.....	139
Tabelle 3-30:	Definition der Vergleichsszenarien zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung .....	139
Tabelle 3-31:	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MMS .....	140
Tabelle 3-32:	Übersicht der Maßnahmen im Bereich private Haushalte-Strom (MWMS).....	141
Tabelle 3-33:	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MWMS .....	141
Tabelle 3-34:	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MWMS.....	142
Tabelle 3-35:	Branchenstruktur von FORECAST-Industry (angelehnt an AGEB) .....	145
Tabelle 3-36:	Übersicht der Maßnahmen im Industriesektor: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten.....	146
Tabelle 3-37:	Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und -produkte zum Emissionshandel .....	147
Tabelle 3-38:	Von der Strom- bzw. Energiesteuer entlastete Produktionsprozesse.....	149
Tabelle 3-39:	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 2015 .....	151
Tabelle 3-40:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD .....	157
Tabelle 3-41:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS - Stromeinsparungen .....	159
Tabelle 3-42:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	160
Tabelle 3-43:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD im MWMS .....	161
Tabelle 3-44:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MMS .....	161

Tabelle 3-45:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO <sub>2</sub> -Emissionen gegenüber dem MMS.....	162
Tabelle 3-46:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke) zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	162
Tabelle 3-47:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS - Stromeinsparungen .....	166
Tabelle 3-48:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	167
Tabelle 3-49:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MMS .....	167
Tabelle 3-50:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO <sub>2</sub> -Emissionen gegenüber dem MMS .....	167
Tabelle 3-51:	Technische Lebensdauern der Bestandskraftwerke.....	172
Tabelle 3-52:	Parameter der KWK-Scheiben .....	174
Tabelle 3-53:	Kumulierter Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen im MMS und MWMS ab 2015 (GW <sub>el</sub> ) .....	176
Tabelle 3-54:	Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MMS) .....	179
Tabelle 3-55:	Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MWMS).....	179
Tabelle 3-56:	Vollaststunden zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien .....	179
Tabelle 3-57:	Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MMS.....	180
Tabelle 3-58:	Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MWMS .....	180
Tabelle 3-59:	Stromverbrauch im MMS 2008-2035 .....	182
Tabelle 3-60:	Stromverbrauch im MWMS 2008-2035.....	183
Tabelle 3-61:	Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035 .....	186
Tabelle 3-62:	Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035.....	186
Tabelle 3-63:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MMS, 1990–2035 .....	187
Tabelle 3-64:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035 .....	188
Tabelle 3-65:	CO <sub>2</sub> -Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MMS.....	191
Tabelle 3-66:	Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035 .....	192
Tabelle 3-67:	Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035.....	193

Tabelle 3-68:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MWMS, 1990–2035 .....	194
Tabelle 3-69:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035 .....	195
Tabelle 3-70:	Veränderung im MWMS gegenüber dem MMS (Einfluß der Maßnahmen auf die Entwicklung der fossilen Stromerzeugung) .....	196
Tabelle 3-71:	CO <sub>2</sub> -Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MWMS gegenüber dem MMS .....	197
Tabelle 3-72:	Entwicklung der THG-Emissionen im Stromsektor zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	198
Tabelle 3-73:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 2014-2035 .....	201
Tabelle 3-74:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MWMS 2014-2035.....	203
Tabelle 3-75:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der übrigen Energiewirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	204
Tabelle 3-76:	Relevante Quellgruppen für diffuse Emissionen aus Brennstoffen und in der Modellierung verwendete Aktivitätsraten.....	205
Tabelle 3-77:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS (1990-2035) .....	207
Tabelle 3-78:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MWMS (1990-2035) .....	208
Tabelle 3-79:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen der diffusen Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	209
Tabelle 3-80:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	211
Tabelle 3-81:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MWMS .....	213
Tabelle 3-82:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	214
Tabelle 3-83:	Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS.....	217
Tabelle 3-84:	Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MMS 2005-2035.....	220
Tabelle 3-85:	Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MWMS im Vergleich zum MMS .....	221
Tabelle 3-86:	Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MWMS 2005-2035.....	223
Tabelle 3-87:	Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung zwischen 1995 und 2035 im MMS und MWMS .....	224

Tabelle 3-88:	Entwicklung der Tierbestände 1990-2035, Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 belegte Stallplätze .....	226
Tabelle 3-89:	Entwicklung des Einsatzes von Energiepflanzen in Biogasanlagen 1990 – 2035 in kt Trockenmasse .....	226
Tabelle 3-90:	Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990 – 2035 in kt CH <sub>4</sub> .....	227
Tabelle 3-91:	Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr .....	227
Tabelle 3-92:	Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N <sub>2</sub> O .....	227
Tabelle 3-93:	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO <sub>2</sub> .....	228
Tabelle 3-94:	Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO <sub>2</sub> Äquivalenten .....	228
Tabelle 3-95:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung .....	229
Tabelle 3-96:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen .....	229
Tabelle 3-97:	Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr .....	230
Tabelle 3-98:	Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N <sub>2</sub> O .....	230
Tabelle 3-99:	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO <sub>2</sub> .....	230
Tabelle 3-100:	Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO <sub>2</sub> e .....	231
Tabelle 3-101:	Ausgestaltung des Vergleichszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung .....	231
Tabelle 3-102:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen .....	232
Tabelle 3-103:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	232
Tabelle 3-104:	Entwicklung der Aktivitätsdaten [1000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 .....	234
Tabelle 3-105:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen [kt CO <sub>2</sub> e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 .....	234
Tabelle 3-106:	Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen [kt CO <sub>2</sub> e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 .....	235
Tabelle 3-107:	Entwicklung der CH <sub>4</sub> -Emissionen [kt CH <sub>4</sub> ] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 .....	235
Tabelle 3-108:	Entwicklung der N <sub>2</sub> O-Emissionen [kt N <sub>2</sub> O] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 .....	236

Tabelle 3-109:	Ausgestaltung des Vergleichszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung .....	236
Tabelle 3-110:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen .....	236
Tabelle 3-111:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des LULUCF-Sektors zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	237
Tabelle 3-112:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Abfallsektors zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS .....	241
Tabelle 3-113:	Primärenergieverbrauch im MMS 2008-2035 .....	244
Tabelle 3-114:	Primärenergieverbrauch im MWMS 2008-2035 .....	246
Tabelle 3-115:	Vergleich der Zuordnung der CRF-Sektoren 1.A.2 bis 1.A.5 und der Endenergie-Sektoren in der Energiebilanzstruktur .....	247
Tabelle 3-116:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS (2014-2035) .....	248
Tabelle 3-117:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS (2014-2035).....	250
Tabelle 3-118:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS (2014-2035).....	251
Tabelle 3-119:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS (2014-2025) .....	253
Tabelle 3-120:	Emissionsentwicklungen für die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen nach Gasen, 1990–2035.....	254
Tabelle 3-121:	Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035 .....	255
Tabelle 3-122:	Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035.....	256
Tabelle 3-123:	Emissionsentwicklungen für die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung nach Gasen, 1990–2035 .....	257
Tabelle 3-124:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MMS, 1990-2035.....	259
Tabelle 3-125:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS, 1990-2035.....	262
Tabelle 3-126:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035 .....	264
Tabelle 3-127:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MWMS, 2005-2035.....	265
Tabelle 3-128:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS, 1990-2035 .....	268
Tabelle 3-129:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MWMS 2005-2035.....	270
Tabelle 3-130:	Energie- und CO <sub>2</sub> -Preise für die Sensitivitätsrechnung „Niedrige Preise“.....	270

Tabelle 3-131:	Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO <sub>2</sub> -Preisen im MMS .....	273
Tabelle 3-132:	Veränderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO <sub>2</sub> -Preisen, MMS.....	273
Tabelle 3-133:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS) .....	273
Tabelle 3-134:	Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO <sub>2</sub> -Preisen im MWMS (Differenz).....	276
Tabelle 3-135:	Veränderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO <sub>2</sub> -Preisen, MWMS .....	276
Tabelle 3-136:	Wirkung geringerer Stromexporte im MWMS .....	276
Tabelle 3-137:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MWMS).....	276
Tabelle 4-1:	Übersicht des regelmäßig stattfindenden Austauschs zu Klimaschutzthemen zwischen Bund und Ländern.....	283
Tabelle A-5-1:	Klassifikation der Instrumententypen .....	291
Tabelle A-5-2:	Zuordnung von CRF-Kategorien im Projektionsbericht 2017 und im Klimaschutzplan 2050.....	291
Tabelle A-5-3:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MMS, 1990-2035 .....	292
Tabelle A-5-4:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MWMS, 1990-2035.....	293
Tabelle A-5-5:	Bruttostromerzeugung im MMS (2008-2035).....	293
Tabelle A-5-6:	Bruttostromerzeugung im MWMS (2008-2035) .....	294

## Abkürzungsverzeichnis

<b>a</b>	Jahr („annum“)
<b>AbfAbIV</b>	Abfallablagерungsverordnung
<b>AEO</b>	Annual Energy Outlook
<b>AG</b>	Aktiengesellschaft
<b>AGEB</b>	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
<b>AGEE-Stat</b>	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
<b>APEE</b>	Anreizprogramm Energieeffizienz
<b>AR4</b>	4. IPCC Assessment Report
<b>AS</b>	Alternative Systeme
<b>AtG</b>	Atomgesetz
<b>BAFA</b>	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
<b>BAM</b>	Bundesanstalt für Materialprüfung und Forschung
<b>bbl</b>	Barrel
<b>BBSR</b>	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
<b>BEA</b>	U.S. Bureau of Economic Analysis
<b>BesAr</b>	Besondere Ausgleichsregelung
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle
<b>BGB</b>	Bürgerliches Gesetzbuch
<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BIP</b>	Bruttoinlandsprodukt
<b>BLE</b>	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
<b>BMEL</b>	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
<b>BMF</b>	Bundesministerium der Finanzen
<b>BMUB</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
<b>BMVI</b>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>BNetzA</b>	Bundesnetzagentur
<b>boe</b>	Barrel-Öleinheit
<b>BT-Drs.</b>	Bundestagsdrucksache
<b>BVerfG</b>	Bundesverfassungsgericht
<b>BVWP</b>	Bundesverkehrswegeplan
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>CBA</b>	Cost-benefit analysis

<b>ccm</b>	Kubikzentimeter
<b>CCR</b>	Carbon (Dioxide) Capture and Recycling
<b>CCS</b>	Carbon (Dioxide) Capture and Storage
<b>CE</b>	Europäische Gemeinschaft (Communauté Européene) – Kennzeichnung
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan
<b>CNG</b>	Compressed Natural Gas
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Kohlendioxid-Äquivalent
<b>CP</b>	Current Policy Scenario
<b>CRF</b>	Common Reporting Format
<b>CsgG</b>	Carsharinggesetz
<b>D</b>	Forschung und Entwicklung
<b>DB</b>	Deutsche Bahn
<b>DEHSt</b>	Deutsche Emissionshandelsstelle
<b>DENA</b>	Deutsche Energie-Agentur
<b>DG ECFIN</b>	Directorate-General for Economic and Financial Affairs
<b>DIHK</b>	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
<b>DIW</b>	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
<b>E</b>	Ökonomische Instrumente
<b>EAF</b>	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)
<b>EBS</b>	Ersatzbrennstoff
<b>EC</b>	European Commission
<b>EDL</b>	Energiedienstleistungen
<b>EDV</b>	Elektronische Datenverarbeitung
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>EEA</b>	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
<b>EED</b>	Energieeffizienzrichtlinie (Energy Efficiency Directive)
<b>EEG</b>	Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>EEV</b>	Endenergieverbrauch
<b>EEWärmeG</b>	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
<b>EEX</b>	European Energy Exchange
<b>EFSI</b>	Europäischer Fonds für strategische Investitionen
<b>EG</b>	Europäische Gemeinschaft
<b>EGS</b>	Ecosystem Goods and Services
<b>EIA</b>	U. S. Energy Information Administration

<b>EKF</b>	Energie- und Klimafonds
<b>EKFG</b>	Gesetz zur Einrichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKFG)
<b>ELER</b>	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
<b>ELIAS</b>	Electricity Investment Analysis
<b>EMAS</b>	Eco Management and Audit Scheme
<b>EMS</b>	Energiemanagementsysteme
<b>EnEff</b>	Energieeffiziente Stadt
<b>EnEG</b>	Energieeinsparungsgesetz
<b>EnergieStG</b>	Energiesteuergesetz
<b>EnEV</b>	Energieeinsparverordnung
<b>EnOB</b>	Forschung für energieoptimiertes Bauen
<b>ENTR</b>	(Directorate General) Enterprise and Industry
<b>EntsoE</b>	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Verband europäischer Übertragungsnetzbetreiber)
<b>EnUSeM</b>	EnergieUmwandlungs-Sektor-Modell
<b>EnVKG</b>	Energieverbrauchskennzeichnungsgesetzes
<b>EnVKV</b>	Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
<b>EnWG</b>	Energiewirtschaftsgesetz
<b>ESD</b>	Effort-Sharing-Decision
<b>ESF</b>	Europäischer Sozialfonds
<b>ESVG</b>	Europäisches System der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung
<b>ET</b>	Bildung
<b>ETS</b>	Emissions Trading System
<b>EUA</b>	Europäische Umweltagentur
<b>EUA</b>	EU-Allowance
<b>EuP</b>	Elektronisch unterwiesene Person
<b>EVPG</b>	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
<b>EWI</b>	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
<b>EWR</b>	europäischer Wirtschaftsraum
<b>F</b>	Fiskalische Instrumente
<b>FAME</b>	Fettsäuremethylester
<b>F-Gase</b>	fluorierte Treibhausgase
<b>FKW</b>	perfluorierte Kohlenwasserstoffe
<b>FNB</b>	Fernleitungsnetzbetreiber
<b>FW</b>	Fernwärmе

<b>Fzkm</b>	Fahrzeugkilometer
<b>GAK</b>	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
<b>GAP</b>	Gemeinsame Agrarpolitik der EU
<b>Gg</b>	Gigagramm
<b>GHD</b>	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
<b>GJ</b>	Gigajoule
<b>GT</b>	Gasturbine
<b>GuD</b>	Gas- und-Dampf-Kraftwerk
<b>GW</b>	Gigawatt
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>GWS</b>	Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung
<b>HELCOM</b>	Kommission zum Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum (Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area).
<b>HFKW</b>	teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
<b>HH</b>	(Private) Haushalte
<b>H<sub>i</sub></b>	Heizwert
<b>Ho bzw. HCV</b>	oberer Heizwert
<b>H<sub>s</sub></b>	Brennwert
<b>Hu bzw. NCV</b>	unterer Heizwert
<b>I</b>	Information
<b>ICAO</b>	Internationale Zivilluftfahrt-Organisation
<b>ICCT</b>	International Council on Clean Transportation
<b>ICE</b>	Intercontinental Exchange
<b>IE</b>	included elsewhere
<b>IEA</b>	Internationale Energieagentur
<b>IKK</b>	Investitionskredit Kommunen
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnik
<b>IKU</b>	Investitionskredit Kommunale und Soziale Unternehmen
<b>IMA</b>	Interministerielle Arbeitsgruppe
<b>IMO</b>	International Maritime Organization (Internationale Schifffahrtsorganisation)
<b>Inst.</b>	Institut
<b>Internat.</b>	International
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IT</b>	Informationstechnik

<b>IWU</b>	Institut Wohnen und Umwelt
<b>KfW-EH</b>	KfW Effizienzhaus
<b>Kfz</b>	Kraftfahrzeug
<b>KMU</b>	kleine und mittlere Unternehmen
<b>koord.</b>	koordinierte
<b>KrW-/AbfG</b>	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
<b>kt</b>	Kilotonne
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>KW</b>	Kohlenwasserstoffe
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>KWKG</b>	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
<b>LED</b>	Leuchtdiode (Light-emitting Diode)
<b>Lkw</b>	Lastkraftwagen
<b>LNF</b>	leichte Nutzfahrzeuge
<b>LNG</b>	liquified natural gas
<b>LPG</b>	Liquified pressurized gas
<b>LuftVStG</b>	Luftverkehrsteuergesetzes
<b>LULUCF</b>	Land Use, Land-Use Change and Forestry
<b>MAC-Richtlinie</b>	Richtlinie 2006/40/EG
<b>MAP</b>	Marktanreizprogramm
<b>MBA</b>	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
<b>MFH</b>	Mehrfamilienhaus
<b>Mg</b>	Megagramm
<b>MinöStG</b>	Mineralölsteuergesetz
<b>MIV</b>	Motorisierter Individualverkehr
<b>MJ</b>	Megajoule
<b>MMR</b>	Monitoring Mechanism Regulation
<b>MMS</b>	Mit-Maßnahmen-Szenario
<b>Mt</b>	Megatonne
<b>MWh</b>	Megawattstunde
<b>MWh<sub>th</sub></b>	Megawattstunde (thermisch)
<b>MWMS</b>	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
<b>MWSt</b>	Mehrwertsteuer

<b>N</b>	Stickstoff
<b>n. V.</b>	nach Vereinbarung
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Lachgas
<b>NA</b>	not applicable
<b>NACE</b>	Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der europäischen Gemeinschaft (Nomenclature statistique des activités économiques dans la communauté européenne)
<b>NAPE</b>	„Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz“
<b>NEFZ</b>	Neuer Europäischer Fahrzyklus
<b>NE-Metalle</b>	Nicht-Eisen-Metalle
<b>NER</b>	“New Entrants‘ reserve“
<b>NF<sub>3</sub></b>	Stickstofftrifluorid
<b>NIR</b>	Nationaler Inventarbericht
<b>NIR</b>	National Inventory Report
<b>NKI</b>	Nationale Klimaschutzinitiative
<b>NMVOC</b>	non methane volatile organic compounds (Flüchtige organische Verbindungen außer Methan)
<b>NO</b>	not occurring
<b>nom.</b>	nominal
<b>NP</b>	New Policy Scenario
<b>NPE</b>	Nationale Plattform Elektromobilität
<b>NRMM</b>	Non-Road Mobile Machinery
<b>NTC</b>	Net Transfer Capacities
<b>NTRI</b>	Nationale Top-Runner-Initiative
<b>NWG</b>	Nichtwohngebäude
<b>O</b>	Andere
<b>o.J.</b>	ohne Jahr(esangabe)
<b>ODS</b>	Ozon Depleting Substances (ozonabbauende Stoffe)
<b>OECD</b>	Organization for Economic Co-operation and Development
<b>OMS</b>	Ohne-Maßnahmen-Szenario
<b>OPEC</b>	Organization of the Petroleum Exporting Countries
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>ORC</b>	Organic Rankine Cycle
<b>ÖV</b>	öffentlicher Verkehr
<b>p.a.</b>	pro anno / jährlich
<b>PB</b>	Projektionsbericht
<b>PC</b>	Personal Computer

<b>PEV</b>	Primärenergieverbrauch
<b>PFC</b>	perfluorierte Kohlenwasserstoffe
<b>PHEV</b>	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
<b>PJ</b>	Petajoule
<b>Pkm</b>	Personenkilometer
<b>Pkw</b>	Personenkraftwagen
<b>ppm</b>	parts per million
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>QT</b>	Transmissionswärmeverlust
<b>R</b>	Regulierung
<b>REA</b>	Rauschgasentschwefelungsanlage
<b>REG</b>	Regenerative Energien
<b>RL</b>	Richtlinie
<b>RV</b>	Rentenversicherung
<b>SAR</b>	2. IPCC Assessment Report
<b>SESAR</b>	Single European Sky ATM Research
<b>SF<sub>6</sub></b>	Schwefelhexafluorid
<b>SGB</b>	Sozialgesetzbuch
<b>SHHV</b>	Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr
<b>SKE</b>	Steinkohleeinheit
<b>SKI</b>	Stromkostenintensität
<b>SLAM</b>	„Schnellladernetz für Achsen und Metropolen“
<b>SpaEfV</b>	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung
<b>SSU</b>	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen
<b>StBA</b>	Statistisches Bundesamt
<b>STEP up!</b>	STromEffizienzPotenziale (nutzen)
<b>StromStG</b>	Stromsteuergesetz
<b>SystEEm</b>	Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration der erneuerbaren Energien
<b>TASi</b>	TA Siedlungsabfall
<b>TDI</b>	Toluol-2,4-diisocyanat
<b>TEMPS</b>	Transport Emissions and Policy Scenarios
<b>THG</b>	Treibhausgas
<b>TI</b>	Thünen Institut
<b>TJ</b>	Terajoule
<b>tkm</b>	Tonnenkilometer

<b>TREMOD</b>	Transport Emission Model
<b>TWh</b>	Terawattstunde
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>USD</b>	US-Dollar
<b>USV</b>	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
<b>U-Wert</b>	Wärmedurchgangskoeffizient
<b>V</b>	Verpflichtungserklärungen
<b>Var.</b>	Variante
<b>VEM</b>	Vattenfall Europe Mining AG
<b>VGR</b>	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
<b>VgV</b>	Vergabeordnung
<b>ViZ</b>	Verkehr in Zahlen
<b>VO</b>	Verordnung
<b>VOB</b>	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
<b>VP 2030</b>	Verkehrsverflechtungsprognose 2030
<b>vTI</b>	von-Thünen-Institut
<b>vzbv</b>	Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.
<b>WEHAM</b>	Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung
<b>WG</b>	Wohngebäude
<b>Whg</b>	Wohnung
<b>WLTP</b>	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure
<b>WVZ</b>	Wirtschaftliche Vereinigung Zucker
<b>WZ</b>	Klassifikation der Wirtschaftszweige
<b>WZ 2003</b>	Klassifikation der Wirtschaftszweige
<b>ZDH</b>	Zentralverband des Deutschen Handwerks
<b>zGG</b>	zulässiges Gesamtgewicht
<b>ZSE</b>	Zentrales System Emissionen
<b>ZVEI</b>	Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie

## Zusammenfassung

Für den deutschen Projektionsbericht 2017 hat ein Forschungskonsortium im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2005 bis 2035 erarbeitet. Zum einen wurde ein *Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)* erstellt, in dem die bis 31. Juli 2016 in den verschiedenen Sektoren neu eingeführten oder maßgeblich geänderten klima- und energiepolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden. Zudem wurde ein *Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)* erstellt, in dem in erster Linie die im ressortübergreifenden „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ (BMUB 2014) und im „Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz“ (BMWi 2014) bisher noch nicht umgesetzten politischen Maßnahmen für die Szenarienentwicklung berücksichtigt werden.

Mit dem Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2007, dem 2010 verabschiedeten Energiekonzept und den Beschlüssen zur Beschleunigung der Energiewende vom Sommer 2011 sind wichtige energie- und klimapolitische Strategien, Politiken und Maßnahmen verabschiedet worden. Im Energiekonzept wurden zudem erstmals langfristige Energie- und Klimaschutzziele für Deutschland verabschiedet. Danach sollen die Treibhausgasemissionen in Deutschland im Vergleich zum Niveau von 1990 bis 2020 um 40 % und bis 2050 um 80 bis 95 % gesenkt und ehrgeizige Ziele für Energieeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien erreicht werden.

Damit das 40 %-Ziel 2020 erreicht wird, hat die Bundesregierung Anfang Dezember 2014 das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 und den Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz mit einem umfassenden Maßnahmenpaket auf den Weg gebracht. Des Weiteren hat das Bundeskabinett am 14. November 2016 den Klimaschutzplan 2050 beschlossen. Er zeigt den Weg in ein weitgehend treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 auf. Darin ist erstmals das Treibhausgasminderungsziel von 55 % für das Jahr 2030 auf die Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft aufgeteilt worden.

Dieser Projektionsbericht ist als Bericht an die EU-KOM nach international abgestimmten Vorgaben nicht unmittelbar zur Unterlegung des Klimaschutzplans 2050 angelegt. So werden im Projektionsbericht 2017 die Treibhausgasemissionen nach Quellgruppen anhand der UNFCCC-Vorgaben auf Basis der Empfehlungen des IPCC beschrieben. Im Klimaschutzplan 2050 erfolgt die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern jedoch einem davon abweichenden Zuschnitt, der jedoch ebenfalls auf Quellgruppen des IPCC basiert. Daher sind die Ergebnisdarstellungen nach Quellbereichen nur bedingt vergleichbar. Eine Darstellung der „Umrechnung“ für Vergleichszwecke findet sich in Tabelle A-5-3 und Tabelle A-5-4.<sup>1</sup>

Im Rahmen der Szenarienberechnung erfolgte eine detaillierte Analyse der bis zum jeweiligen Stichtag ergriffenen 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 ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) und Stickstofftrifluorid ( $\text{NF}_3$ ) für die Quellsektoren Energie, Industrieprozesse, Produktverwendung, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft sowie Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.

Zur Szenarienentwicklung wurden ein Energiesystem- und ein Emissionsberechnungsmodell eingesetzt, mit deren Hilfe die Ergebnisse detaillierter – zum Teil modellgestützter – Sektoranalysen zu einem konsistenten und vollständigen Mengengerüst für den Energiebedarf und die Treibhausgasemis-

---

<sup>1</sup> Eine detaillierte Aufstellung der Zuordnung der verschiedenen Quellkategorien zu den Handlungsfeldern im Projektionsbericht und im Klimaschutzplan 2050 findet sich in Tabelle A-5-2.

sionen verdichtet wurden, das vollständig kompatibel zu den deutschen Treibhausgasinventaren (Stand: Nationaler Inventarbericht 2016, UBA 2016a) ist. Spezifische Untersuchungen wurden für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser, elektrische Geräte, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Verkehr, Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die fossile Stromerzeugung sowie für die flüchtigen Emissionen des Energiesektors und prozessbedingte CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen angestellt. Für ausgewählte andere Quellbereiche (HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen sowie die Landwirtschaft und Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft [LULUCF]) wurden Ergebnisse anderer Untersuchungen übernommen bzw. aufgearbeitet.

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 Klimaschutz 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 zusätzlichen Maßnahmen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario 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 spielt eine Reihe wichtiger Rahmenstellungen eine entscheidende Rolle. Dies betrifft sowohl die demographischen und wirtschaftlichen Rahmendaten als auch die Entwicklung der Energiepreise. Für die Erstellung der Projektionen wurde für die Entwicklung der Wohnbevölkerung, dem Bruttoinlandsprodukt, dem Rohölpreis und dem Preis für EU-Emissionsberechtigungen den Empfehlungen unter der MMR der EU-Kommission gefolgt. Darüber hinaus wurden im MMS sowie im MWMS Daten verwendet, die bis zum 31. Juli 2016 veröffentlicht wurden. Daten, die nach diesem Datum erschienen sind, konnten aus Konsistenzgründen der beiden Szenarien in der Modellierung nicht mehr berücksichtigt werden. Die Tabelle 1-1 zeigt die wichtigsten Rahmendaten für die Szenarien im Überblick.

Der Szenarienentwicklung liegt eine demographische Entwicklung zugrunde, in der die deutsche Wohnbevölkerung um das Jahr 2002 herum ihr höchstes Niveau erreicht, dann bis 2011 zurück geht, zwischen 2012 und 2014 noch minimal ansteigt und in den folgenden Jahren kontinuierlich leicht zurückgeht, so dass für das Jahr 2035 knapp 79 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 im verarbeitenden Gewerbe nimmt im gleichen Zeitraum von 473 Mrd. €<sub>2010</sub> im Jahr 2015 auf 542 Mrd. €<sub>2010</sub> stark zu. Für den Bereich privater und öffentlicher Dienstleistungen wird von einem leichten Anstieg der Beschäftigten zwischen 2015 und 2030 in der Größenordnung von 1,1 Millionen ausgegangen. Nach dem Jahr 2030 ist ein leichter Rückgang der Beschäftigten in diesem Sektor zu verzeichnen. Der Preis für Rohöl wird im Jahr 2035 deutlich über dem Preis des Jahres 2015 liegen.

Tabelle 1-1: Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2015-2035

	2015	2020	2025	2030	2035
<b>Demographische Entwicklung</b>					

	2015	2020	2025	2030	2035
Wohnbevölkerung (in Mio.)	81,4	80,6	80,3	79,7	78,8
Private Haushalte (in Mio.)	40,1	40,9	41,1	41,3	41,5
<b>Wirtschaftliche Entwicklung</b>					
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. € 2010) <sup>2</sup>	2.783	2.968	3.120	3.246	3.362
Bruttowertschöpfung des verarbeitenden Gewerbes (Mrd. € 2010)	473	498	519	533	542
Beschäftigte im Dienstleistungssektor (in Mio.)	28,8	29,3	29,6	29,9	29,8
<b>Primärenergierträgerpreise (€<sub>2013</sub>/GJ H<sub>i</sub>)</b>					
Rohöl	8,2	12,8	14,5	16,0	16,6
Steinkohle	2,4	2,4	2,9	3,5	3,7
Erdgas	6,1	7,5	8,1	8,8	9,4
<b>CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise (€/EUA)</b>					
MMS und MWMS	7,5	15,0	22,5	33,5	42,0

Quellen: StBA 2016b, EC 2016, EIA 2015, StBA 2014c, Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Hinsichtlich der Preise für EU-Emissionsberechtigungen liegt den Szenarien ein leicht steigender Preis zu Grunde, der im Jahr 2035 ein Niveau von 42 € je EUA (real, Preisbasis 2013) erreicht. Für das MMS und das MWMS werden die gleichen EUA-Preise für die Projektionen in Ansatz gebracht.

### 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. Entsprechende Sensitivitätsanalysen für beide Szenarien zeigen die mögliche Größenordnung der bestehenden Unsicherheiten.

Tabelle 1-2: Entwicklung der gesamten Treibhausgase nach Quellbereichen im MMS, 1990-2035

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Energiewirtschaft	427,4	378,8	356,2	346,3	283,0	294,9	267,9	221,4
Industrie	186,7	115,2	125,2	119,7	113,1	108,1	101,3	97,5
GHD	88,4	47,9	47,6	39,5	42,5	37,5	32,7	27,9

<sup>2</sup> Die VGR-Revision 2014 setzt die Regeln des „Europäischen Systems der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung“ (ESVG) von 2010 um und erhöht das BIP für 2013 um ca. 80 Mrd. Euro. In der Tabelle werden für die Darstellung der Trajektorie des stat. Bundesamts und der Herbstprojektionen aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Studien die Größen vor Revision dargelegt, die Wachstumsraten entsprechen jedoch der Neuberechnung nach Revision.

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Haushalte	130,8	111,9	106,9	85,2	75,7	65,0	57,8	52,5
Verkehr	164,4	161,4	154,2	161,1	159,1	152,7	150,0	148,9
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,5	7,6	7,2	6,8	6,5
Industrieprozesse	96,4	75,3	62,0	61,0	60,3	54,4	47,0	45,1
Landwirtschaft	79,8	63,6	63,0	66,9	66,3	66,3	65,1	64,5
Abfallwirtschaft	38,0	21,2	14,6	11,6	8,6	7,0	5,9	5,0
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>816,4</b>	<b>793,1</b>	<b>734,5</b>	<b>669,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-17,7 %	-20,0 %	-25,9 %	-32,5 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-34,7 %	-36,5 %	-41,2 %	-46,5 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-34,9 %	-36,7 %	-41,4 %	-46,6 %
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,3	-15,0	29,1	11,2	19,2	18,7
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	31,3	34,4	36,8	38,8	39,2
<b>Gesamt inklusive nachrichtlich</b>	<b>1.237,1</b>	<b>1.009,9</b>	<b>957,2</b>	<b>918,1</b>	<b>879,9</b>	<b>841,0</b>	<b>792,5</b>	<b>727,2</b>
ggü. 2005	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-12,9 %	-16,7 %	-21,5 %	-28,0 %
ggü. 1990	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-28,9 %	-32,0 %	-35,9 %	-41,2 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-18,6 %	-22,9 %	-26,0 %	-29,1 %	-32,2 %	-36,1 %	-41,4 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet

<sup>b</sup> 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-5-3.

Für die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und ohne internationale Luft- und Seeverkehr) ergibt sich im *Mit-Maßnahmen-Szenario* (MMS) für den Zeitraum 2005 bis 2020 eine Minderung um 175 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 18 %. Bis 2030 beträgt die Minderung ggü. 2005 etwa 257 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 26 % und bis 2035 etwa 323 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 33 %. Im Vergleich zu 1990 entspricht dies bis 2020 einer Minderung um 34,7 %, bis 2030 einer Minderung um etwa 41 % und bis 2035 um gut 46 %. Betrachtet man zusätzlich die im Bericht analysierten Sensitivitäten, ergibt sich ein möglicher Korridor der Emissionsminderung in 2020, welcher zwischen 33,7% (stärkeres Wirtschaftswachstum) und 37,5% (niedrigerer Stromexportsaldo) im Vergleich zu 1990 liegt.

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 um über 4 Mt CO<sub>2</sub>e wachsen, dies entspricht einem Zuwachs von ca. 14 %. Da im MWMS keine zusätzlichen Maßnahmen für den internationalen Verkehr angenommen werden, gilt diese Aussage für beide Szenarien gleichermaßen.

Die *energiebedingten Treibhausgasemissionen* werden wesentlich bestimmt durch die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in der Energiewirtschaft und den Endverbrauchssektoren Industrie, Haushalte, Verkehr, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Kohlenbergbau sowie der Öl- und Gaswirtschaft.

Im Mit-Maßnahmen-Szenario sinken die Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung (Energiesektor, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Haushalte und Verkehr einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr) im Zeitraum 2005 bis 2020 um 137 Mt CO<sub>2</sub>e, bis 2030 um 197 Mt CO<sub>2</sub>e und bis 2035 um 258 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Minderung von etwa 16 % bzw. 23 % bzw. 31 % gegenüber 2005 und einer Minderung von 30 % bzw. 36 % bzw. 42 % gegenüber 1990. Etwa 41 % dieser Emissionsminderung wird dabei 2035 von den Endverbrauchssektoren (ohne internationalen Verkehr) erbracht, wobei erheblichen Minderungen in den Haushalten (allein etwa 59 Mt CO<sub>2</sub>e) geringere absolute Emissionsänderungen in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und nationaler Verkehr (Absenkung zusammen um ca. 50 Mt CO<sub>2</sub>e) geringere Einzelbeiträge gegenüberstehen. Der gesamte Beitrag der Energiewirtschaft (ohne Industriekraftwerke) zur Emissionsminderung bei den Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung beträgt für den genannten Zeitraum ca. 59 %.

Die diffusen Emissionen aus dem Kohlenbergbau und der Öl- und Gaswirtschaft gehen im Mit-Maßnahmen-Szenario von 2005 bis 2035 um etwa 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 Mit-Maßnahmen-Szenario im Zeitraum 2005 bis 2035 eine Reduktion von 268 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 31 %.

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen wird für Deutschland vor allem durch die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stahl- und Zementproduktion sowie der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der chemischen Industrie geprägt. Neben den prozessbedingten CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen spielen auch die Emissionen fluorierter Treibhausgase aus Industrieprozessen und der Produktverwendung eine wichtige Rolle. Im Mit-Maßnahmen-Szenario-Szenario ergeben sich hier gegenüber 2005 bis 2035 Emissionsreduktionen in Höhe von 30 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 40 %.

Die Emissionen aus der Landwirtschaft liegen 2035 etwa 1 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 1 % höher als 2005. Im Gegensatz dazu sinken die Emissionen der Abfallwirtschaft zwischen 2005 und 2035 um 16 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 76 %.

Tabelle 1-3: Entwicklung der gesamten Treibhausgase nach Quellbereichen im MWMS, 1990-2035

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Energiewirtschaft	427,4	378,8	356,2	346,3	277,4	272,4	232,6	176,9
Industrie	186,7	115,2	125,2	119,7	110,8	106,3	100,2	92,1
GHD	88,4	47,9	47,6	39,5	42,5	37,0	31,7	26,6
Haushalte	130,8	111,9	106,9	85,2	76,0	64,2	56,3	50,7
Verkehr	164,4	161,4	154,2	161,1	158,4	149,7	139,0	127,7
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,5	7,6	7,2	6,8	6,4
Industrieprozesse	96,4	75,3	62,0	61,0	60,1	52,4	46,9	44,8
Landwirtschaft	79,8	63,6	63,0	66,9	64,2	64,3	63,1	62,5
Abfallwirtschaft	38,0	21,2	14,6	11,6	8,5	6,6	5,5	4,6

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>805,6</b>	<b>760,2</b>	<b>682,0</b>	<b>592,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-18,8 %	-23,4 %	-31,2 %	-40,3 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-35,7 %	-39,4 %	-45,6 %	-52,8 %
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,3	-15,0	29,1	11,2	19,2	18,7
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	31,3	34,4	36,8	38,8	39,2
<b>Gesamt inklusive nachrichtlich</b>	<b>1.237,1</b>	<b>1.009,9</b>	<b>957,2</b>	<b>918,1</b>	<b>869,1</b>	<b>808,1</b>	<b>740,0</b>	<b>650,2</b>
ggü. 2005	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-13,9 %	-20,0 %	-26,7 %	-35,6 %
ggü. 1990	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-29,7 %	-34,7 %	-40,2 %	-47,4 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-18,6 %	-22,9 %	-26,0 %	-30,0 %	-34,9 %	-40,4 %	-47,6 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet  
<sup>b</sup> 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-5-4.

Im *Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario* (MWMS) ergibt sich für die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und ohne internationalen Luft- und Seeverkehr) für den Zeitraum 2005 bis 2020 eine Minderung um 186 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. fast 19 %. Bis 2030 beträgt die Minderung gegenüber 2005 etwa 310 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. mehr als 31 % und bis 2035 etwa 400 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. über 40 %. Im Vergleich zu 1990 bis 2020 entspricht dies einer Minderung um 35,5 %. Bis 2030 ergibt sich eine Minderung um über 45 % und bis 2035 um knapp 53 % gegenüber 1990. Betrachtet man zusätzlich die im Bericht analysierten Sensitivitäten, ergibt sich ein möglicher Korridor der Emissionsminderung in 2020, welcher zwischen 34,5% (stärkeres Wirtschaftswachstum) und 38,4% (niedrigerer Stromexportsaldo) im Vergleich zu 1990 liegt.

Im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) sinken die Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung (Energiesektor, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Haushalte und Verkehr einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr) im Zeitraum 2005 bis 2020 um 146 Mt CO<sub>2</sub>e, bis 2030 um 247 Mt CO<sub>2</sub>e und bis 2035 um 332 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Minderung von etwa 17 % bzw. 29 % bzw. 39 % gegenüber 2005 und einer Minderung von 31 % bzw. 41 % bzw. 50 % gegenüber 1990. Etwa 41 % dieser Emissionsminderung wird dabei 2035 von den Endverbrauchssektoren erbracht, wobei auch im MWMS die Haushalte den größten Einzelminderungsbeitrag (allein 61 Mt CO<sub>2</sub>e) geringere Emissionsänderungen bringt. Die Bereiche Industrie, GHD und nationale Verkehr mindern dem gegenüber zusammen um ca. 78 Mt CO<sub>2</sub>e. Der gesamte Beitrag der Energiewirtschaft (ohne Industriekraftwerke) zur Emissionsminderung bei den Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung beträgt für den genannten Zeitraum ca. 59 %.

Die diffusen Emissionen aus dem Kohlenbergbau und der Öl- und Gaswirtschaft gehen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario von 2005 bis 2035 um etwa 61 % zurück und damit ähnlich wie im MMS.

Insgesamt ergibt sich für die energiebedingten Treibhausgasemissionen (verbrennungsbedingte Emissionen, einschließlich internationalem Verkehr, und diffuse Emissionen aus Brennstoffen) im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario im Zeitraum 2005 bis 2035 eine Reduktion von 342 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 40 %.

Für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen ergeben sich im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario gegenüber 2005 bis 2035 Emissionsreduktionen in Höhe von 30 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 40 %. Die Emissionen aus der Landwirtschaft liegen 2035 etwa 1 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. knapp 2 % niedriger als 2005. Die Emissionen der Abfallwirtschaft zwischen 2005 und 2035 um knapp 17 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 78 %.

### Sensitivitätsanalysen

Zur Einordnung der Ergebnisse wurde die Sensitivität bezüglich der Annahmen zur demographischen und gesamtwirtschaftlichen Entwicklung analysiert. Dafür wurde einerseits in MMS und MWMS das angenommene Wirtschaftswachstum erhöht, andererseits der Rückgang der Bevölkerung verringert. Die Rechnung ergibt für beide Szenarien, dass die wirtschaftlichen Variablen (Wirtschaftswachstum und Energieintensität) die dominierenden Treibergrößen sind: Ein erhöhtes Wirtschaftswachstum steigert die Emissionen beider Szenarien um bis zu 25 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2035. Die Bandbreite der Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung führt dagegen bis 2035 nur zu einer minimalen Veränderung von bis zu 4 Mt CO<sub>2</sub>e. Insgesamt ist der Effekt dennoch gering, vor allem bis 2020 liegen die Unterschiede unter einem Prozentpunkt (siehe folgende Tabelle 1-4).

Zusätzlich wurde der Effekt eines langfristig niedrigen Preisniveaus für Energieträger und CO<sub>2</sub>-Emissionsberechtigungen im Stromsektor berechnet. Das gegenwärtige Preisniveau liegt bei beidem deutlich unter allen Projektionen der Vorjahre. Auch hier ist der Effekt minimal: Die Annahmen führen zu keiner nennenswerten Veränderung der Emissionen in der Stromerzeugung. Dafür ist entscheidend, dass sich die Merit Order der Stromerzeugung nicht grundlegend ändert, weil die Kosten für Braunkohle durch die niedrigen CO<sub>2</sub>-Preise immer noch unter der Steinkohle und diese unter dem Erdgas liegen. Schließlich wurde entsprechend dem Projektionsbericht 2015 für das MWMS noch der Effekt reduzierter Stromexporte untersucht, die einen erheblichen Minderungsbeitrag von 36 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2020 leisten.

Tabelle 1-4: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 für die Sensitivitätsrechnungen (MMS und MWMS)

	MMS	MWMS
<b>Reduktion gegenüber 1990</b>		
Standard-Rahmendaten	-34,7 %	-35,5 %
Stärkeres Wirtschaftswachstum	-33,7 %	-34,5 %
Stärkeres Bevölkerungswachstum	-33,8 %	-34,7 %
Niedrige Energie- und CO <sub>2</sub> -Preise	-34,6 %	-35,5 %
Geringerer Stromexportsaldo	-37,5 % <sup>3</sup>	-38,4 %

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

### Klima- und energiepolitische Maßnahmen mit den größten Wirkungsbeiträgen

<sup>3</sup> Effekt nur für MWMS tatsächlich modelliert und für MMS aufgrund der sehr vergleichbaren Wirkung übernommen.

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

- a) die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft mit 10 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2020
- b) der Emissionshandel: 7,7 Mt CO<sub>2e</sub> (13,0 Mt CO<sub>2e</sub>)
- c) das Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien im Gebäudebereich: 3,9 Mt CO<sub>2</sub> (11,6 Mt CO<sub>2</sub>)
- d) das KfW-Programm für energieeffizientes Bauen und Sanieren: 2,9 Mt CO<sub>2</sub> (8,7 Mt CO<sub>2</sub>)
- e) die Beschränkung von HFKW in Pkw-Klimaanlagen gemäß EU MAC-Richtlinie 2006/40/EG: 3,2 Mt CO<sub>2e</sub> (6,1 Mt CO<sub>2e</sub>)
- f) die Energieeinsparverordnung (EnEV) 3,1 Mt CO<sub>2</sub> (8,0 Mt CO<sub>2</sub>)
- g) die Energieberatung Mittelstand: 1,5 Mt CO<sub>2e</sub> (1,7 Mt CO<sub>2e</sub>)
- h) der HFKW-Phase-Down nach EU F-Gas Verordnung 517/2014 (inkl. Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung & NKI-Förderung): 0,6 Mt CO<sub>2e</sub> (5,7 Mt CO<sub>2e</sub>)

Im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario erbringen nach Analyse des Forschungskonsortiums folgende zum MMS zusätzliche Maßnahmen im Jahr 2020 (im Jahr 2030 in Klammer) die größten Beiträge zur Emissionsminderung in den entsprechenden Sektoren:

- a) die Dekarbonisierung der Stromerzeugung durch mehr erneuerbare Energien und KWK: 6 Mt CO<sub>2e</sub> (24 Mt CO<sub>2e</sub>)
- b) die Einsparung von Strom durch Maßnahmen in anderen Sektoren: 8 Mt CO<sub>2e</sub> (8 Mt CO<sub>2e</sub>)
- c) die Effizienzverpflichtung: 1,9 Mt CO<sub>2e</sub> (3,8 Mt CO<sub>2e</sub>)
- d) die Weiterentwicklung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien mit 5,2 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2030
- e) die Weiterentwicklung des KfW-Programms für energieeffizientes Bauen und Sanieren 1,1 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2030
- f) Im Jahr 2022 beginnt zudem die Fortschreibung der CO<sub>2</sub>-Grenzwerte im Verkehrsbereich mit einer Emissionsminderung von 11 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2030.

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 *Mit-Maßnahmen-Szenario* sinkt von 2014 bis 2035 um 10 %. Bei den Mineralölprodukten, dem aktuell wichtigsten Endenergieträger ist über den Zeitraum 2014 bis 2035 ein Rückgang um 21 % zu beobachten, wohingegen der Endenergieverbrauch von fossilen Gasen im gleichen Zeitraum nur um 5 % zurückgeht. Der Stromverbrauch sinkt bis 2035 mit 6 % ebenfalls nur leicht. Entgegen dem Trend bei den fossilen Energieträgern nimmt der Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien deutlich zu. Zwischen 2014 und 2035 ist ein Anstieg um fast 13 % festzustellen. Die Nachfrage nach Stein- und Braunkohle vermindert sich weiterhin – allerdings bewegten sich hier die Nachfragen auch schon 2014 und den Jahren vorher auf einem niedrigen Niveau.

Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte geht im Mit-Maßnahmen-Szenario von 2014 bis 2035 um 15 % zurück, für den GHD-Sektor (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) ist ein Rückgang um 17 % zu beobachten. Der Endenergieverbrauch des Verkehrs bleibt quasi konstant, wobei der Verbrauch des nationalen Verkehrs von 2014 bis 2035 um 1 % sinkt, der des internationalen Flugverkehrs hingegen um etwa 33 % wächst. Für den Endenergieverbrauch in der Industrie ergibt sich im Zeitraum 2014 bis 2035 ein Rückgang um etwa 12 %.

Die Bruttostromerzeugung sinkt im Mit-Maßnahmen-Szenario bis 2035 auf etwa 579 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 (2014 betrug dieser Anteil 15 %), Steinkohlekraftwerke tragen 15 % (19 %), Braunkohlekraftwerke etwa 13 % (25 %) zur gesamten Bruttostromerzeugung bei. Die Erdgasverstromung steigt an und erbringt im Jahr 2035 einen Anteil von ca. 16 % (10 %). Der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von etwa 26 % im Jahr 2014 auf 51 % im Jahr 2035.

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

Im Mit-Maßnahmen-Szenario geht der Primärenergieverbrauch vom Referenzjahr 2008 bis 2035 um etwa 26 % 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 Verbrauch von erneuerbaren Energien zunimmt. Die wichtigsten Beiträge entfallen hier auf Biomasse und Windenergie (im Jahr 2035 jeweils etwa 8 % des Primärenergieverbrauchs). Der Einsatz von Braunkohle geht von 2014 bis 2035 um etwa 55 %, der Verbrauch von Steinkohle um ca. 25 %, der Verbrauch von Mineralöl um 16 % sowie der Beitrag der Kernenergie (ausstiegsbedingt) auf null zurück. Mineralöl bleibt mit einem Anteil von 36 % im Jahr 2035 vor fossilen Gasen (27 %, vor allem Erdgas) wichtigster Primärenergieträger. Die erneuerbaren Energien haben 2035 zusammen einen Anteil von 17 % am Primärenergieverbrauch. Der Anteil von Kohlen am Primärenergieaufkommen liegt im Jahr 2035 bei nur noch 19 %, wobei davon der größere Teil auf Steinkohle, der Rest auf Braunkohle entfallen wird.

Der Endenergieverbrauch in Deutschland im *Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario* sinkt von 2014 bis 2035 um 16 %. Bei den Mineralölprodukten ist über den Zeitraum 2014 bis 2035 ein deutlicher Rückgang um 30 % zu beobachten, nicht ganz so stark ist der Rückgang beim Endenergieverbrauch fossiler Gase: dieser sinkt zwischen 2014 und 2035 um 18 %. Der Stromverbrauch sinkt insgesamt bis 2035 um 7 %. Entgegen dem Trend bei den fossilen Energieträgern nimmt der Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien leicht zu. Zwischen 2014 und 2035 steigt er um fast 4 %. Die Nachfrage nach Stein- und Braunkohle vermindert sich weiterhin – allerdings bewegten sich hier die Nachfragen auch schon 2014 und den Jahren vorher auf einem niedrigen Niveau.

Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte geht im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario von 2014 bis 2035 um 18 % zurück, für den GHD-Sektor (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) ist ein Rückgang um 21 % zu beobachten. Der Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs sinkt von 2014 bis 2035 um 18 %, der des internationalen Verkehrs hingegen wächst um etwa 36 %. Im Zeitraum 2005 bis 2020 sinkt der Energieverbrauch des nationalen Verkehrs um 13 %, während der des internationalen Luftverkehrs um 33 % steigt. Im Saldo verbleibt für den Endenergieverbrauch des Verkehrs ein Rückgang um knapp 10 %. Für den Endenergieverbrauch in der Industrie ergibt sich im Zeitraum 2014 bis 2035 ein Rückgang um etwa 17 %.

Die Bruttostromerzeugung sinkt im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario bis 2035 auf etwa 574 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 (2014 betrug dieser Anteil 15 %), Steinkohlekraftwerke tragen 7 % (19 %), Braunkohlekraftwerke etwa 12 % (25 %) zur gesamten Bruttostromerzeugung bei. Die Erdgasverstromung steigt stark an und erbringt im Jahr 2035 einen Anteil von ca. 19 % (10 %). Der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von etwa 26 % im Jahr 2012 auf 57 % im Jahr 2035.

Im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario geht der Primärenergieverbrauch vom Referenzjahr 2008 bis 2035 um fast 33 % zurück. Hinsichtlich der Struktur des Primärenergieverbrauchs ergeben sich jedoch zwei unterschiedliche Trends. Die Einsätze von Kernenergie, Braunkohle, Mineralöl und Erdgas gehen zurück, während der Verbrauch von erneuerbaren Energien zunimmt. Der Einsatz von erneuerbaren Energien steigt deutlich an. Die wichtigsten Beiträge entfallen hier auf Biomasse und Wind (im Jahr 2035 jeweils etwa 8 % des Primärenergieverbrauchs). Der Einsatz von Braunkohle geht von 2014 bis 2035 um etwa 59 %, der Verbrauch von Steinkohle um ca. 53 %, der Verbrauch von Mineralöl um 16 % sowie der Beitrag der Kernenergie (ausstiegsbedingt) auf null zurück. Mineralöl bleibt mit einem Anteil von 36 % im Jahr 2035 vor fossilen Gasen (30 %, hauptsächlich Erdgas) wichtigster Primärenergieträger. Die erneuerbaren Energien haben 2035 zusammen einen Anteil von 18 % am Primärenergieverbrauch. Der Anteil von Kohlen am Primärenergieaufkommen liegt im Jahr 2035 bei nur noch 15 %, wobei davon der größere Teil auf Steinkohle, der Rest auf Braunkohle entfallen wird.

## 1 Einleitung und methodischer Ansatz

### 1.1 Einleitung

Klimaschutzpolitik bildet seit inzwischen mehr als zwei Dekaden ein herausgehobenes 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 immer wieder als treibende Kraft die Verhandlungen zum europäischen Klimaschutz entscheidend mitbestimmen. Mit den ambitionierten nationalen Zielen hat Deutschland eine Vorreiterrolle innerhalb der EU eingenommen.

Das Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2007, das 2010 verabschiedete Energiekonzept und die Beschlüssen zur Beschleunigung der Energiewende vom Sommer 2011 beinhalten wichtige energie- und klimapolitische Strategien, Politiken und Maßnahmen. Im Energiekonzept wurden zudem erstmals langfristige Energie- und Klimaschutzziele für Deutschland verabschiedet. Danach sollen die Treibhausgasemissionen in Deutschland im Vergleich zum Niveau von 1990 bis 2020 um 40 % und bis 2050 um 80 bis 95 % gesenkt und ehrgeizige Ziele für Energieeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien erreicht werden.

Damit das 40 %-Ziel 2020 erreicht wird, 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 beschlossen. Er zeigt den Weg in ein weitgehend treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 auf. Darin ist erstmals das Treibhausgasminderungsziel von 55 % für das Jahr 2030 auf die Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft aufgeteilt worden. Da die Sektorziele zum Teil weitreichende Folgen für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung haben, werden sie einer umfassenden Folgenabschätzung unterzogen, deren Ergebnis 2018 eine Anpassung der Sektorziele ermöglicht.

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 das Europäische Emissionshandlungssystem.

Der vorliegende Bericht basiert auf Modellrechnungen, die durch ein Konsortium deutscher Forschungsinstitute aus Öko-Institut und dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung sowie in Zusammenarbeit mit Dr. Hans-Joachim Ziesing im Auftrag des Umweltbundesamtes erarbeitet wurden. In diese Modellrechnungen sind teilweise Emissionsprojektionen aus anderen Forschungsvorhaben eingeflossen. Die Szenarioberechnungen zu den Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF wurden durch das Johann Heinrich von Thünen-Institut durchgeführt.

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

Im Kapitel 2 werden die Rahmenannahmen und die für das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) sowie das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) 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, im Kapi-

tel 3.3 wird die Ermittlung der gesamten energiebedingten- und prozessbedingten Emissionen dokumentiert.

Im Kapitel 3.4 werden die Emissionsentwicklungen für das MMS und MWMS zusammenfassend dargestellt. Das Kapitel 3.5 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die Sensitivitätsanalysen.

Eine Darstellung der institutionellen Maßnahmen und der Instrumente zum Kyoto-Protokoll enthält das abschließende Kapitel 4.

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.

Hinsichtlich der Politiken und Maßnahmen werden zwei Szenarien untersucht:

- a) Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis 31. Juli 2016 ergriffen worden sind. Es beinhaltet auch Maßnahmen des „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ (BMUB 2014), welche zu diesem Zeitpunkt bereits umgesetzt sind. Die Entwicklung aufgrund dieser Maßnahmen wird mit einer (hypothetischen) Entwicklung verglichen, die ohne diese Maßnahmen bzw. ohne die entsprechende Novellierung bereits bestehender Politiken und Maßnahmen eingetreten wäre. Dabei wurden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem jeweils beschriebenen Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen wirksam waren.<sup>4</sup>
- b) Im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) werden in erster Linie die im ressortübergreifenden „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ (BMUB 2014) und im „Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz“ (BMWi 2014) bisher noch nicht umgesetzten politischen Maßnahmen berücksichtigt.
- c) Das Aktionsprogramm reagiert auf die aktuelle Entwicklung der Treibhausgasemissionen, die das nationale Minderungsziel von 40 % gegenüber 1990 im Jahr 2020 um fünf bis acht Prozentpunkte zu verfehlten droht (BMUB 2014). Enthalten ist neben Einzelmaßnahmen auf sektoraler Ebene eine nicht weiter spezifizierte Stärkung des Emissionshandels, die wegen der einheitlichen Vorgaben der Europäischen Kommission zu den Preisen für Emissionsberechtigungen im MMS und MWMS hier nicht berücksichtigt wird. Der NAPE hat die Erhöhung der nachfrageseitigen Energieeffizienz zum Ziel.

---

<sup>4</sup> 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.

Sowohl das Aktionsprogramm Klimaschutz als auch der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz unterscheiden zwischen zentralen politischen Maßnahmen, die in ihrer Reduktionswirkung auf die Treibhausgase bzw. den Energieverbrauch quantifiziert wurden, und weiteren flankierenden Maßnahmen sowie solchen, die erst im Rahmen weiterführender Arbeitsprozesse konkretisiert und operationalisiert werden. Das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario folgt dieser Unterscheidung insofern, als die zentralen politischen Maßnahmen auch hier weitgehend als zu quantifizierende Instrumente eingeordnet werden. Wenngleich die flankierenden Instrumente wichtige Bausteine im Instrumentenverbund darstellen, werden diese aufgrund ihrer häufig geringen direkten Wirkung und Überschneidungen mit anderen Instrumenten nicht einzeln quantifiziert.

Die Bundesregierung macht sich die Ergebnisse der vorgelegten Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2020 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 Klimaschutz 2020 und zum NAPE erarbeitet wurden, im Einzelnen zu abweichenden Ergebnissen. Die Bundesregierung wird allerdings die Forschungsergebnisse des Projektionsberichts in ihre künftigen Überlegungen mit einbeziehen.

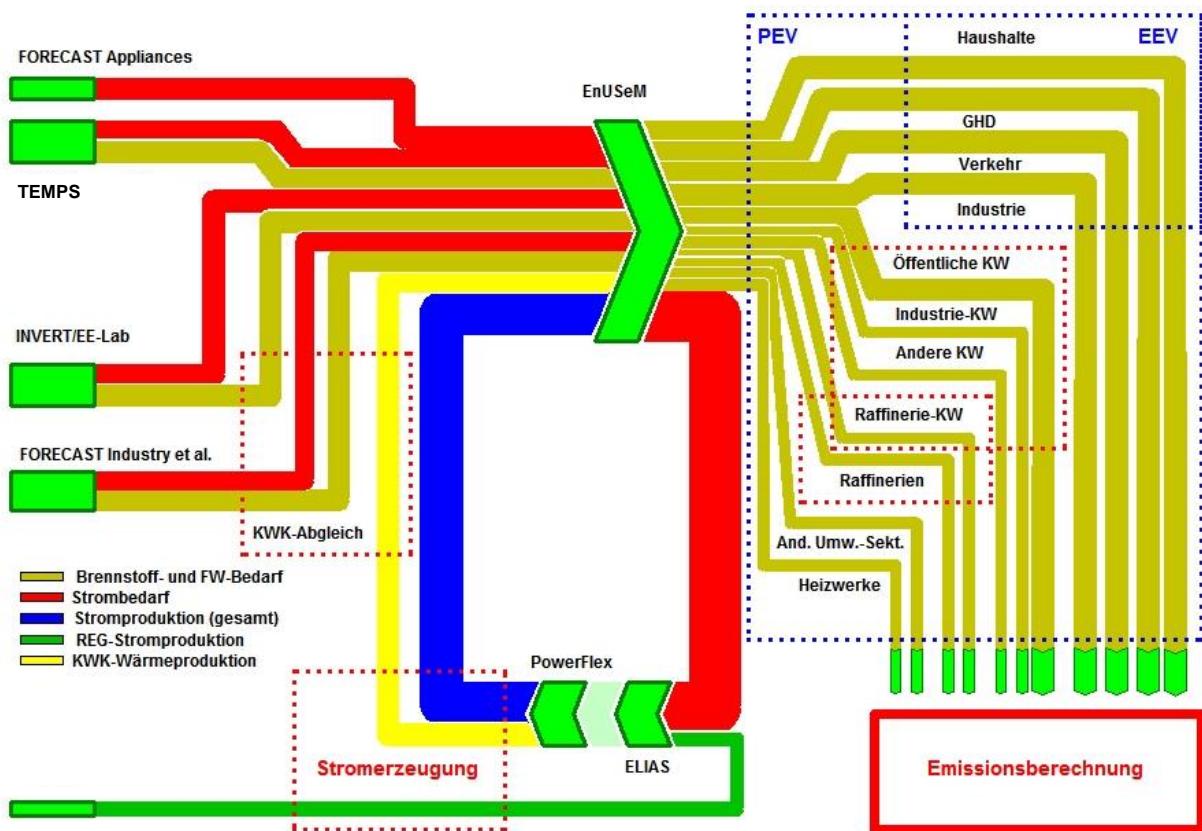
Die in dem Bericht dargestellten zusätzlichen Maßnahmen sowie die Ergebnisse des Berichts präjudizieren die Bundesregierung nicht. Sofern zusätzliche Maßnahmen umgesetzt werden sollen, stehen diese unter Finanzierungsvorbehalt.

Die Analyse und Bewertung der verschiedenen Maßnahmen, die Ermittlung der entsprechenden Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen sowie der notwendigen Hintergrundinformationen und -indikatoren für den Projektionsbericht folgt für die verschiedenen Sektoren unterschiedlichen methodischen Ansätzen bzw. basiert auf unterschiedlichen Modellinstrumentarien, die für die verschiedenen Bereiche auf Basis der verfügbaren Daten und Informationen eine adäquate Analyse erlauben.

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

- a) Die Stromerzeugung auf Basis fossiler Energieträger sowie die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien werden mit den Modellen des Öko-Instituts (ELIAS/PowerFlex) analysiert (siehe 3.1.7.1). Die Wärmeerzeugung von KWK-Anlagen wird in diesem Modellen ebenfalls modelliert.
- b) 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 3.1.8.1).
- c) Für den Verkehrsbereich wurde die Verkehrsnachfrage für das MMS aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 übernommen und bis 2035. Die Modellierung erfolgt mit dem Modell TEMPS des Öko-Instituts (siehe 3.1.2.1).
- d) Für den Gebäudesektor (im Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude) wird das Modell INVERT / EE-Lab des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) genutzt (siehe 3.1.3.1).
- e) Analysen für den verbleibenden Brennstoff- und Strombedarf im Sektor Private Haushalte werden unter der Modellplattform FORECAST des Fraunhofer ISI durchgeführt (siehe 3.1.4.1).
- f) Die Analysen für den Strom- und Brennstoffbedarf der Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel Dienstleistung erfolgen unter der Modellplattform FORECAST des Fraunhofer ISI, die auf einzelnen Sektormodellen beruht (siehe 3.1.5.1 und 3.1.6.1).

Abbildung 1-1 Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

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 im Emissionsmodell des Öko-Instituts eine quellgruppenspezifische Modellierung auf Basis des Mengengerüsts für die Energienachfrage und -bereitstellung sowie den für das Nationale Treibhausgasinventar genutzten Methoden (siehe 3.1.9.1).

Für die Emissionen aus Industrieprozessen werden drei verschiedene Ansätze verfolgt:

- 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.
- 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 3.1.10.1).
- Für die HFKW-, FKW-, SF<sub>6</sub>- und NF<sub>3</sub>-Emissionen werden vorliegende Projektionen aktualisiert und angepasst (siehe 3.1.11.1).

Die Projektionen der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft sowie von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) werden vom Johann Heinrich von Thünen-Institut erstellt (siehe 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 3.1.14.1).

Zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen wurde 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 Primärenergieaufkommen sowie die Treibhausgasintensität der genutzten fossilen Energieträger beschrieben werden kann.

Unter Verwendung dieses Modellinstrumentariums werden neben der Erstellung des MMS und MWMS auch Sensitivitätsanalysen für beide Szenarien zu einer höheren Bevölkerungsentwicklung, einer höheren Wirtschaftsentwicklung sowie zu niedrigeren Energiepreisen in Kombination mit einem niedrigerem CO<sub>2</sub>-Preispfad durchgeführt.

Die Berechnungen der Szenarien in diesem Bericht sind in großem Maß von vom nationalen Treibhausgasinventar abhängig. Das aktuellste zum Zeitpunkt der Berechnung dieses Szenarios verfügbare Treibhausgasinventar ist aus dem Berichtsjahr 2016 (UBA 2016a) und wurde unter Anwendung der *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC 2006) unter Verwendung von Treibhausgaspotentialen aus dem Vierten Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC 2007) erstellt. Die primäre Datenquelle zur Erstellung dieses Berichts sind die historischen Daten im Treibhausgasinventar (UBA 2016a) sowie einer zu diesem Inventar konsistenten Datenausspielung aus dem Zentralen System Emissionen (ZSE) im Umweltbundesamt (UBA 2016b). 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 7. November 2016 an UNFCCC übermittelten Stand des nationalen Treibhausgasinventars (UBA 2016a). Am 15. Januar 2017 wurde an die Europäische Kommission das neue Treibhausgasinventar übermittelt. Dieser Stand des nationalen Treibhausgasinventars Aktualisierung konnte in diesem Bericht nicht mehr berücksichtigt werden.

## 2 Beschreibung der Rahmendaten und der in Deutschland ergriffenen Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz

Dieser Abschnitt enthält die Annahmen zu den Rahmendaten, die bei der Erstellung der Treibhausgas-Emissionsszenarien für den Projektionsbericht 2017 zu Grunde gelegt werden sollen.

### 2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

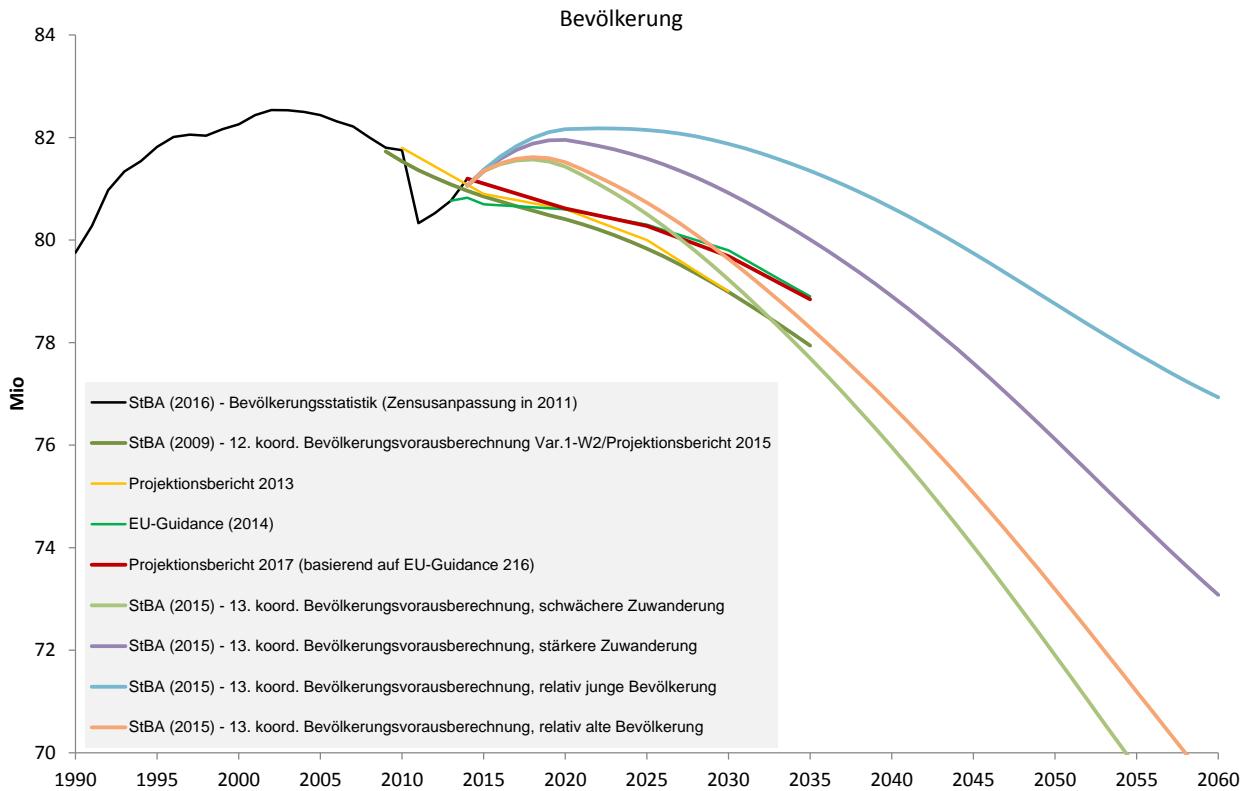
#### 2.1.1 Demographische Entwicklung

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

- a) Zum einen besteht ein direkter Zusammenhang der Bevölkerungsgröße und Treibhausgasemissionen, z.B. durch die Nutzung von Brennstoffen für Transport- und Heizzwecke,
- b) 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 2-1 sind aktuelle Bevölkerungsprojektionen vergleichend dargestellt.

Abbildung 2-1: Aktuelle Bevölkerungsprojektionen im Vergleich



Quelle: eigene Darstellung nach Bundesregierung (2013), StBA (2009, 2015, 2016b) und EC (2014, 2016a)

Anmerkung: Eine offizielle Rückrechnung des Statistischen Bundesamtes für die Werte 1990-2011 auf Basis der Zensusanpassung liegt nicht vor. Die von der Europäischen Kommission bereitgestellten Bevölkerungsdaten ab 2015 wurden mit dem letzten historischen Wert nach Veröffentlichung des Bevölkerungszensus 2011 (schwarze Trajektorie) verbunden. Der Projektionsbericht 2015 orientierte sich an der 12. Bevölkerungsprognose mit den höheren Annahmen zum Wanderungssaldo (Var. 1-W2). Der Vorschlag für den Projektionsbericht 2017 basiert auf der EU-Guidance für Projektionsberichte .

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

Dargestellt sind vier verschiedene Varianten der neuen (13. koordinierten) Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamtes, die sich in den Annahmen zur Geburtenrate, Lebenserwartung und zum Wanderungssaldo in der Zukunft unterscheiden: Die Variante „Kontinuität bei schwächerer Zuwanderung“ geht von einer Nettozuwanderung von durchschnittlich 130.000 Personen pro Jahr aus und die Variante „Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung“ geht von einem höheren durchschnittlichen Zuwanderungssaldo von 230.000 Personen pro Jahr aus. Die Variante „Relativ junge Bevölkerung“ nimmt eine höhere Geburtenhäufigkeit mit einem Anstieg von 1,4 auf 1,6 Kinder pro Frau bis zum Jahr 2028 an bei einer durchschnittlichen stärkeren Nettozuwanderung von 230.000 Personen pro Jahr. Die Variante „relativ alte Bevölkerung“ basiert auf der Annahme einer gleichbleibenden Geburtenhäufigkeit von 1,4 Kindern pro Frau, einem Anstieg der Lebenserwartung für Frauen und Männer und einer schwächeren Zuwanderung (Variante „schwächere Zuwanderung“).

Frühere Projektionen, die noch auf den Daten vor Zensus beruhen, werden hier nicht dargestellt.

Vor dem Hintergrund der dargestellten Projektionen (insbesondere der 13. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung) orientieren sich die Bevölkerungsrahmendaten des Projektionsberichtes 2017 an denen der EU-Guidance, die den Entwicklungen Rechnung trägt (rote Trajektorie in Abbildung 2-1). Die Annahmen zu den Kerngrößen der Bevölkerungsmodellierung sind von der Europäischen Kommission im Ageing Report (EC 2015)<sup>5</sup> für jedes EU-Land dargelegt und entsprechen in etwa denen der 13. Bevölkerungsvorausberechnung. Für Deutschland wird im 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 im Jahr 2060 (85,2 für Jungen). Die Nettozuwanderung liegt bei knapp 230.000 Personen im Jahr 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 vorgeschlagenen Datenpunkte sind damit die folgenden:

- a) **2014:** 81,2 Mio. Einwohner
- b) **2020:** 80,6 Mio. Einwohner
- c) **2025:** 80,3 Mio. Einwohner
- d) **2030:** 79,7 Mio. Einwohner
- e) **2035:** 78,8 Mio. Einwohner

Um den Differenzen zwischen der Bevölkerungsvorausberechnung der europäischen Kommission und der des Statistischen Bundesamts Rechnung zu tragen, wird zusätzlich noch ein Sensitivitätsszenario vorgeschlagen, das die Varianten der 13. Bevölkerungsvorausberechnung des StBA reflektiert. Hierfür wird ein einfacher Mittelwert der vier vorgestellten Varianten gebildet.

Die Datenpunkte des Sensitivitätsszenarios sind damit wie folgt:

- a) **2014:** 81,2 Mio. Einwohner
- b) **2020:** 81,8 Mio. Einwohner
- c) **2025:** 81,2 Mio. Einwohner
- d) **2030:** 80,4 Mio. Einwohner
- e) **2035:** 79,3 Mio. Einwohner

---

<sup>5</sup> Begleitet wird der Bericht von einer Arbeitsgruppe, die aus überwiegend aus Vertretern der Ministerien der Mitgliedsstaaten besteht (für Deutschland sind dies Vertreter aus dem Finanzministerium und dem Ministerium für Arbeit und Soziales).

Die Wachstumsraten der oben gezeigten Projektionen sind in unten stehender Tabelle zusammengefasst, der Vorschlag für den Projektionsbericht 2017 ist hervorgehoben.

Tabelle 2-1: Projizierte Wachstumsraten der Bevölkerung in %

	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035
StBA (2015) - 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, ...				
... Kontinuität bei schwächerer Zuwanderung	0,0 %	-0,2 %	-0,3 %	-0,4 %
... Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung	0,1 %	-0,1 %	-0,2 %	-0,2 %
... relativ junge Bevölkerung	0,2 %	0,0 %	-0,1 %	-0,1 %
... relativ alte Bevölkerung	0,0 %	-0,2 %	-0,3 %	-0,3 %
EU-Guidance	0,0 %	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %
EU-Guidance	-0,1 %	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %
Projektionsbericht 2013 (Bundesregierung 2013)	-0,1 %	-0,1 %	-0,3 %	
Projektionsbericht 2015 (BMUB 2016b)	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %	-0,3 %
<b>Vorschlag Projektionsbericht 2017 (basierend auf EU-Guidance 2016)</b>	<b>-0,1 %</b>	<b>-0,1 %</b>	<b>-0,1 %</b>	<b>-0,2 %</b>
<b>Sensitivitätsvarianten Projektionsbericht 2017 (basierend auf StBA [2015])</b>	0,1 %	-0,1 %	-0,2 %	-0,3 %

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 sind aktuell verfügbar: Die Frühjahrsprojektion der Bundesregierung geht von einem Wachstum von jeweils 1,7 % im Jahr 2015 und 2016 sowie 1,5 % im Jahr 2017 aus. Im Jahresdurchschnitt von 2015 bis 2020 ergibt sich ein Wachstum um 1,6 % pro Jahr. Auch die Bundesbank (2016) teilt diesen optimistischen Ausblick: Sie geht von Wachstumsraten von 1,7 % (2016), 1,4 % (2017) und 1,6 % (2018) aus. Die EU-Kommission (2016) erwartet in ihrer Kurzfristprognose (DG ECFIN 2016) jeweils 1,6 % für 2016 und 2017. Die OECD (2016) prognostiziert ein durchschnittliches Wachstum des BIPs von 1,6 % für 2016 bzw. 1,7 % für 2017.

Die empfohlenen Wachstumsraten der Europäischen Kommission (EC 2016a) nach Artikel 23 (3) der Commission Implementing Regulation (EU) No 749/2014 liegen für den Zeitraum 2015-2020 bei 1,3 % p.a. und bei 1 % p.a. im Zeitraum 2020-2025. Nach 2025 sinken die von der Kommission empfohlenen Wachstumsraten sukzessive weiter; dies reflektiert den anhaltenden, angenommenen Bevölkerungsrückgang (siehe Abschnitt 2.1.1), sowie weitere Annahmen zu anderen trendrelevanten Faktoren, wie beispielsweise technologischen Entwicklungen. Eine Zusammenschau der verschiedenen An-

nahmen in 5-Jahresschritten ist aus Tabelle 2-2 ersichtlich; die Empfehlungen für den Projektionsbericht sind dabei hervorgehoben: Sie richten sich aus Gründen der Konsistenz für Projeaktionen innerhalb der europäischen Union nach der EU-Guidance , die auch mit der in Abschnitt 2.1.1 dargelegten Bevölkerungsentwicklung harmoniert.

Tabelle 2-2: Durchschnittliche, jährliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsproduktes für Deutschland in verschiedenen Projektionen, sowie Vorschläge für den Projektionsbericht 2017 in Prozent

	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035
Bundesregierung (2016b)	1,6 %			
Projektionsbericht (Bundesregierung 2013)	1,3 %	1,1 %	1,1 %	
Projektionsbericht (BMUB 2016b)	1,3 %	1,0 %	1,0 %	1,0 %
EU-Guidance	0,9 %	0,8 %	0,6 %	0,5 %
<b>EU-Guidance</b>	<b>1,3 %</b>	<b>1,0 %</b>	<b>0,8 %</b>	<b>0,7 %</b>
Annahme Projektionsbericht 2017	1,3 %	1,0 %	0,8 %	0,7 %
Annahme für Sensitivitätsrechnung	1,6 %	1,0 %	1,0 %	1,0 %

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der oben angegebenen Quellen

Die Annahmen für den Projektionsbericht 2017 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

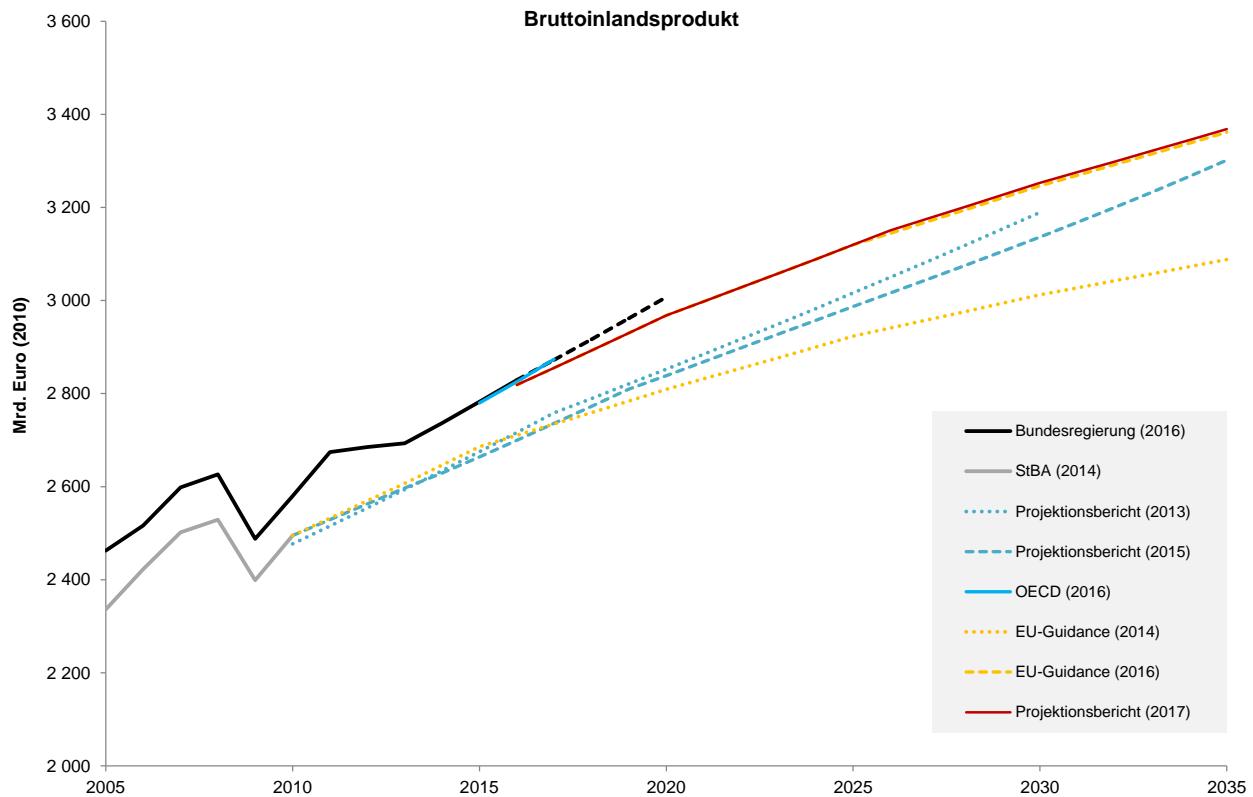
- a) **2015-2020:**  
1,3 % Wachstum p.a.
- b) **2021-2025:**  
1,0 % Wachstum p.a.
- c) **2026-2030:**  
0,8 % Wachstum p.a.
- d) **2031-2035:**  
0,7 % Wachstum p.a.

Da zukünftige Entwicklungen immer mit starken Unsicherheiten behaftet sind, wird zusätzlich eine Sensitivitätsrechnung vorgenommen. Diese entsprechen einer Kombination aus der Frühjahrsprognose der Bundesregierung bis 2020, sowie den Rahmendaten des Projektionsbericht 2015 von 2020-2035 und reflektieren die Sensitivitätsvariante für die Bevölkerungsentwicklung. Die Sensitivität bildet damit ein etwas stärkeres Wachstum ab.

- a) **2015-2020 (Sensitivität):**  
1,6 % p.a.
- b) **2021-2035 (Sensitivität):**  
1,0 % p.a.

Abbildung 2-2 stellt die historische Entwicklung (schwarze durchgängige Trajektorie bezeichnet mit Bundesregierung (2016) und aktuelle, sowie vergangene BIP-Projektionen vergleichend dar und hebt die Annahmen für den Projektionsbericht 2017 rot durchgezogen hervor.

Abbildung 2-2: Vergleich aktueller und vergangener Projektionen des Bruttoinlandsproduktes



Quelle: eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt (StBA 2013; StBA 2014a), BMUB (2016b), Bundesregierung (2013), EC (2014, 2016a), OECD (2016)

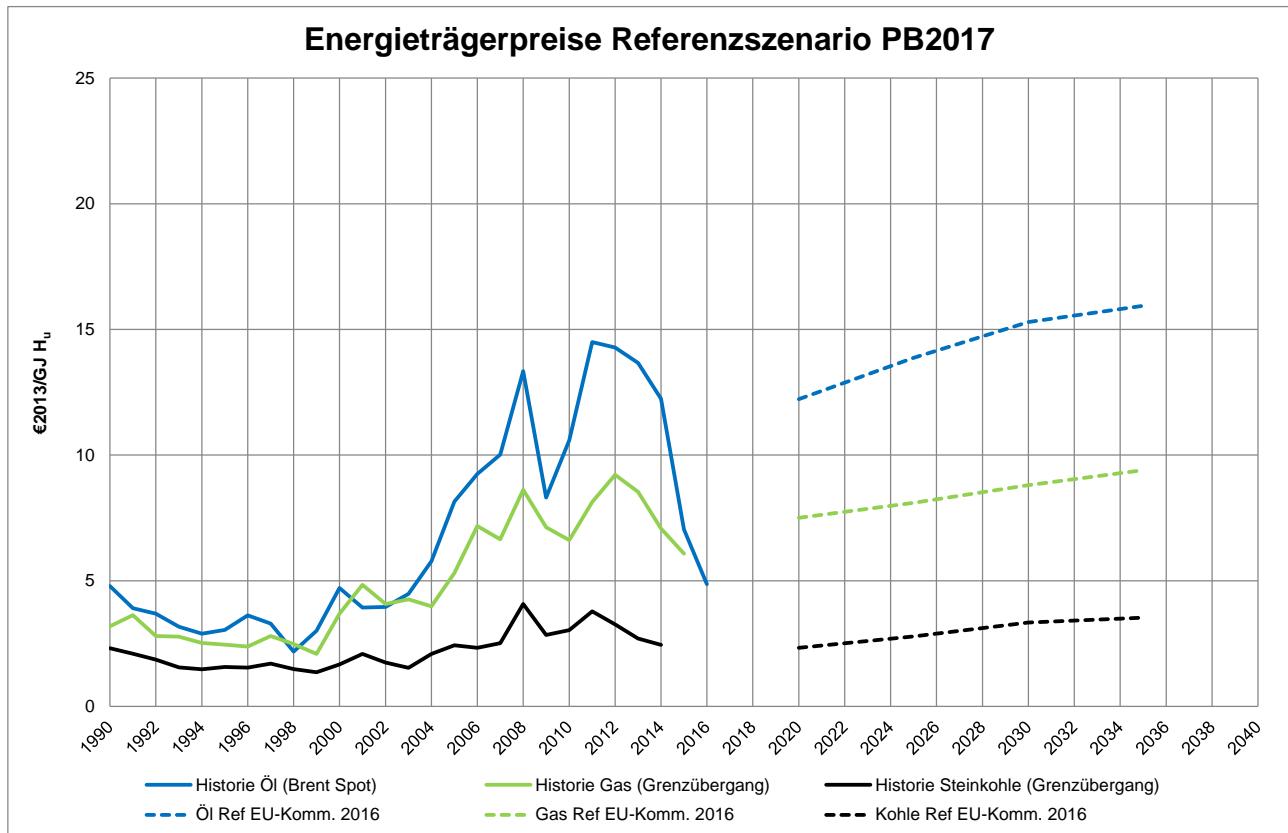
Anmerkung: Die VGR-Revision 2014 setzte die Regeln des „Europäischen Systems der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung“ (ESVG) von 2010 um und erhöhte damit das BIP für 2013 rechnerisch um ca. 80 Mrd. Euro. Die schwarze durchgehende Trajektorie (Bundesregierung 2016b) reflektiert diese Aktualisierung bereits. Zu Vergleichszwecken stellt die graue durchgehende Trajektorie (StBA 2014b) die Daten vor Umstellung dar, da eine Vielzahl von Projektionen vor Umstellung der VGR erfolgten, und entsprechend an diese Werte anknüpfen. Es wurde daher von einer nachträglichen Anpassung dieser Werte an die aktualisierten historischen Daten abgesehen. Die Einordnung der Wachstumsraten, dem zentralen Treiber in den Projektionen, ist aus Tabelle 2-2 ersichtlich.

## 2.2 Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise

### 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 Grenzübergangspreise für Steinkohle, Erdgas und Rohöl enthalten. Für die Berechnung der Szenarien des Projektionsberichts 2017 wird vorgeschlagen, generell der Empfehlung zu folgen und zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse mit niedrigeren Energiepreisen vorzunehmen. Die vorgeschlagenen Parameter werden in Abbildung 2-3, Abbildung 2-4 und in Tabelle 2-3 dargestellt.

Abbildung 2-3: Historie der Energieträgerpreise und Empfehlung der EU-Kommission

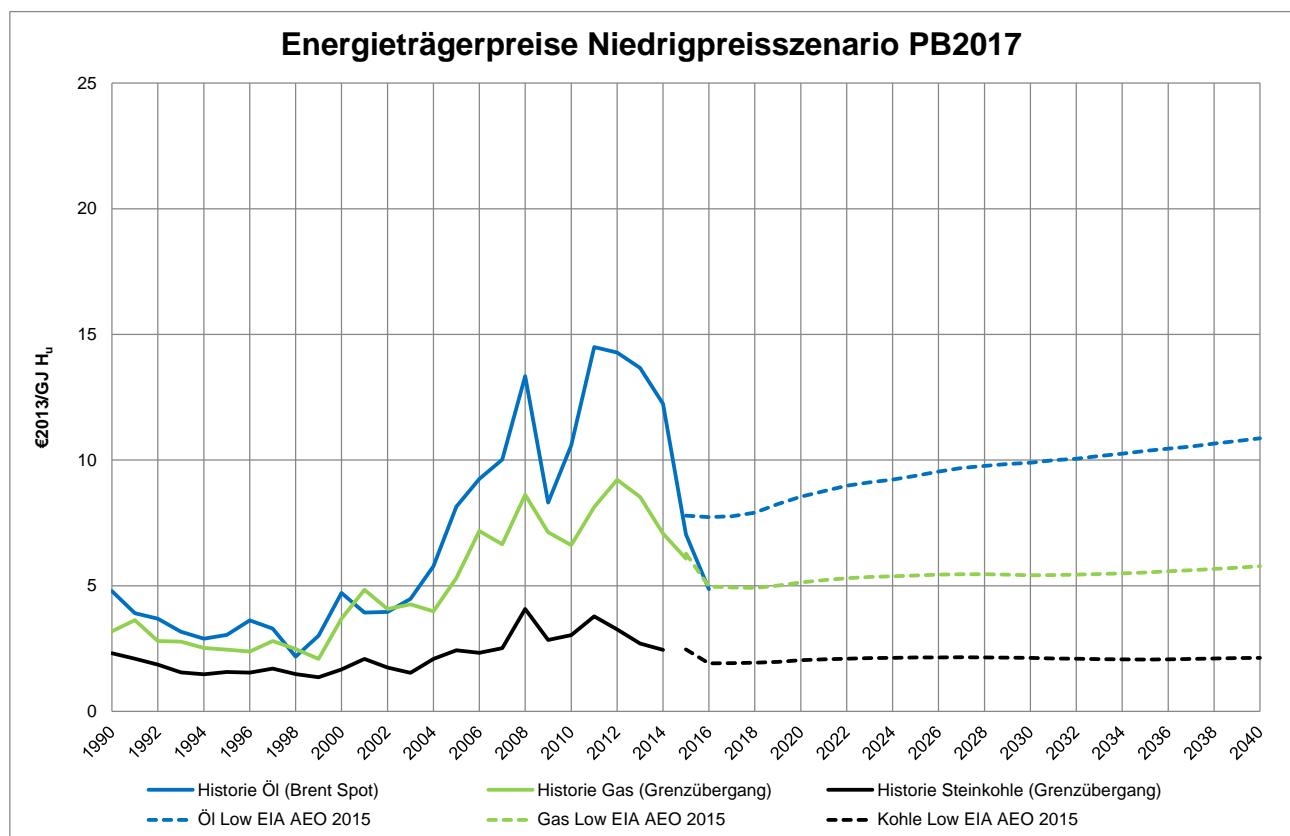


Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft e. V., EIA (2015), EC (2016b)

Würde von der Empfehlung abgewichen, so legt die Kommission nahe, eine Sensitivitätsrechnung mit den empfohlenen Preisen anzufertigen. Diese Kapazitäten können sinnvoller zur Berechnung einer Niedrigpreisvariante genutzt werden: Gegenwärtig liegt das Preisniveau auf den Energiemarkten immer noch weit unter allen Projektionen der Vorjahre. Die Möglichkeit eines langfristig niedrigen Niveaus sollte nicht ausgeschlossen und ihre Auswirkungen untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden mit Hilfe des bereits in den vorigen Projektionsberichten verwendeten Modells<sup>6</sup> aus dem Niedrigpreisszenario des Annual Energy Outlook 2015 der Energy Information Administration (EIA) entsprechend niedrigere Preispfade entwickelt.

<sup>6</sup> Das Energiepreismodell des Öko-Instituts baut auf der Analyse 35-jähriger Zeitreihen der Öl-, Gas- und Kohlepreise auf dem Weltmarkt auf, die eine robuste Kointegration der Preise von Kohle bzw. Gas und Öl nahelegen. Es wird angenommen, dass dieses Verhältnis verlässlich bleibt, aber Kohle- und Gaspreise langfristig langsamer steigen als der Ölpreis. Die Ölpreisprojektion wird aus dem Annual Energy Outlook der EIA (2015) entnommen, Gas- und Kohlepreise darauf aufbauend prognostiziert. Die langfristige Entkopplung entspricht dem im Verhältnis größer werdenden Abstand zwischen den verschiedenen Energieträgern im World Energy Outlook der IEA (2015).

Abbildung 2-4: Historie der Energieträgerpreise und vorgeschlagenes Niedrigpreisszenario



Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft e. V., EIA (2015), eigene Berechnungen

Tabelle 2-3 enthält neben der Empfehlung der EU-Kommission auch die im Projektionsbericht 2015 verwendeten Projektionen (hier in €<sub>2013</sub>) sowie die für die Sensitivitätsanalyse vorgeschlagenen niedrigen Preise. Die für die Projektionsberichte 2017 empfohlenen Energiepreise für Erdgas und Steinkohle liegen nahe am Preisniveau des Projektionsberichts 2015 (insbesondere die Jahre 2030 und 2035). Für Rohöl liegt das Preisniveau in diesen Jahren etwa 20 % unter dem Niveau des Projektionsberichts 2015.

Tabelle 2-3: Energiepreis-Projektionen\* für Rohöl, Erdgas und Steinkohle, 2015–2035

		2015*	2020	2025	2030	2035
			€ <sub>2013</sub> /GJ H <sub>i</sub>			
Projektionsbericht 2015 (Projektion nach EIA AEO 2014 Reference) (BMUB 2016b)	Rohöl Brent	13,2	13,6	15,7	17,6	19,2
	Steinkohle	2,6	2,7	3,0	3,2	3,3
	Erdgas	7,6	7,4	8,2	8,8	9,4
<b>EU Guidance Referenz für Projektionsbericht 2017</b>	<b>Rohöl Brent</b>		<b>12,8</b>	<b>14,5</b>	<b>16,0</b>	<b>16,6</b>
	<b>Steinkohle</b>		<b>2,4</b>	<b>2,9</b>	<b>3,5</b>	<b>3,7</b>
	<b>Erdgas</b>		<b>7,5</b>	<b>8,1</b>	<b>8,8</b>	<b>9,4</b>
Sensitivitätsrechnung: Niedrigpreis (EIA AEO 2015 Low Oil Price)**	Rohöl Brent	7,0	8,0	9,1	10,0	10,5
	Steinkohle	2,5	1,9	2,1	2,1	2,1
	Erdgas	6,2	4,8	5,3	5,5	5,6

\* Preis für 2015 aus Projektion der EIA (2015) bzw. daraus abgeleitet; kein historischer Preis.

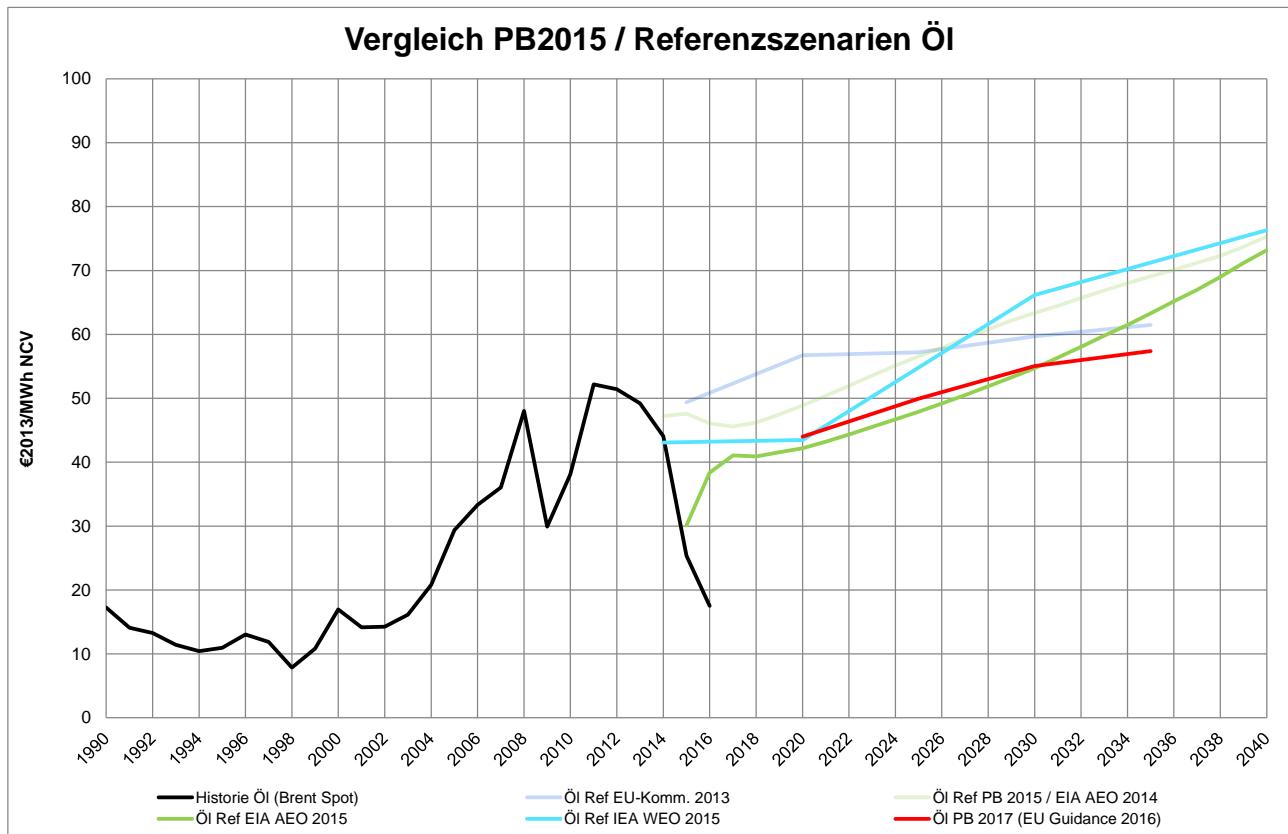
\*\* Quellen: Projektion Rohölpreis „Low“ aus EIA (2015), Steinkohle- und Erdgaspreise daraus abgeleitet

Verwendete Heizwerte 5,9 GJ/boe H<sub>i</sub>, 6,4 GJ/boe H<sub>s</sub>; Steinkohle 30,9 GJ/t; Erdgas 0,903 GJ H<sub>i</sub>/GJ H<sub>s</sub>.

Alle Angaben Grenzübergangspreise in €<sub>2013</sub>/GJ, unterer Heizwert bei Erdgas.

Die folgende Abbildung 2-5 verdeutlicht noch einmal beispielhaft die Deckung der Empfehlung (rot) mit der Projektion der EIA aus dem vorigen Projektionsbericht (dunkelgrün). Sämtliche anderen gesichteten Projektionen liegen deutlich darüber.

Abbildung 2-5: Vergleich der Ölpreisprojektion im Projektionsbericht 2015 mit verschiedenen Optionen der Projektion für den Projektionsbericht 2017



Quelle: BMUB 2016b, EC 2016b; EIA 2014, 2015; IEA 2015

## 2.2.2 Preisprojektionen für Braunkohle

Für den Projektionsbericht 2017 werden als Ausgangspunkt für 2015 Gesamtkosten der Braunkohleförderung in Höhe von 6,2 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub> 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; 1,5 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub> in Anlehnung an EWI et al. (2014). Diese Kosten fallen immer 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 1,5 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub>. Es wird unterstellt, dass diese Kosten bei sinkendem Bedarf mittelfristig abbaubar sind.
- ▶ Investitionsausgaben: Landerwerb, Entschädigungen, Tagebaugroßgeräte, etc. Der Restbetrag von 3,2 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub> wird diesem Posten zugeschlagen ( $6,2 - 1,5 - 1,5 = 3,2$ ). 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 (z.B. im Investitionsmodell ELIAS) 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 abbaubar 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 1,5 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub>;
- ▶ ein Anteil bereits heute versunkener Kosten für langfristige Investitionen und Verpflichtungen von 0,6 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub>;
- ▶ als Rest die langfristig variablen Betriebskosten des Tagebaus von 4,1 €<sub>2013</sub>/MWh<sub>th</sub>.

Tabelle 2-4: Kostenannahmen der Braunkohleförderung für den Projektionsbericht 2017

	2015	2020	2025	2030	2035
Kurzfristige variable Kosten	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Versunkene Kosten	3,2	3,2	0,6	0,6	0,6
Langfristige Betriebskosten	1,5	1,5	4,1	4,1	4,1
Summe	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2

Quelle: Öko-Institut

## 2.3 Preise für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen

Für die Erstellung der Projektionen unter der MMR (Monitoring Mechanism Regulation) stellt die EU-Kommission eine Empfehlung für die zu verwendenden CO<sub>2</sub>-Preise bereit (EC 2016). Die EU-Kommission stellt nur einen CO<sub>2</sub>-Preispfad zur Verfügung, der sowohl für das Mit-Maßnahmen- als auch für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario verwendet wird. Damit werden die folgenden CO<sub>2</sub>-Preise für den Projektionsbericht 2017 in Ansatz gebracht:

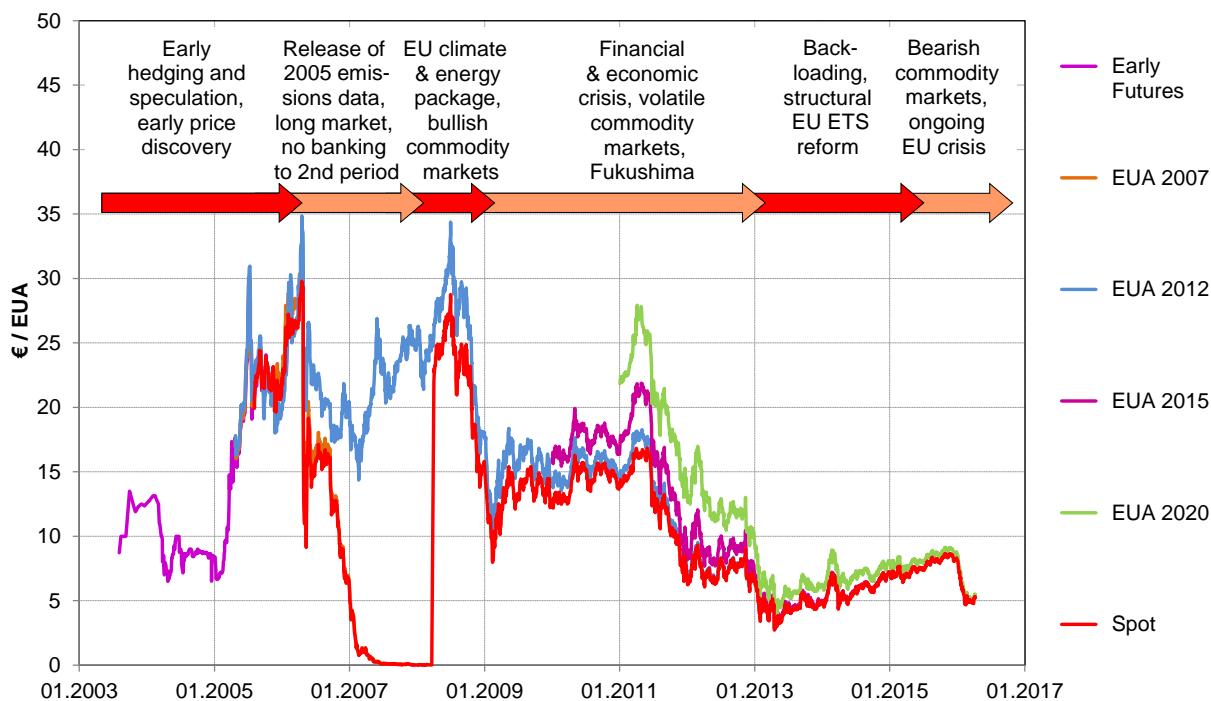
- a) für das Jahr 2020 ein Wert von 15,0 €/EUA;
- b) für das Jahr 2025 ein Wert von 22,5 €/EUA;
- c) für das Jahr 2030 ein Wert von 33,5 €/EUA;
- d) für das Jahr 2035 ein Wert von 42,0 €/EUA;

Änderungen am EU-Emissionshandel, die sich aufgrund aktueller Reformprozesse abzeichnen, sind in den Szenarien nicht im Einzelnen berücksichtigt.

Sowohl das MMS als auch das MWMS enthalten Instrumente, die die Emissionshandelssektoren adressieren. Emissionsminderungen, die auf solche mit dem Emissionshandel interagierenden Instrumente zurückgehen, sind demnach mit Nachfragerückgängen im Emissionshandel verbunden und wirken grundsätzlich preissenkend.

Für die Sensitivität mit niedrigen Erdgas- und Steinkohlepreisen im Stromsektor (niedrige Energiepreise, siehe Abschnitt 2.2.1), werden niedrigere CO<sub>2</sub>-Preise verwendet. Denn aktuelle Marktdaten zeigen deutlich niedrigere Preise für Emissionsberechtigungen. Abbildung 2-6 zeigt die Entwicklung der Preise für EU-Emissionsberechtigungen mit Liefertermin Dezember 2020, also zur Erfüllung der Compliance-Verpflichtungen für das Jahr 2020. Der Preis liegt aktuell mit rund 5 Euro je EU-Emissionsberechtigung (€/EUA) unter früheren Erwartungen.

Abbildung 2-6: Settlement-Preise für den EUA-Spotmarkt sowie EUA-Futures verschiedener Liefertermine, 2003–2016



Quelle: Daten der Handelsplattform ICE und der European Energy Exchange (EEX)

Für die Sensitivitätsrechnung mit niedrigen Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen wird ausgehend vom heutigen Niveau der folgende niedrigere CO<sub>2</sub>-Preisepfad verwendet:

- für das Jahr 2020 ein Wert von 5 €<sub>2013</sub>/EUA;
- für das Jahr 2025 ein Wert von 10 €<sub>2013</sub>/EUA;
- für das Jahr 2030 ein Wert von 15 €<sub>2013</sub>/EUA;
- für das Jahr 2035 ein Wert von 20 €<sub>2013</sub>/EUA.

## 2.4 Projektion der Entwicklung der Endverbraucherpreise

Die Entwicklung der mittleren Strom-Endverbraucherpreise ist in Tabelle 2-5 dargestellt. Sie beinhaltet 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 2-5: Annahmen zur Entwicklung der mittleren Endverbraucher-Strompreise je Sektor [Euro-cent<sub>2016</sub>/kWh]

Sektor	2015	2020	2025	2030	2035
Haushalte (inkl. MWSt)	28	33	34	33	31
GHD (ohne MWSt)	21	23	23	22	21
Industrie (ohne MWSt)	11	14	14	14	13

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

## 2.5 Projektion der Verkehrsnachfrage

### 2.5.1 Verkehrsnachfrage im MMS

Das derzeit maßgebliche Szenario für die Entwicklung der Verkehrsnachfrage in Deutschland bis 2030 stellt die Verkehrsverflechtungsprognose 2030 (VP 2030) dar (Schubert et al. 2014). Die VP 2030 wird unter anderem für die Infrastrukturplanung im Rahmen des Bundesverkehrswegeplans verwendet.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird die Verkehrsleistungsentwicklung der Verkehrsprognose 2030 für das MMS-Szenario übernommen. Die Eckwerte sind für den Personenverkehr in Tabelle 2-6 und für den Güterverkehr in Tabelle 2-7 dargestellt.

Allerdings gilt es zu beachten, dass die Verkehrsnachfrage der Verkehrsprognose kein Trendszenario darstellt:

*„Somit beschreiben diese Prämisse keine "Trendszenarien", sondern setzen einen umweltpolitisch ambitionierten Gestaltungswillen voraus. Sie erfordern eine anspruchsvolle, aber realistische Gestaltung der zukünftigen verkehrspolitischen Leitlinien.“ (Schubert et al. 2014, S. 184).*

Damit sind in der VP 2030 Annahmen enthalten, welche über die Wirkung bereits *beschlossener* politischer Maßnahmen hinausgehen. Das liegt daran, dass die Verkehrsprognose einer anderen Fragestellung als der Projektionsbericht folgt und daher auch *wahrscheinliche* Entwicklungen abgebildet werden sollen und nicht nur solche, welche sich aus der aktuellen Beschlusslage ableiten.

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.

Tabelle 2-6: Verkehrsnachfrage Personenverkehr im MMS in Mrd. pkm

	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
Pkw	882	889	915	943	959	970	981
Kraftrad	20	21	22	22	22	22	23
Bahn (PV)	84	89	91	94	97	100	102
SSU	16	17	17	17	18	18	19
Bus	62	59	63	64	64	65	64
Flugzeug (national)	11	10	10	11	12	12	13
Gesamt national	1.075	1.085	1.117	1.151	1.172	1.187	1.202
Flugzeug (international)	182	195	210	251	292	332	365
<b>Gesamt</b>	<b>1.257</b>	<b>1.280</b>	<b>1.327</b>	<b>1.401</b>	<b>1.463</b>	<b>1.519</b>	<b>1.567</b>

Quelle: Schubert et al. 2014, eigene Berechnungen

Tabelle 2-7: Verkehrsnachfrage Güterverkehr im MMS in Mrd. tkm

	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
Straße	437	432	459	508	558	607	650
Schiene	107	110	117	130	144	154	165

	<b>2010</b>	<b>2012</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>
Binnenschiff	62	58	55	61	66	77	80
Flugzeug (national)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Gesamt national</b>	<b>607</b>	<b>601</b>	<b>631</b>	<b>700</b>	<b>768</b>	<b>838</b>	<b>895</b>
Flugzeug (international)	11	11	11	14	16	18	20
<b>Gesamt</b>	<b>618</b>	<b>612</b>	<b>642</b>	<b>713</b>	<b>784</b>	<b>856</b>	<b>916</b>

Quelle: Schubert et al. 2014, eigene Berechnungen

Tabelle 2-8: Verkehrsnachfrage Seeverkehr im MMS in Mrd. tkm

	<b>2010</b>	<b>2012</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>
Hochseeschifffahrt	1742	1942	2081	2332	2593	2875	3202

Quelle: Öko-Institut 2015b

Für den Seeverkehr wurde die Entwicklung aus Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht (Öko-Institut 2015b) hinterlegt. Der Seeverkehr nimmt demnach im Zeitraum 2012-2035 um 65 % zu.

Da in der Verkehrsprognose nur das Basisjahr 2010 und das Zieljahr 2030 ausgewiesen wird, wurden die Zwischenjahre über den Indikator Bevölkerungsentwicklung (Personenverkehr) bzw. über den Indikator Wirtschaftsentwicklung (Güterverkehr) abgeleitet. Gleichermaßen wurde mit diesen Indikatoren eine Trendfortschreibung bis 2035 vorgenommen.

Im Personenverkehr steigt die Verkehrsnachfrage in den landgebundenen Verkehrsträgern nur leicht an; dagegen ist beim internationalen Luftverkehr (Personenverkehr) im Zeitraum 2010-2035 nahezu eine Verdopplung zu verzeichnen. Beim innerdeutschen Luftverkehr ist dagegen nur ein sehr leichtes Wachstum zu verzeichnen. Der Güterverkehr nimmt im selben Zeitraum um 48 % zu.

## 2.5.2 Verkehrsnachfrage im MWMS

Die Verkehrsnachfrage im MWMS wird auf Basis der im MWMS hinterlegten Maßnahmen abgeleitet.

## 2.6 Rahmendaten in einzelnen Sektoren

### 2.6.1 Verkehr

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

#### 2.6.1.1 Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrage im MMS-Szenario wird bis zum Jahr 2015 auf Basis von Statistiken und Erhebungen abgeleitet. Für das Jahr 2030 werden die Werte aus der Verkehrsprognose 2030 übernommen.

Für die Fahrleistung der Pkw werden die Ergebnisse aus ViZ 2015/2016 (BMVI 2015) verwendet.<sup>7</sup> Für leichte Nutzfahrzeuge wird der Wert aus der Fahrleistungserhebung 2014 verwendet.

<sup>7</sup> Mit 627 Mrd. Kilometern liegt dieser Wert rund 4 % oberhalb des Wertes aus der Fahrleistungserhebung 2014 für das selbe Jahr.

Beim Güterverkehr, öffentlichen Personenverkehr und beim Luftverkehr sind Verkehrsleistungsstatistiken beim statistischen Bundesamt verfügbar, welche als Grundlage für die Modellierung herangezogen wurden. Entsprechend der Verkehrsprognose wird eine Erhöhung der Auslastung im Straßengüterverkehr um 13 % zwischen 2010 und 2030 hinterlegt.

Zur Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen auf die Verkehrs nachfrage werden Preiselastizitäten genutzt, die einer Literaturrecherche entnommen sind. Für den Personenverkehr wird auf empirisch abgeleitete Werte von Hutzinger et al. (2004) zurückgegriffen. Für den motorisierten Individualverkehr ist darin eine Preiselastizität von -0,3 auf Kraftstoffpreisänderungen sowie eine Kreuzelastizität für den öffentlichen Verkehr von 0,13 angegeben. Diese Werte liegen in der Spannbreite der in dieser Studie aufgeföhrten Literaturrecherche von Preiselastizitäten. 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, so dass in dieser Studie für den Schienengüterverkehr und die Binnenschifffahrt jeweils mit einer Kreuzelastizität von 0,15 auf Wegekostenänderungen im Straßengüterverkehr gerechnet wird. Für den Luftverkehr liegt mit Peter et al. (2012) eine aktuelle Studie zu den Auswirkungen der Einführung der Luftverkehrssteuer vor. In dieser Studie werden für Änderungen der Ticketkosten Elastizitäten zwischen -0,4 und -1,2 für unterschiedliche Flugentfernungen und Geschäfts- und Freizeitreisende angegeben, die für die Berechnungen verwendet werden.

### 2.6.1.2 Batteriepreisentwicklung

Für die Entwicklung der Batteriesystemkosten werden folgende Annahmen getroffen:

Tabelle 2-9: 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 & 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.

### 2.6.1.3 Entwicklung der Diskrepanz zwischen Testzyklus und Realverbrauch bei Pkw

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.<sup>8</sup>

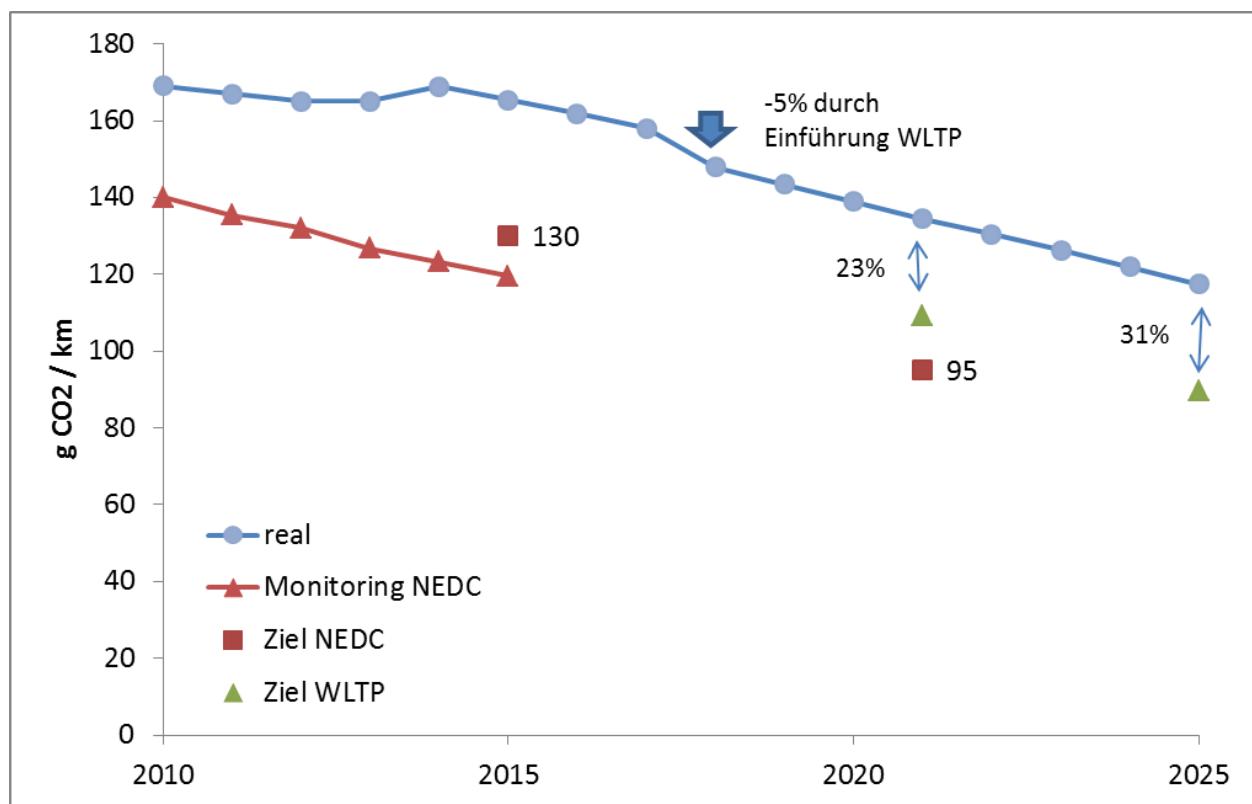
<sup>8</sup> Die exakte Höhe der Abweichung zwischen NEFZ und Realverbrauch ist mit Unsicherheit verbunden. Grundlage der vorliegenden Annahme sind die genannten Auswertungen des ICCT. Dort werden mehrere unterschiedliche Quellen für die

Ohne Einführung des neuen Testzyklus WLTP könnte die Diskrepanz weiter auf 49 % im Jahr 2021 ansteigen. Mit Einführung des WLTP (ab 2017) kann die Diskrepanz zwischen Testzyklus und Realverbrauch reduziert werden. Es wird angenommen, dass durch die Einführung des WLTP die realen Emissionen neu zugelassener Fahrzeuge um 5% niedriger liegen als ohne Einführung des WLTP.

Da es auch beim WLTP Flexibilitäten gibt sowie real auftretende Verbräuche, welche nicht vom Testzyklus erfasst werden, könnte es auch zukünftig zu Diskrepanzen zwischen WLTP-Testzyklus und Realverbrauch kommen (Schätzung des ICCT: 31 % im Jahr 2025, s. folgende Abbildung).

Die Abbildung 2-7 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Emissionen von Pkw-Neuzulassungen in der EU im Zeitraum 2010-2025 unter den obigen Annahmen, wenn man für das Jahr 2025 einen Grenzwert von 90 g/km (WLTP) hinterlegt.

Abbildung 2-7: Entwicklung der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pkw-Neuzulassungen in der EU im Zeitraum 2010-2025



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des ICCT und eigenen Berechnungen. Angenommener Umrechnungsfaktor NEDC zu WLTP in Höhe von 1,15.

#### 2.6.1.4 Biokraftstoffanteil

Der Biokraftstoffanteil im Verkehr wird auf Basis der geltenden Gesetzgebung abgeleitet. Es wird angenommen, dass der Anteil von Biokraftstoffen im MMS bei den derzeit umgesetzten Maßnahmen auf

Realverbräuche herangezogen, die für 2014 eine Schwankungsbreite von ca. 28 bis 54 % Abweichung ausweisen und 37 % als gewichtetes Mittel angeben. Für Plug-In-Hybridfahrzeuge liegt die Abweichung dabei tendenziell höher als für rein verbrennungsmotorische Fahrzeuge.

6,3 % (bezogen auf den Energiegehalt) im Jahr 2020 ansteigt [und dann konstant bleibt<sup>9</sup>]. Für den Luftverkehr wird bis zum Jahr 2035 keine Biokraftstoffbeimischung angenommen.

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, liegt bei derzeit 83,8 g CO<sub>2</sub> / MJ und soll auf 94,1 g CO<sub>2</sub> / MJ erhöht werden. Der fossile Komparator, welche für die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien relevant ist, bleibt dagegen bei 83,8 g CO<sub>2</sub> / MJ. 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 2015 auf 70 % angestiegen (BLE 2016) – jeweils gegenüber dem fossilen Komparator von 83,8 g CO<sub>2</sub> / MJ<sup>10</sup>. Die Emissionen der Biokraftstoffe sanken demnach von 40,75 g CO<sub>2</sub> / MJ im Jahr 2014 auf 24,98 g CO<sub>2</sub> / MJ im Jahr 2015.. Emissionen aus dem Anbau von Energiepflanzen (wo es wohl keine individuelle Zertifizierung geben wird, d.h. deren lokal differenzierte Höhe nicht flächscharf 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. fortschriftlicher 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 CO<sub>2</sub> / MJ ab dem Jahr 2020 ausgegangen.

Weiterhin werden zukünftig Minderungen der Upstream-Emissionen fossiler Kraftstoffe auf die Treibhausgasminderungsquote anrechenbar sein. Es wird davon ausgegangen, dass dies ab 2020 [rund 1 %-Punkt] zur Erfüllung der THG-Quote beiträgt<sup>11</sup>.

Insgesamt ergibt sich aus den vorigen Überlegungen der in der Tabelle 2-10 dargestellte Biokraftstoffanteil.

Tabelle 2-10: Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MMS

	2015	2020	2030	2035
THG-Minderungsquote	3,5 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %
Basiswert (g CO <sub>2</sub> / MJ)	83,8	94,1	94,1	94,1
Beitrag durch Upstream-Emissionen zur Zielerreichung	0	1,0 %	1,0 %	1,0 %
Durchschnittliche Emissionen Biokraftstoffe (g CO <sub>2</sub> / MJ)	25	20	20	20
Minderung Biokraftstoffe ggü. Basiswert	-70,2 %	-78,7 %	-78,7 %	-78,7 %
Durch Biokraftstoffe zu erzielende Minderung nach Anrechnung Upstream und Strom	3,5 %	5,0 %	5,0 %	5,0 %
Energetischer Anteil Biokraftstoffe zur Quotenerfüllung	5,0 %	6,3 %	6,3 %	6,3 %
Energetischer Anteil Bioethanol an Benzin	4,2 %	6,1 %	6,1 %	6,1 %

<sup>9</sup> Hierzu gibt es noch keine Positionierung der Bundesregierung. Der Kommissionsvorschlag zur RED 2 geht von steigenden Biokraftstoffanteilen aus.

<sup>10</sup> Gründe für diese sprunghafte Verbesserung können derzeit nicht detailliert benannt werden, da Hintergrunddaten zu ihrer Verifizierung nicht öffentlich zugänglich sind und auch der Datenbestand der BLE kaum Rückschlüsse zulässt. Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen sind bei den berichteten Minderungen nicht berücksichtigt.

<sup>11</sup> Hierzu gibt es noch keine Position der Bundesregierung.

Energetischer Anteil Biodiesel an Diesel	5,7 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %
--	-------	-------	-------	-------

Quelle: eigene Annahmen und Berechnungen (siehe Text)

## 2.6.2 Private Haushalte

### 2.6.2.1 Anzahl privater Haushalte

Die Anzahl der privaten Haushalte wird hier auf Basis von Annahmen zur Entwicklung der Haushaltsgröße (Anzahl der Personen pro Haushalt) aus den im Grundszenario verwendeten Rahmendaten zur Bevölkerungsentwicklung (Abschnitt 2.1.1) berechnet. Letztere orientieren sich am Ageing Report 2015 der EU (EC 2015) und wurden auch in der EU Guidance empfohlen. Für das EU-Referenzszenario 2016 (Capros et al. 2016) wurden auf dieser Grundlage zur Berechnung der Anzahl privater Haushalte 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. Diese Annahmen zur Entwicklung der Haushaltsgröße und der daraus berechneten Anzahl der Haushalte weichen jedoch 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 2-11).

Tabelle 2-11: Vergleich der Anzahl privater Haushalte verschiedener Quellen (fettgedruckt: für den Projektionsbericht 2017 verwendete Daten)

	Quelle	2000	2010	2020	2030	2035
<b>Bevölkerung (Mio.)</b>	<b>EU Guidance 2016</b>	<b>82,2</b>	<b>81,8</b>	<b>80,6</b>	<b>79,7</b>	<b>78,8</b>
Haushaltsgröße	EU-Referenzszenario 2016	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0
Anzahl Haushalte (Mio.)	Berechnung auf Basis EU-Referenzszenario 2016	37,4	40,9	40,3	39,9	39,4
<b>Haushaltsgröße</b>	<b>Projektionsbericht 2015 (basierend auf nationalen Prognosen)</b>	<b>2,17</b>	<b>2,07</b>	<b>1,97</b>	<b>1,93</b>	<b>1,90</b>
<b>Anzahl Haushalte (Mio.)</b>	<b>Berechnung auf Basis Projektionsbericht 2015</b>	<b>37,9</b>	<b>39,5</b>	<b>40,9</b>	<b>41,3</b>	<b>41,5</b>

Im Jahr 2035 ergibt sich durch die unterschiedlichen Annahmen zur Haushaltsgröße (2,0 gegenüber 1,9 Personen pro Haushalt) eine Differenz in der Anzahl privater Haushalte von 2,1 Millionen (Tabelle 2-11). Weil 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 2017 auf die nationalen Prognosen zurückgegriffen, die auch im Projektionsbericht 2015 verwendet wurden (fettgedruckt in Tabelle 2-11). Damit ist auch eine größere Kompatibilität der Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung des Stromverbrauchs der privaten Haushalte zwischen den beiden Projektionsberichten gewährleistet.

### 2.6.2.2 Raumwärme und Warmwasser

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 Gebäudeabrisse berechnet.

Die angenommene Wohnflächenentwicklung ergibt sich aus der Bevölkerungsentwicklung und der Entwicklung der spezifischen Wohnflächen pro Einwohner, die einen gegenläufigen Trend folgen. Während die Szenarioberechnung einen Rückgang der Bevölkerung auf Basis der Annahmen im EU Referenzszenario (vgl. 2.1.1) unterstellt, wird eine Steigerung der Pro-Kopf Wohnfläche entsprechend der *Wohnungsmarktprognose 2030* (BBSR 2015) von 5 m<sup>2</sup> im Zeitraum 2015 bis 2030 angesetzt.

Ausgehend von einer Gesamtfläche aller Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden von 3,79 Mrd. m<sup>2</sup> (StBA 2016a) zeigt Tabelle 2-12 den resultierenden Nettozuwachs pro Jahr sowie die absolute Wohnflächen.

Tabelle 2-12: Angenommenen Entwicklung der Wohnflächen bis zum Jahr 2035

Zeitraum	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
Nettozuwachs pro Jahr	0,56 %	0,59 %	0,65 %	0,54 %
Wohnfläche [Mio. m <sup>2</sup> ]	3 903	4 019	4 145	4 257

### 2.6.3 Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen(GHD) - Strom und Prozesswärme / - dampf

Zentrale Aktivitätsgröße für den Sektor Industrie ist die Entwicklung der realen Bruttowertschöpfung je Wirtschaftszweig (siehe Tabelle 2-13). Für die energieintensiven Branchen der Industrie sind vor allem die physischen Produktionsmengen relevante Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs, die sich wiederum von der Bruttowertschöpfung ableiten lassen.

Tabelle 2-13: Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie je Wirtschaftszweig [Mrd. Euro2010]

Wirtschaftszweig der Industrie	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Gew. v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau	1,6	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4
Ernährung und Tabak	44,7	47,6	47,4	47,0	45,9	44,5
Papiergewerbe	9,2	10,0	10,2	10,3	10,3	10,2
Grundstoffchemie	23,8	26,0	26,7	27,2	27,3	27,2
Sonstige chemische Industrie	28,7	31,6	32,6	33,4	33,8	33,9
Gummi- u. Kunststoffwaren	20,8	23,1	24,1	24,9	25,4	25,7
Glas u. Keramik	5,1	5,6	5,7	5,8	5,9	5,9
Verarbeitung v. Steine u. Erden	6,6	7,3	7,4	7,6	7,6	7,6
Metallerzeugung	6,0	6,5	6,7	6,8	6,9	6,9
NE-Metalle, -gießereien	8,2	9,0	9,3	9,5	9,6	9,6
Metallbearbeitung	37,0	40,7	42,0	42,9	43,4	43,5
Maschinenbau	66,8	77,1	83,5	89,0	93,7	97,2

<b>Wirtschaftszweig der Industrie</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>
Fahrzeugbau	77,1	88,9	96,0	102,1	107,3	111,1
Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe	87,0	98,7	105,0	110,4	114,6	117,5

Quelle: StBA 2014c

In Tabelle 2-14 sind die Annahmen zur Entwicklung der jährlichen Produktionsmengen dargestellt. Während die Produktionsmengen im Jahr 2010 aus verschiedenen Statistiken der Verbände sowie vom Statistischen Bundesamt stammen, stellt die Fortschreibung eine Annahme dar, die in Diskussion mit Branchenvertretern validiert wurde. Für die meisten Produkte stellt auch der Wert für das Jahr 2015 eine Projektion dar, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch keine Statistiken verfügbar waren. Die Entwicklung der Wertschöpfung in der übergeordneten Statistischen Einheit, dem NACE-2-Steller (nach europäischer Aktivitätsklassifizierung), muss dabei 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 von energieintensiven Grundstoffen.

Tabelle 2-14: Produktionsmengen energieintensiver Grundstoffe

<b>Prozess/Produkt</b>	<b>Einheit</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>
<b>Eisen und Stahl</b>							
Sintern	kt	28.560	27.875	28.925	28.005	26.372	24.941
Oxygenstahl - Hochofen	kt	30.615	29.881	31.006	30.021	28.270	26.736
Elektrostahl - EAF	kt	13.215	13.062	14.322	14.944	14.724	13.995
Walzstahl	kt	36.827	36.081	38.085	37.779	36.124	34.222
Koksofen	kt	8.150	7.955	8.254	7.992	7.526	7.117
Schmelzreduktion	kt	-	-	-	-	-	-
Direkte Reduktion	kt	445	593	609	605	594	587
<b>Nicht-Eisen Metalle</b>							
Aluminium primär	kt	403	531	583	546	503	468
Aluminium sekundär	kt	611	784	840	873	896	932
Aluminium Strangpressen	kt	570	587	636	664	685	718
Aluminium Gießereien	kt	810	828	897	936	966	1.013
Aluminium Walzen	kt	1.883	1.971	2.134	2.227	2.299	2.410
Kupfer primär	kt	402	402	424	421	414	414
Kupfer sekundär	kt	302	301	317	316	310	310
Kupferbearbeitung	kt	1.732	1.858	1.959	1.948	1.914	1.912
Primärzink	kt	Vertraulich (konstante Entwicklung hinterlegt)					
Sekundärzink	kt	89	89	94	93	91	91
<b>Papiergewerbe</b>							
Papier	kt	23.062	22.630	24.231	24.696	24.409	23.728
Zellstoff - Verfahren	kt	1.524	1.383	1.400	1.265	1.129	1.003
Holzstoff - Verfahren	kt	1.239	1.520	1.539	1.390	1.240	1.102

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Altpapierstoff	kt	15.535	16.476	17.811	18.361	18.273	17.833
<b>Glas</b>							
Behälterglas	kt	3.788	4.493	4.788	4.880	4.919	4.885
Flachglas	kt	2.183	1.861	1.983	2.021	2.037	2.023
Glasfasern	kt	808	900	959	978	986	979
Übriges Glas	kt	345	345	368	375	378	376
<b>Keramik</b>							
Haushalts- und Sanitärkeramik	kt	44	42	44	44	44	43
Technische Keramik	kt	225	231	242	241	238	233
Fliesen, Platten, Feuerfestkeramik	kt	2.077	2.145	2.283	2.314	2.318	2.272
<b>Nicht metallische Mineralstoffe</b>							
Klinker Brennen (trocken)	kt	21.274	24.581	25.144	24.567	23.667	22.677
Klinker Brennen (halbtröcken)	kt	1.691	-	-	-	-	-
Klinker Brennen (feucht)	kt	-	-	-	-	-	-
Aufbereitung von Kalkstein	kt	22.965	24.581	25.144	24.567	23.667	22.677
Gips	kt	953	953	992	988	973	956
Zementmahlen	kt	29.894	32.743	33.915	33.555	32.732	31.757
Kalkmahlen	kt	5.142	5.019	5.208	5.042	4.748	4.490
Ziegel	kt	10.642	13.502	13.483	13.340	13.013	12.625
Kalkbrennen	kt	6.466	6.311	6.549	6.341	5.971	5.647
<b>Chemie</b>							
Adipinsäure	kt	598	507	547	584	617	645
Ammoniak	kt	3.128	2.899	3.086	3.056	2.992	2.918
Calciumcarbid	kt	Vertraulich (konstante Entwicklung hinterlegt)					
Industrieruß	kt	389	372	382	379	371	362
Chlor, Diaphragma	kt	1.091	1.162	1.109	-	-	-
Chlor, Membran	kt	2.546	2.748	3.449	4.730	4.672	4.590
Chlor, Amalgan	kt	860	412	-	-	-	-
Ethylen	kt	5.063	5.046	5.217	5.193	5.110	5.009
Methanol	kt	1.288	967	995	986	965	941
Salpetersäure	kt	2.525	2.601	2.676	2.650	2.594	2.530
Sauerstoff	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	6.934	8.689	9.363	9.737	10.010	10.251
Polycarbonat	kt	415	501	539	576	609	637
Polyethylen	kt	1.562	1.584	1.707	1.775	1.825	1.869
Polypropylen	kt	1.993	2.025	2.182	2.269	2.332	2.389
Polysulfone	kt	322	357	384	411	434	454

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Soda	kt	1.454	1.454	1.496	1.481	1.450	1.415
TDI	kt	682	601	648	693	731	765
Titandioxid	kt	443	460	496	516	530	543
<b>Nahrungsmittel</b>							
Zucker	kt	3.443	3.912	4.094	4.075	4.000	3.929
Molkerei	kt	17.455	17.961	18.798	18.712	18.368	18.043
Bierbrauen	kt	8.674	8.608	9.009	8.879	8.629	8.392
Fleischverarbeitung	kt	11.591	12.052	12.613	12.745	12.700	12.663
Backwaren	kt	5.546	5.812	6.083	6.086	6.004	5.927
Stärke	kt	1.213	1.213	1.269	1.270	1.253	1.237
<b>Kunststoffverarbeitung</b>							
Extrusion	kt	4.385	4.633	5.075	5.331	5.506	5.648
Spritzgießen	kt	2.208	2.332	2.555	2.684	2.772	2.843
Blasformen	kt	963	976	1.070	1.123	1.160	1.190

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

Die Entwicklung der Beschäftigten (siehe Tabelle 2-15) je Wirtschaftszweig stellt die wesentliche Aktivitätsgröße für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) dar.

Tabelle 2-15: 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	2,2	2,2	2,2	2,1
Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	K	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7
Gesundheits- und Sozialwesen	Q	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,2
Gastgewerbe	I	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Handel; Reparatur von Fahrzeugen	G	4,6	4,7	4,8	5,0	5,1	5,2
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung	O	3,4	3,3	3,3	3,3	3,2	3,1
Verkehr, Information und Kommunikation	H+J	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Sonstige Wirtschaftszweige	L+M+N+R+S	10,7	10,9	11,0	11,0	11,0	11,1
<b>Summe</b>		<b>28,2</b>	<b>28,8</b>	<b>29,3</b>	<b>29,6</b>	<b>29,9</b>	<b>29,8</b>

Quelle: FORECAST-Tertiary

## 2.7 Sektorübergreifende Maßnahmen

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

## 2.7.1 Mit-Maßnahmen- Szenario (MMS)

### 2.7.1.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

#### a) EU-Emissionshandel

Ab 2013 wurde im Emissionshandel für die Stromerzeugung eine vollständige Versteigerung der Emissionsberechtigungen umgesetzt. Die dem EU-Emissionshandelssystem unterliegenden Industrieanlagen erhalten eine kostenlose Zuteilung von Emissionsberechtigungen auf der Basis von Produktbenchmarks bzw. Fallback-Ansätzen. Die Gesamtmenge der versteigerten und kostenlos zugeteilten Emissionsberechtigungen sinkt bis 2020 jährlich um 1,74 %. Nach dem Beschluss des europäischen Rates vom Oktober 2014 soll dieser lineare Reduktionsfaktor ab 2021 auf 2,2 % angehoben werden (jeweils bezogen auf einen Referenzwert im Jahr 2010). Die Marktstabilitätsreserve wird im Jahr 2018 eingerichtet, damit sie zum 01.01.2019 einsatzbereit ist. Es erfolgt keine modellendogene Berechnung des CO<sub>2</sub>-Preises, sondern der CO<sub>2</sub>-Preis wird als exogener Rahmenparameter vorgegeben. Das MMS enthält einige Maßnahmen, die zu Emissionsminderungen in den Emissionshandelssektoren führen und prinzipiell preissenkend wirken. Derartige Wechselwirkungen werden hier nicht berücksichtigt.

#### 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 „Ökosteuerreform“ 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 Besteuerungstatbestände so verändert, dass sie auch mehr Lenkungswirkung im Sinne des Umweltschutzes enthalten.

#### c) Energie- und Klimafonds (EKF):

Mit dem Gesetz zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ 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.

#### d) Nationale Klimaschutzinitiative (NKI):

Mit der Nationalen Klimaschutzinitiative initiiert und fördert das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) seit 2008 zahlreiche Projekte, die einen Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen leisten. 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 Maßnahmen (Förderung von Kälte und Klimaanlagen, Energieeffizienznetzwerke) werden im Sektor Industrie &

GHD behandelt und modelliert (siehe Abschnitt 2.8.5). Die Kommunalrichtlinie findet im Gebäudebereich als flankierende Maßnahme Beachtung.

Auch können Kommunen im Rahmen des Teilkonzeptes „Klimagerechtes Flächenmanagement“ geeignete Maßnahmen der nachhaltigen Flächennutzung und des Klimaschutzes miteinander verknüpfen.

e) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up! Strom) \*

Das im NAPE enthaltene neue, sektorübergreifende Instrument der wettbewerblichen Ausschreibungen ist ein Mechanismus zur markt- und transaktionsorientierten Verteilung von Fördermitteln. Die Grundidee ist, das zur Verfügung gestellte Kapital durch einen Ausschreibungsmechanismus möglichst kosteneffizient einzusetzen. Bis 2018 stehen insgesamt 300 Mio. Euro für das Programm zur Verfügung. Pro Jahr sind jeweils zwei Ausschreibungsrunden vorgesehen. Die erste Ausschreibungsrunde startet an 01.06.2016 und läuft bis zum 31.08.2016. Für den Zeitraum nach 2018 bis zum Ende des Zeithorizonts dieser Studie wird von einem konstanten Mittelvolumen von 150 Mio. € p.a. ausgegangen. Die wettbewerblichen Ausschreibungen richten sich grundsätzlich an alle Akteure und Sektoren. Der Fokus des Instruments wird zunächst nur auf dem Strombereich liegen (STEP up! - StromEffizienzPotentiale 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 dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis (Förder-Euro pro eingesparter kWh). Die Quantifizierung dieser übergeordneten Maßnahme erfolgt in den Sektoren, die grundsätzlich von STEP up! adressiert werden (Industrie & GHD, private Haushalte bzw. Gebäudetechnik).

f) Pilotprogramm Einsparzähler\*

Durch neue IT-Technologien 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 ist. 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/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 BAFA. Projekte werden mit bis zu einer Mio. € 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 Programmvolume und mit zunehmender Verbreitungen von „smarten“ Zählern und ähnlichen „Einsparzähler“-Produkten in Haushalten, Gebäuden und Industrie eine steigende Rate von digitalen Effizienzdienstleistungen ausgegangen. Da das Pilotprogramm zum Zeitpunkt der hier durchführten

Wirkungsabschätzungen gerade erst gestartet war, lagen noch keine Informationen zu den beantragten Projekten vor. Daher wird auf eine Quantifizierung dieser Maßnahme verzichtet.

#### **2.7.1.2 Ordnungsrecht**

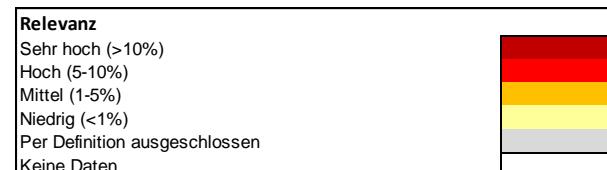
##### **a) Mindesteffizienzstandards – EU-Ökodesign-Richtlinie**

Die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG (vormals Richtlinie 2005/32/EG) stellt den Rechtsrahmen für die Festlegung von Mindesteffizienzstandards für energieverbrauchsrelevante Produkte im europäischen Binnenmarkt dar. Die Richtlinie 2009/125/EG ist durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) in der Fassung v. 25.11.2011 in deutsches Recht umgesetzt. Die Mindesteffizienzstandards werden nicht durch die Richtlinie selbst, sondern erst durch die auf ihrer Grundlage erlassenen Durchführungsmaßnahmen festgelegt. Die EU-Durchführungsverordnungen gelten ohne Umsetzung direkt im nationalen Recht der Mitgliedsstaaten. Daneben hat die Europäische Kommission auch die Möglichkeit, freiwillige Selbstvereinbarungen der Industrie als Alternative zu ordnungsrechtlichen Maßnahmen anzuerkennen. Die festgelegten Anforderungen müssen erfüllt sein, damit das Produkt die CE-Kennzeichnung tragen und in der EU in Verkehr 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 sowie die Ausarbeitung von Standardszenarien in verschiedenen Varianten beinhaltet. In Deutschland wird die Aufgabe der Koordinierung und Erstellung der Stellungnahmen zu den Studien von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) übernommen. Im MMS werden die wichtigsten Durchführungsmaßnahmen, die bis zum 31.7.2016 beschlossen wurden, quantifiziert. Die Quantifizierung erfolgt in dem Sektor, dem die Produktgruppe jeweils zuzuordnen ist.

Tabelle 2-16 zeigt eine Übersicht aller derzeit definierten Lose der EU-Ökodesign-Richtlinie. Für die quantitative Bewertung der Einsparwirkung werden die Kombinationen aus Losen und Sektoren mit der höchsten Relevanz, d.h. dem höchsten Energieverbrauch berücksichtigt.

Tabelle 2-16: Übersicht Ökodesign-Richtlinie: Umsetzungsstand und Modellierung

Produktgruppe	Vorstudie abgeschlossen	Anforderung verbindlich ab	Impact Assessment	Zuordnung		
				Industrie	GHD	Haushalte
Los- Einfache Set-Top Boxen	ja	25.02.2010	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 1 Boiler und Kombiboiler	ja	26.09.2015	veröffentlicht	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>
Los 2 Warmwasserbereiter	ja	26.09.2015	veröffentlicht		<b>MMS</b>	<b>MMS</b>
Los 3 PC und Computermonitore	ja	01.07.2014	veröffentlicht		<b>MMS</b>	<b>MMS</b>
Los 4 Bildgebende Geräte	ja		veröffentlicht			
Los 5 Konsumelektronik: Fernseher	ja	07.01.2010	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 6 Standby und Schein-aus- (off-mode) Verluste	ja	07.01.2010	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 7 Externe Stromversorgungseinheiten	ja	27.04.2010	veröffentlicht			
Los 8 Bürobeleuchtung	ja	13.04.2010		<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	
Los 9 Straßenbeleuchtung	ja	13.04.2010		<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	
Los 10 Klimageräte	ja	01.01.2013	veröffentlicht			<b>MMS</b>
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	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	
Los 11 Umwälzpumpen	ja	01.01.2013	veröffentlicht	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	
Los 11 Ventilatoren	ja	01.01.2013	veröffentlicht	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	
Los 11 Wasserpumpen	ja	01.01.2013	veröffentlicht	<b>MMS</b>		
Los 12 Gewerbliche Kühl- u.Tiefkühlgeräte	ja				<b>MMS</b>	
Los 13 Haushaltstürkühl- und Gefriergeräte	ja	01.07.2010	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 14 Haushaltsgeschirrspülmaschinen	ja	01.12.2011	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 14 Haushaltswaschmaschinen	ja	01.12.2011	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 15 Festbrennstoffkessel	ja	10.08.2015			<b>MMS</b>	<b>MMS</b>
Los 16 Wäschetrockner	ja	01.11.2013	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 17 Staubsauger	ja	01.09.2014	veröffentlicht			
Los 18 Komplexe Set-Top Boxen	ja	freiwillig	veröffentlicht			<b>MMS</b>
Los 19 Haushaltsbel. "nicht gerichtet"	ja	01.09.2009	veröffentlicht	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	
Los 19 Haushaltsbel. "Reflektorlampen"	ja	01.01.2013	veröffentlicht	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>	<b>MMS</b>
Los 20 Einzelraumheizgeräte	ja	10.08.2015		<b>MWS</b>	<b>MWS</b>	<b>MWS</b>
Los 21 Zentralheizungsprodukte	ja			<b>MWMS</b>	<b>MWMS</b>	<b>MWMS</b>
Los 22 Haushalt- und gewerbliche Öfen	ja	20.02.2015				<b>MMS</b>
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	Entwurf	<b>MMS</b>		
ENTR Los 2 Transformatoren	ja	01.07.2015				
ENTR Los 3 Geräte zur Ton- und Bildverarbeitung	ja					
ENTR Los 4 Feuerungsanlagen u. Öfen	ja			<b>MWMS</b>		
ENTR Los 5 Werkzeugmaschinen	ja			<b>MWMS</b>		
ENTR Los 6 Klima- und Lüftungsanlagen > 12kW	ja	01.01.2016		<b>MMS</b>		
ENTR Los 7 Dampfkessel	ja			<b>MWMS</b>		
ENTR Los 8 Stromkabel	ja					
ENTR Los 9 Server	ja				<b>MWMS</b>	<b>MWMS</b>
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					

Quelle: basierend auf <http://www.eup-network.de/>

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.

**b) Energielabel – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung**

Seit dem 17. Mai 2012 ist das neue Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz (EnVKG) in Deutschland in Kraft, mit dem insbesondere der Geltungsbereich der Energieverbrauchskennzeichnung an die EU-Richtlinie angepasst wird. Das EnVKG setzt die EU-Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie (RL 2010/30/EU) in nationales Recht um. Künftig können nicht nur energieverbrauchende Geräte, sondern auch energieverbrauchsrelevante Produkte, die selber keine Energie verbrauchen, aber großen Einfluss auf den Energieverbrauch haben, mit dem EU-Energielabel verpflichtend gekennzeichnet werden. Weiterhin wurde die Klassifizierung der Produkte insofern dynamisiert, als über die bisherigen Klassen A-G neue Energieeffizienzklassen von „A+“ bis A+++“ eingeführt wurden. Im EnVKG werden weitere Regelungen über die Zuständigkeiten in Deutschland, die Marktüberwachung sowie die Sanktionsmöglichkeiten der zuständigen Überwachungsbehörden bei den Bundesländern getroffen. Mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wurde außerdem eine zuständige Behörde benannt, der wesentliche Informations- und Koordinierungsaufgaben obliegen. Mit dem NAPE-Projekt „Unterstützung der Marktüberwachung“, das am 1. Januar 2016 gestartet ist, soll darüber hinaus die Wirksamkeit des bekannten EU-Labels durch eine Stärkung der Marktüberwachung verbessert werden, indem Prüfmethoden sowie Mängel und Mängelschwerpunkte bei Produkten identifiziert werden (siehe dazu auch flankierende Instrumente). Die konkrete Anwendung für einzelne Gerätgruppen erfolgt seitens der EU-Kommission durch die Rahmenrichtlinie ergänzende, delegierte Verordnungen. Im MMS werden alle Gerätgruppen berücksichtigt, für die mit Stichtag 31.7.2016 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 (siehe Abschnitt 3.2).

**2.7.1.3 Flankierende und informatorische Instrumente**

**a) LED-Leitmarktinitiative**

Ziel dieses Programms ist die beschleunigte Markteinführung von LED-Technologie und die Überwindung vorhandener Hemmnisse. Hierzu wurde ein runder Tisch einberufen, in dessen Rahmen notwendige Maßnahmen vorgeschlagen und diskutiert werden.

**b) 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 alle relevanten Haushaltsgeräte, Unterhaltungselektronik, Informationstechnik bis hin zur unterbrechungsfreien Stromversorgung. Das „Energy-Star-Programm“ stammt aus den USA und umfasst in der EU lediglich Bürogeräte. In beiden Systemen erfolgt keine Unterteilung in Effizienzklassen, sondern das jeweilige Zeichen wird für alle Geräte vergeben, die einen festgelegten Mindeststandard erfüllen.

**c) Förderung von Contracting**

Die typischen Risiken von Contracting wie lange Vertragslaufzeiten, das Investitionsrisiko des Contractors oder Gewährleistungen stellen speziell für Finanzierungen im Bereich des Energieeinsparcontractings ein wichtiges Hemmnis für die Vergabe von Krediten dar. Um diese Hemmnisse zu reduzieren, wurden seit Anfang 2015 eine Reihe von Maßnahmen eingeleitet. Dazu gehören der Ausbau des Angebots der Bürgschaftsbanken für Contracting-Finanzierungen durch Anpassung der Bürgschaftshöhe auf bis zu zwei Millionen Euro (befristet auf drei Jahre ab 2015) sowie die seit dem 1. Januar 2015 geltende neue Förderrichtlinie Einsparcontracting (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, BAFA), mit der die Berat-

tung von Kommunen und KMU zur Anwendung des Energieeinsparcontractings unterstützt wird.

d) Stärkung der Forschung für mehr Energieeffizienz

In diesem Rahmen soll die anwendungsnahe und projektorientierte Forschungsförderung im Bereich Energieeffizienz weiter ausgebaut und die Vernetzung der Akteure unterstützt werden.

e) Verbesserung der Rahmenbedingungen für Energieeffizienzdienstleistungen

Eine Vielzahl nicht-monetärer Hemmnisse verhindert die Realisierung von eigentlich rentablen 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 von bestehenden nicht-monetären Hemmnissen und die Förderung des Marktes für Energiedienstleistungen.

f) Neue Finanzierungskonzepte

Auch eine Reihe von monetären Hemmnisse führen dazu, dass Investitionen in hochrentable Effizienzmaßnahmen unterbleiben. Dazu gehören unter anderem das Problem gebundener Liquidität sowie betriebliche Anforderungen hinsichtlich der Amortisationszeit. Um Hemmnisse bei der Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen zu überwinden, sollen neue Finanzierungskonzepte und -modelle, etwa zur Verlagerung von zukünftigen Gewinnen in Liquidität (bspw. durch Projektbündelung, Standardisierung von Geschäftsmodellen wie auch zur Nutzung des neuen europäischen EFSI-Fonds) für Effizienzinvestitionen in der Gegenwart erarbeitet und umgesetzt werden.

g) 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. Ferner werden Kriterien definiert, die eine hochqualifizierte Beratung sicherstellen und, wo notwendig, die Entwicklung neuer Qualitätsstandards angestoßen und begleitet.

h) 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 Komplettierung des Instrumentenmixes zur Erhebung und Nutzung dieser Daten dienen. Ziel der Maßnahme ist die bessere Ausschöpfung bestehender Energieeffizienzpotenziale, sowohl im gewerblichen Bereich als auch im Bereich der privaten Haushalte.

i) Energieeffizienz 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. Andererseits führt die weiterhin anhaltende Nutzungsintensivierung verbunden mit wachsenden Endgerätebeständen und IT-Infrastruktur zu einer Steigerung der 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, werden Maßnahmen ergriffen, um die bestehenden Effizienzpotenziale im Bereich IKT-Nutzung stärker auszuschöpfen.

j) Unterstützung der Marktüberwachung

Im Rahmen des Energieeffizienzfonds (als Teil des Energie- und Klimafonds; siehe Abschnitt 2.7.1.1) wird die Marktüberwachung der Bundesländer im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Ökodesign- und Energieverbrauchskennzeichnungs-RL für energierelevante Produkte unterstützt. Die Umsetzung dieser Maßnahme liegt bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

k) Grünstromkennzeichnung

Im Rahmen der Novellierung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes 2016 wurden in § 79a „Regionalnachweise für direkt vermarkteten Strom aus erneuerbaren Energien“ eingeführt. Die regionale Kennzeichnung ermöglicht, dem Verbraucher nachzuweisen, welcher Anteil seines Stroms aus Erneuerbaren-Anlagen in seiner Region kommt. Es handelt sich hierbei um Strom, welcher im Rahmen des EEG (siehe hierzu Abschnitt 2.7.1.1) erzeugt wird.

## 2.7.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

### 2.7.2.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

a) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up! Wärme)\*

Im MWMS wird nach Beendigung der Pilotphase ab 2019 von einer Ausweitung des Programms auf den Wärmebereich ausgegangen. Dafür wird eine weitere Aufstockung des Programmumfangs angenommen (2019: zusätzlich 75 Mio. €, ab 2020: zusätzlich 150 Mio. €). Die Quantifizierung erfolgt wie im MMS in den Sektoren, die grundsätzlich vom Ausschreibungsmodell adressiert werden (Industrie & GHD, private Haushalte bzw. Gebäudetechnik).

### 2.7.2.2 Ordnungsrecht

a) Mindeststandards (EU-Ökodesign-Richtlinie)\*

Zusätzlich zum MMS sollen im MWMS weitere Produkte und Produktgruppen quantifiziert werden, die sich zum Stichtag 31.7.2016 noch in der Beschlussphase befinden oder für die derzeit eine Vorstudie in so fortgeschrittenem Stadium vorliegt, dass eine belastbare Datengrundlage für eine Quantifizierung verfügbar ist. Außerdem soll durch eine Prognoseentscheidung im Rahmen der jeweiligen Vorstudie die Markt- und Technikentwicklung zu Grunde gelegt werden, die zum Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Anforderungen aus der Durchführungsverordnung erwartet werden kann. Auch soll in der Vorstudie zukünftig ein anspruchsvollerer Kostenbegriff untersucht werden. Dieser soll in bestimmten Fällen neben den geringsten Lebenszykluskosten (Least Life-Cycle Cost) auch den Punkt der gleichen Lebenszykluskosten (Equal Life-Cycle Cost) benennen. Mit dem zusätzlichen Kostenbegriff könnten in der Vorstudie Auswirkungen von Anforderungen mit einem höheren Effizienzniveau ausgewiesen werden. Die Quantifizierung erfolgt wie im MMS in dem Sektor, dem das jeweilige Produkt zuzuordnen ist (Sektoren Gebäude, private Haushalte - Strom bzw. Industrie & GHD).

b) Energielabel – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung

Im MWMS sollen die Vorschläge, die im Rahmen der derzeit noch laufenden EU-Verhandlungen zur Novellierung der EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung (EU-Energielabel) diskutiert werden, berücksichtigt werden. Diese beinhalten insbesondere eine Rückkehr zum A-G Label, eine Neubewertung der Effizienzklassen (Reskalierung) für solche Produktgruppen, in denen die besten Energieeffizienzklassen bereits besetzt sind sowie eine Anpassung der Skalierung an den technischen Fortschritt in kürzeren Zeitabständen. Analog zum MMS erfolgt die Quantifizierung in dem Sektor, dem das jeweilige Produkt bzw. die Pro-

duktgruppe zuzuordnen ist (Sektoren Gebäude, private Haushalte - Strom bzw. Industrie & GHD).

c) Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems

Energieeffizienzverpflichtungssysteme sind ein grundsätzlich denkbare Instrument der Energieeffizienzpolitik. Die Berücksichtigung im Rahmen des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios stellt jedoch ausdrücklich keine Vorfestlegung hinsichtlich einer Einführung eines Verpflichtungssystems in Deutschland dar. Neben der Mengensteuerung, wozu auch Verpflichtungssysteme gehören, bilden Preissteuerung und Ordnungsrecht weitere Instrumentenkategorien der Energieeffizienzpolitik. Eine ergebnisoffene Diskussion zu Vor- und Nachteilen der möglichen Einführung einzelner Elemente dieser Instrumentenkategorien und allgemein zu Optionen für die Weiterentwicklung der Energieeffizienzpolitik ist Gegenstand des Grünbuchs Energieeffizienz und sich anschließender Prozesse.

## 2.8 Maßnahmen in einzelnen Sektoren

### 2.8.1 Verkehr

#### 2.8.1.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

##### 2.8.1.1.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

a) Ausweitung Lkw-Maut

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 und seit 2012 auf 1.135 km Bundesstraßen erhoben. Neue Mautsätze, die die Ergebnisse des Wegekostengutachtens für die Jahre 2013 bis 2017 des BMVI berücksichtigen und nach Schadstoffklassen gespreizt sind, traten am 1.1.2015 in Kraft.

Zum 1.7.2015 wurde die Mautpflicht auf weitere ca. 1.100 km vierspurige Bundesstraßen ausgedehnt und zum 1.10.2015 wurden die Mautpflichtgrenze von 12 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht auf 7,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht abgesenkt und neue Achsklassen eingeführt.

b) Förderung Elektromobilität

Im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) haben Bundesregierung und Industrie gemeinsam das Ziel definiert, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln. Bis zum Jahr 2020 sollen eine Million, bis 2030 6 Millionen elektrisch angetriebene Fahrzeuge in Benutzung sein.

Für den Ausbau der Ladeinfrastruktur stellt der Bund 300 Millionen Euro zur Verfügung für die Periode von 2017 - 2020. Es wird eine Kaufprämie gezahlt, die je zur Hälfte von der Automobilindustrie und vom Bund finanziert wird. Für reine E-Pkw 4000 Euro, für Plug-In-Hybride 3000 Euro. Die Gesamtfördersumme ist begrenzt auf 1,2 Milliarden Euro (600 Millionen Bund, 600 Millionen 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 % erhöht werden. Auch der vom Arbeitgeber zur Verfügung gestellte Strom zum Beladen von E-Fahrzeugen der Mitarbeiter stellt künftig keinen geldwerten Vorteil dar.

c) Stärkung öffentlicher Personenverkehr:

Die Zuständigkeit für den Öffentlichen Personennahverkehr liegt bei den Ländern. Der Bund unterstützt die Länder bei ihren Aufgaben in diesem Bereich mit den Regionalisierungsmitteln, die insbesondere für den Schienenpersonennahverkehr zur Verfügung gestellt werden. Auf Grundlage der zwischen Bund und Ländern vereinbarten Erhöhung der Regionalisierungsmittel auf 8,2 Milliarden € im Jahr 2016 und der jährlichen Steigerungsrate auf 1,8 Prozent für die Folgejahre bis einschließlich 2031 wird angenommen, dass der Bund bis 2031 insgesamt 15,6 Milliarden € mehr als bisher zur Verfügung stellen wird.

Weiterhin unterstützt die Bundesregierung eine bundesweite Einführung des e-Tickets einhergehend mit einem verbesserten Fahrgastinformationssystems mit 16 Millionen € für den Zeitraum 2016 bis 2018, um die Attraktivität des ÖPNV weiter zu steigern.

d) Förderung Schienenverkehr: Sofortprogramm Seehafenhinterlandverkehr II

Das Sofortprogramm Seehafenhinterlandverkehr II enthält Maßnahmen auf der Schieneninfrastruktur des Bundes, die kurzfristig umsetzbar sind und zusätzliche Kapazitäten für den Seehafenhinterlandverkehr schaffen. Damit werden bis Ende 2020 vor allem kleinere und schnell realisierbare Maßnahmen umgesetzt.

#### **2.8.1.1.2 Flankierende Instrumente**

a) Förderung alternativer Antriebe im ÖPNV

Die Bundesregierung fördert – im Rahmen entsprechender Förderrichtlinien des BMUB 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. Im Rahmen der veröffentlichten neuen Förderrichtlinie des BMUB (Laufzeit 2015 bis 2017) wird die Beschaffung extern aufladbarer Plug-In-Hybrid-Busse gefördert. Erste Förderanträge wurden bereits bewilligt. Die Förderrichtlinie des BMVI zur Elektromobilität umfasst insbesondere Projekte zur technologischen Weiterentwicklung bzw. Beschaffung von reinen Elektrobussen und zum Aufbau der entsprechenden Ladeinfrastruktur.

b) Infrastrukturprogramm bundesweit angemessene Anzahl an Schnellladesäulen

Die Ladesäulenverordnung schafft verbindliche Steckerstandards für die Ladeinfrastruktur zur Elektromobilität und ist am 17.03.2016 in Kraft getreten. Zudem sollen im Strommarktgesezt Ladeinfrastrukturbetreiber den Letztverbrauchern gleichgestellt werden. Dadurch wird Rechtsklarheit in Bezug auf die energiewirtschaftlichen Pflichten der Betreiber erzielt. Des Weiteren soll der Aufbau der Schnellladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge auf den Bundesautobahnen durch Ausrüstung von ca. 400 Rastanlagen möglichst bis zum Jahr 2017 erfolgen. Im Forschungsprojekt "SLAM - Schnellladenetz für Achsen und Metropolen" werden bis zu 600 weitere Schnellladepunkte aufgebaut. Der Aufbau soll in den Jahren 2015-2017 erfolgen. Das Forschungsprojekt beinhaltet ebenfalls die Erstellung und wissenschaftliche Untersuchung von Standort- und Betreibermodellen für Schnellladepunkte, die Entwicklung eines Golden Test Device, sowie die Entwicklung eines standardisierten Bezahl- und Abrechnungssystems. Der flächenhafte Aufbau öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur in Deutschland wird durch das BMVI über das neue 300-Millionen-Euro-Programm im Rahmen des Maßnahmenpaketes vom 18. Mai 2016 gefördert. Zielgröße sind bundesweit mindestens 15.000 Schnell- bzw. Normalladesäulen.

c) Beschaffungsaktion Elektrofahrzeuge - Informationskampagne

Die Bundesregierung wird eine Informationskampagne gemeinsam mit den Ländern starten mit dem Ziel, den Anteil von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben in den Fahrzeugflotten der öffentlichen Hand zu erhöhen. Im Rahmen der Förderrichtlinie des BMVI vom Juni 2015 werden gezielt die Kommunen und andere kommunale Akteure bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen und beim Aufbau der zugehörigen Ladeinfrastruktur vor Ort unterstützt.

d) Weiterentwicklung und Erprobung elektrischer Antriebe bei Nutzfahrzeugen

Das Einsatzspektrum elektrischer Antriebe bei schweren Nutzfahrzeugen ist bisher aufgrund der begrenzten Leistungsfähigkeit der Batterien und der damit verbundenen reduzierten Reichweite der Fahrzeuge noch eingeschränkt. Vielversprechend ist der Einsatz in der Kategorie bis 7,5 t zGG z.B. in Paketdienstfleotten. Auch große Fahrzeuge bis 26 t zGG sind bei mindestens einem Hersteller in Planung und ca. 2020 zu erwarten. Durch die Kombination schnellladefähiger Batterien und Oberleitungsabschnitten zum Nachladen der Batterien während der Fahrt kann das Einsatzspektrum elektrischer Antriebe erheblich erweitert werden. Im Rahmen eines Feldversuchs soll diese Kombination aus batterieelektrisch angetriebenen LKW und einem Oberleitungsabschnitt unter realen Bedingungen erprobt werden.

Die Förderrichtlinie des BMVI vom Juni 2015 fördert verkehrsträgerübergreifend anwendungsorientierte Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zur strategischen Unterstützung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen. Ein besonderer Fokus liegt auf Projekten zur technologischen Weiterentwicklung und Kostenreduzierung und auf dem Einsatz von elektrischen Lieferfahrzeugen und Lkw im Kontext innovativer Mobilitäts- bzw. Logistikkonzepte.

e) Unterstützung von Klimaschutz im internationalen Seeverkehr : Monitoring, Reporting, Verification

Ein Kernelement der Maßnahme ist die Begleitung der Einführung des EU-Systems zur Erfassung und Berichterstattung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Seeverkehr (Monitoring, Reporting, Verification) und die Unterstützung der Einführung einer CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahme auf Ebene der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO).

### 2.8.1.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario

#### 2.8.1.2.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

a) Ausdehnung der Lkw-Maut:

Es ist beabsichtigt, die Lkw-Maut ab Mitte 2018 auf alle Bundesstraßen auszuweiten. Das diesbezügliche Gesetz vom 27. März 2017 (BGBl. I S. 564) ist am 31. März 2017 in Kraft getreten.<sup>12</sup> Die Gesetzesbegründung (Bundestags-Drucksache 18/9440 vom 22. August 2016) enthält außerdem hinsichtlich der Bemautung von Fahrzeugen zwischen 3,5 und 7,5 Tonnen zGG, der Bemautung von Fernbussen sowie der Anlastung der Lärmkosten einen Prüfauftrag bis Ende 2017.

b) Förderprogramm energieeffiziente Nutzfahrzeuge und energieeffizienzabhängige Spreizung der Lkw-Maut:

---

<sup>12</sup> Zum Zeitpunkt der Erstellung und Berechnung des Projektionsberichtes 2017 standen diese Meilensteine noch aus, daher ist die Ausweitung der Maut auf alle Bundesstraßen im MWMS verortet. Eine Überführung ins MMS erfolgt im nächsten Projektionsbericht. Der Einbezug der Fahrzeugklassen unter 7,5t ist hingegen weiterhin nur mit einem Prüfauftrag versehen.

Die Markteinführung von energieeffizienten Nutzfahrzeugen und/oder CO<sub>2</sub>-armen schweren Nutzfahrzeugen, z.B. durch Hybridtechnologie, soll 2017 durch ein Förderprogramm mit einem Fördervolumen von 10 Mio. Euro beginnen. Es soll voraussichtlich eine Laufzeit von 3 bis 4 Jahren haben. Gefördert werden sollen mautpflichtige Fahrzeuge (ab 7,5 Tonnen zGG). Es ist eine technologieoffene Förderung der Investitionsmehrkosten vorgesehen.

Um die Marktdurchdringung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei Nutzfahrzeugen zu beschleunigen, wird geprüft, ob die Lkw-Maut zukünftig entsprechend dem Energieverbrauch der Fahrzeuge aufkommensneutral gespreizt werden kann. Die Bundesregierung wird sich für die dafür notwendigen Rahmenbedingungen einsetzen, insbesondere im Rahmen einer Novellierung der EU-Wegekosten-Richtlinie (CO<sub>2</sub>-Emissionen als Basis einer Mautspreizung, neue Systematik) und den Abschluss der Methodenentwicklung zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

c) Förderung Schienenverkehrsinfrastruktur

Mit den verfügbaren Mitteln werden u.a. Engpässe beseitigt, zusätzliche Strecken elektrifiziert, Bypässe in ausreichendem Ausmaß sichergestellt, sowie die Infrastruktur auf die Anforderungen für längere Güterzüge (mind. 740 m) ausgelegt. Flankierend wird eine öffentliche Datenbank zu Anschlussbahnen aufgebaut.

d) Weiterführung der Förderung von Erd- und Flüssiggas:

Erd- und Flüssiggas sind in Deutschland (bei Verwendung als Kraftstoff) bereits energiesteuerlich begünstigt, jedoch zeitlich bis Ende 2018 begrenzt. Um diese Begünstigung weiterzuführen hat der Deutsche Bundestag mit Beschluss vom 2. Juli 2015 die Bundesregierung aufgefordert, einen Gesetzentwurf zur Verlängerung der Energiedeuerermäßigung von Erd- und Flüssiggaskraftstoff einschließlich einer validen Gegenfinanzierung vorzulegen (BT-Drs. 18/5378). Der vom Bundeskabinett am 15. Februar 2017 beschlossene Gesetzentwurf sieht vor, die Steuerbegünstigung für als Kraftstoff verwendetes Erdgas über das Jahr 2018 hinaus bis einschließlich 2026 zu verlängern, sukzessive abschmelzend ab 2024. Die Verlängerung der Ermäßigung bis 2026 schafft Planungssicherheit für die Infrastrukturbetreiber und die Fahrzeughersteller. Die Steuerbegünstigung für Flüssiggas wird mangels Gegenfinanzierung nicht verlängert.

e) Förderprogramm für den elektrischen Schienenverkehr

#### 2.8.1.2.2 Ordnungsrecht

a) Fortschreibung der CO<sub>2</sub> – Grenzwerte für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge

Die EU-Verordnungen 333/2014 und 253/2014 sehen vor, dass die EU-Kommission nach einer Überprüfung der geltenden Regulierungen Vorschläge für eine Änderung vorlegt, einschließlich realistischer und erreichbarer CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) für die Zeit nach 2020.

Die EU-Kommission hat angekündigt, dass sie die CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw und LNF nach 2020 auf der Grundlage des neuen Prüfverfahrens WLTP festlegen will. Durch die Einführung des WLTP soll die Diskrepanz zwischen Testzyklus- und Realemissionen vermindert werden.

Die EU-Kommission hat im Juli 2016 angekündigt, Analysen für Gestaltungsoptionen für CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge durchzuführen. Die Einführung des VECTO-Modells zur Simulation des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes einzelner Fahrzeuge wird ab 2018 bindend; erste Berichtspflichten stehen dann für das Jahr 2018/19 an. Für die Zwecke dieser Studie wird angenommen, dass die spezifische Kraftstoffeffizienz neuer schwerer Nutzfahrzeuge aufgrund

der in Kürze verbindlichen Zertifizierungs- und Monitoringpflichten (VECTO-Modell) mit einer gegenüber den vergangenen Jahren signifikant erhöhten Rate bis 2030 weiter verbessert werden kann.

2018 wird die PkwEnVKV novelliert, um diese an die Einführung des WLTP anzupassen.

Im Jahr 2016 wird die NRMM RiLi (97/68/EG) novelliert. Die strengerer Grenzwerte für NOx und PM bzw. PN erfordern eine intensivere Abgasreinigung, die - für sich genommen - tendenziell zu mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Es wird davon ausgegangen, dass dies durch effizientere Motoren kompensiert wird.

- b) Anpassung der Treibhausgasquote und Einführung eines Unterziels für fortschrittliche Kraftstoffe

Die Regelungen zur Treibhausgasquote werden den neu erlassenen EU-rechtlichen Vorgaben angepasst. Insbesondere sollen folgende Änderungen vorgenommen werden:

- Strombasierte Kraftstoffe, welche mit erneuerbarem Strom nicht-biogenen Ursprungs hergestellt wurden, sind zukünftig auf die Treibhausgasquote anrechenbar. Voraussetzung ist, dass der Strom für die Herstellung der Kraftstoffe nicht aus dem Netz entnommen, sondern direkt von den Anlagen, die den Strom aus erneuerbaren Energien nicht-biogenen Ursprungs erzeugen, bezogen wurde.
- Elektrischer Strom, der in Straßenfahrzeugen mit Elektroantrieb verwendet wurde, kann künftig auf die Treibhausgasquote angerechnet werden.
- Zur Vermeidung indirekter Landnutzungsänderungen wird künftig eine Obergrenze in Höhe von 5 Prozent (bezogen auf den Energiegehalt) für konventionelle Biokraftstoffe 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 2018/2020 und ansteigend auf einen Anteil von 0,5 % ab dem Jahr 2025.
- Die Werte für die Treibhausgasemissionen von fossilen Kraftstoffen sowie der Basiswert werden an die neuen Vorgaben angepasst.
- Der Geltungsbereich der Treibhausgasquote wird künftig auch um weitere fossile Kraftstoffe, insbesondere Erdgas und Flüssiggas, erweitert. Außerdem wird biogenes Flüssiggas künftig auch auf die Quote anrechenbar sein.

#### **2.8.1.2.3 Flankierende Instrumente**

- a) Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe:

Mit dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 wurde beschlossen, regionale Wirtschaftskreisläufe zu stärken und den Zuliefererverkehr umweltfreundlicher zu organisieren. Hier können eine gemeinsame regionale Flächenbuchhaltung, eine Optimierung der Instrumente und Verfahren zur Aufstellung von landesweiten und regionalen Raumordnungs- und Raumentwicklungsplänen sowie regionalen Verkehrsentwicklungsplänen und Konzepte der interkommunalen Gewerbeflächenentwicklung verkehrssparende Strukturen begünstigen. Dazu sollen Handlungsoptionen für Kommunen in Form eines Leitfadens entwickelt werden, auf dessen Basis gegebenenfalls ausformulierte Vorschläge für ein Förderprogramm entwickelt werden. Ziel ist es, durch gemeindeübergreifende Steuerungsabsichten die Anzahl der Wege und die Transportdistanzen zu verringern, sensible Gebiete zu schützen und den Flächenverbrauch zu verringern.

b) Klimafreundliche Mobilität in der Bundesverwaltung

Mobilitätsmanagement ist ein Ansatz zur Beeinflussung der Verkehrs nachfrage innerhalb der Bundesverwaltung mit dem Ziel, den Verkehr effizienter, umwelt- und sozialverträglicher und damit nachhaltiger zu gestalten. Dies kann erreicht werden durch „weiche“ Maßnahmen wie Information, Kommunikation, Motivation, Koordination und Service oder durch finanzielle Anreize. Ziel ist es, ein Mobilitätsmanagement in der Bundesverwaltung einzuführen und zu etablieren sowie ein standardisiertes und zertifiziertes Verfahren zur Planung, Durchführung, Umsetzung und Evaluation von Mobilitätsmanagementmaßnahmen zu entwickeln. Neben Umweltentlastungen könnten Behörden Kosten sparen, z.B. durch energieeffiziente Fahrzeuge, umweltverträgliche Mobilität bei den täglichen Arbeitswegen der Beschäftigten und insbesondere bei den Dienstreisen.

c) Betriebliches Mobilitäts-Management

Ziel der Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements ist, Pendel- und Arbeitswege erheblich nachhaltiger zu gestalten. Die Erstellung entsprechender Konzepte soll daher über eine Förderrichtlinie von BMUB und BMVI unterstützt werden.

d) Carsharinggesetz (CsgG)

Der Koalitionsvertrag für die 18. Legislaturperiode beinhaltet den Auftrag, die Möglichkeit zu schaffen, dass Kommunen rechtssicher Parkplätze für das Carsharing ausweisen können. Dazu wird ein eigenständiges Gesetz geschaffen, um Carsharing zu fördern. Der Gesetzentwurf wird u. a. den Begriff des bevorrechtigten Carsharing definieren und die Kennzeichnung von Carsharingfahrzeugen vorsehen. Der Entwurf enthält zudem eine Regelung, nach der stationsgebundenen Carsharinganbietern Stellflächen in Ortsdurchfahrten auf Bundesfernstraßen zur Sondernutzung gewährt werden können. Weiterhin sollen die Rechtsgrundlagen dafür geschaffen werden, dass die Länder für das Carsharing spezielle Parkflächen ausweisen sowie Parkgebühren ermäßigen oder erlassen können.

e) Unterstützung von Klimaschutz im internationalen Seeverkehr II: Kraftstoffalternativen und LNG

Durch Förderung der Erstausstattung oder Nachrüstung von Seeschiffen soll die Nachfrage zur Verwendung von LNG gesteigert und klimaschonendere Kraftstoffalternativen unterstützt werden.

f) Modernisierung von Binnenschiffen

Die Nachrüstung und der Neubau von Binnenschiffen mit LNG-Antrieben werden unterstützt. Dabei wird die Treibhausgasbilanz ganzheitlich und unter Berücksichtigung von Methanschlupf betrachtet. Die Förderrichtlinie zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen wird mit dem Ziel, weitere Anreize für Investitionen in Minderungsmaßnahmen zu schaffen, überarbeitet.

g) Kraftstoffsparendes Fahren

Kraftstoffsparendes Fahren soll durch Gutscheine für Sprit-Spar-Trainings beim Kauf eines Neuwagens gefördert werden. Denkbar sind außerdem günstigere Versicherungsprämien für Absolventen eines Sprit-Spar-Trainings, Verbrauchs- und Schaltpunktanzeigen sowie bei Lkw Tempobegrenzer im Fahrzeug. Die Bundesregierung wird hierzu mit der Automobilindustrie und der Versicherungswirtschaft sprechen.

h) Single European Sky

Die Schaffung eines einheitlichen und harmonisierten Europäischen Luftraumes soll den Luftverkehr auch mit Blick auf die Effizienz verbessern. Die angestrebten ambitionierten technologischen Veränderungen wurden mit dem SESAR 1 Programms analysiert, nun soll mit SESAR 2020 das neue Europäische Flugverkehrsmanagementsystem verwirklicht werden.

- i) Fortführung der Förderung der Elektromobilität: Aufbau Lademöglichkeiten  
Im Rahmen des neuen Förderprogramms des BMVI wird der Ausbau von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur mit hoher Intensität fortgesetzt. Im Zusammenhang mit den zusätzlichen Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität werden Änderungen im Wohnungseigentumsrecht und im Mietrecht geprüft, um den Aufbau von Lademöglichkeiten in Tiefgaragen oder privaten Stellplätzen zu erleichtern
- j) Stärkung von Rad- und Fußverkehr / Radschnellwege  
Der Bund unterstützt die Länder und Kommunen auch künftig im Rahmen seiner gesetzlichen Möglichkeiten bei Ausbau und Erhalt der Radverkehrsinfrastruktur. Darüber hinaus plant der Bund, für den Bau von Radschnellwegen in der Baulast der Länder, Gemeinden und Gemeindeverbände beginnend ab 2017 Finanzhilfen i.H.v. jährlich 25 Mio. Euro bereit zu stellen.
- k) Förderung öffentlicher Verkehr (Deutschlandtakt)  
Die Einführung des Deutschlandtaktes wird geprüft. Dafür soll in einem nächsten Schritt ein konkreter Zielfahrplan für das Jahr 2030 mit abgestimmten Takten für den Personenverkehr und Systemtrassen für den Güterverkehr auf der Schiene in ganz Deutschland entwickelt werden.

## 2.8.2 Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung

### 2.8.2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

#### 2.8.2.1.1 Finanzielle Anreize für Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

- a) CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm  
Über die Mittel des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms werden die KfW-Programme zum energieeffizienten Bauen und Sanieren finanziert. Insgesamt stehen für die nachfolgend genannten Programme für das Jahr 2017 zwei Milliarden Euro für neue Fördermaßnahmen zur Verfügung (BMWi 2016a). Für das MMS wird dieses jährliche Budget über den gesamten Szenarienzeitraum konstant gehalten.

##### A.1. „Energieeffizient Sanieren“

Mit dem Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ der KfW wird die energetische Sanierung von Wohngebäuden, für die der Bauantrag vor dem 1. Februar 2002 gestellt wurde, durch zinsverbilligte Kredite sowie Tilgungs- und Investitionszuschüsse unterstützt. Gefördert werden die umfassende Sanierung zum KfW-Effizienzhaus sowie Einzelmaßnahmen und Kombinationslösungen zur Verbesserung der Energieeffizienz am Gebäude sowie der Anlagentechnik. 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 anhand des erreichten Jahresprimärenergiebedarfs und des auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogenen Transmissionswärmeverlusts mit Bezug auf die Referenzwerte der jeweils geltenden

Energieeinsparverordnung unterscheiden<sup>13</sup>. Zudem wird über den Förderbaustein KfW EH Denkmal (160) die Sanierung von Baudenkmälern sowie besonders erhaltenswerte Bausubstanz gefördert.

Förderfähige Einzelmaßnahmen unterliegen ebenfalls bestimmten Mindestanforderungen. Zu den Einzelmaßnahmen zählen u.a. die Wärmedämmung der Außenwände, des Daches und der Geschossdecken 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 Wärmeübergabestationen bei Anschluss an ein Wärmenetz gefördert. Erneuerbare-Energien-Wärmeerzeuger werden nur in Ergänzung zu den genannten Anlagen gefördert. Mit dem Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE) wurde 2016 die bestehende Förderung zum „Energieeffizient Sanieren“ sinnvoll erweitert und verstärkt. Bauherren, die ihre Heizung austauschen möchten oder eine Lüftungsanlage einbauen wollen, können eine zusätzliche Förderung erhalten. Im Fokus steht hier die Förderung von sog. effizienten Kombinationslösungen.

Mit dem Heizungspaket wird der Einbau besonders effizienter Heizungen samt Maßnahmen zur Optimierung des gesamten Heizsystems (inklusive Heizkörpern und Rohrleitungen) gefördert. Dadurch wird ein Umstieg zu effizienteren Gasheizungen oder erneuerbare Energien-Heizungen gefördert. Durch die Förderung des Einbaus von Lüftungsanlagen in Kombination mit einer Sanierungsmaßnahme an der Gebäudehülle werden zusätzlich die richtigen Weichen zur Vermeidung von Bauschäden (u.a. Schimmelbefall) gestellt und das Raumklima verbessert.

#### A.2. KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“

Das KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“ (bis März 2009 KfW-Programm „Ökologisch Bauen“) ist das Pendant des Programmes „Energieeffizient Sanieren“ für Neubauten. Gefördert wird die Errichtung, Herstellung oder der Ersterwerb von KfW-Effizienzhäusern durch zinsverbilligte Kredite. Zur Auswahl stehen KfW EH 40 Plus, KfW 40 und KfW EH 55 (KfW 2016a).

#### A.3. KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren - Energiekosten im Gewerbegebäude senken“

Seit dem 01.07.2015 wird die energetische Sanierung und der energieeffiziente Neubau gewerblich genutzter Nichtwohngebäude in ähnlicher Fördersystematik ebenfalls gefördert. Gefördert werden sowohl Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz (siehe oben), als auch die Sanierung zum KfW Effizienzhaus (KfW 70, 100, Denkmal) und der Neubau von KfW Effizienzhäusern (KfW 55 und KfW 70) (KfW 2016c).

#### A.4. KfW IKK und IKU - Energieeffizient Bauen und Sanieren (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“ adressiert (KfW 2016b). Es werden die gleichen Fördertatbestände wie im „KfW-Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen und Sanieren - Energiekosten im Gewerbegebäude senken“ erfasst.

#### b) Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE)

---

<sup>13</sup> Ein KfW Effizienzhaus 70 Standard wird beispielsweise dann erreicht, wenn das Gebäude nicht mehr als 70% des Primärenergiebedarfs eines äquivalenten Neubaus entsprechend der EnEV erreicht. Bezogen auf die reine Gebäudehüllenanforderung ( $H_t'$ ) liegen die Werte jeweils 15% höher – für KfW 70 entsprechend maximal 85% des spezifischen Transmissionswärmekoeffizienten der EnEV.

Das „Anreizprogramm Energieeffizienz“ umfasst vier Schwerpunkte, die teilweise in die bestehenden Förderprogramme der KfW (siehe auch A.1) und des BAFA integriert sind. Für das MMS wird eine jährliche Fördermittelausstattung von 165 Millionen Euro pro Jahr über den gesamten Szenariozeitraum angenommen.

Zum APEE gehören ein „Heizungs-“ und „Lüftungspaket“, eine Informations-Kampagne (Deutschland macht's effizient) und seit August 2016 die Förderung der Markteinführung der innovativen Brennstoffzellenheizung.

Mit dem „Heizungspaket“ wird der Austausch ineffizienter durch effiziente Heizungen bei gleichzeitiger Optimierung des gesamten Heizungssystems gefördert. Mit dem „Lüftungspaket“ wird der Einbau von Lüftungsanlagen bei gleichzeitiger Durchführung einer Sanierungsmaßnahme gefördert.

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. Die Einzelheiten der MAP-Förderung sind in den Förderrichtlinien vom 11. März 2015 geregelt. Das Programm umfasst zwei Förderteile. Für kleinere Anlagen werden über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Investitionszuschüsse gewährt. Förderfähig sind hier Solarkollektoranlagen, Biomasseanlagen und effiziente Wärmepumpen. Für größere Anlagen gewährt der Bund im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien, Premium, Zuschüsse zur anteiligen Tilgung zinsgünstiger KfW-Darlehen. 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. Die MAP-Förderung wurde durch die Einführung des APEE (siehe auch b) gestärkt, das eine Zusatzförderung bei einem Heizungsaustausch ermöglicht.

Für das Jahr 2017 sind für das das Marktanreizprogramm Haushaltsmittel von rund 222 Millionen Euro sowie weitere rund 87 Millionen Euro aus dem Energie- und Klimafonds vorgesehen. Für das MMS wird diese jährliche Mittelausstattung von ca. 309 Millionen Euro über den gesamten Szenarienzeitraum.

d) Mini-KWK-RL

Dezentrale KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis einschließlich 20 KW werden aus Mitteln der NKI über das BAFA mit Investitionszuschüssen gefördert. Die Förderbeträge wurden letztmalig zum 01.01.2015 erhöht und betragen je nach Leistungsstufe zwischen 10 und 1900 Euro pro KW<sub>el</sub>.

e) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up! Strom)\*

Siehe Beschreibung unter sektorübergreifende Maßnahmen in Abschnitt 2.7.1

f) Förderprogramm Heizungsoptimierung

In Umsetzung der Beschlüsse vom 1. Juli 2015 für den Gebäudebereich ist am 01.08.2016 das Programm zur Heizungsoptimierung gestartet. Gefördert werden der Austausch und die Installation von hocheffizienten „Umwälz- und Zirkulationspumpen“ für die Heizung oder die Warmwasserversorgung im Gebäudebereich und der hydraulische Abgleich des Heizungsverteilsystems und evtl. ergänzende niedriginvestive Maßnahmen, sofern diese Maßnahmen durch einen Fachbetrieb ausgeführt werden. Mit dem Programm sollen rund 1,8 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2020 (bei angestrebtem jährlichem Austausch von bis zu 2 Millionen Pumpen sowie jähr-

lichen 200.000 Heizungsoptimierungen jeweils bis 2020) vermieden werden. Für das Programm sind HH-Mittel in Höhe von ca. 1,9 Mrd. € eingeplant (2016: 100 Mio. €, 2017: 346 Mio. €, 2018-2020: je 470 Mio. €).

#### 2.8.2.1.2 Ordnungsrecht

##### a) 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 größeren Sanierung. Die ordnungsrechtlichen Anforderungen gelten dabei sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude, sofern diese regelmäßig geheizt oder gekühlt werden. Am 01.05.2014 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 resultiert der maximal zulässige Jahresprimärenergiebedarf eines entsprechenden Neubaus gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche bzw. Nettogrundfläche und Ausrichtung (bei Nichtwohngebäuden auch gleicher Nutzung). Die Referenzgebäude werden in der EnEV in Wohn- und Nichtwohngebäude unterschieden.

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.

Alternativ zum sog. Bauteilverfahren gelten die Anforderungen an Bestandsgebäude im Fall einer Änderung bestimmter Außenbauteile des Gebäudes 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 % überschritten werden (sogenannte 140 %-Regel). Die ab dem 1. Januar 2016 geltenden verschärften Neubauanforderungen (siehe hierzu nachfolgend) finden bei der 140 %-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 % gesenkt und die Anforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle wurden um durchschnittlich 20 % verschärft. Die Anforderungen bei der Sanierung von Bestandsgebäuden sind beibehalten worden. Des Weiteren müssen seit 2015 ineffiziente Heizkessel, die mit flüssigen oder gasför-

migen Brennstoffen beschickt werden und entweder vor dem 1.1.1978 eingebaut oder aufgestellt oder seit 20 Jahren betrieben werden, stillgelegt werden. Das betrifft nicht sogenannte Brennwertkessel und Niedertemperatur-Heizkessel. Ausnahmen gibt es für bestimmte selbstgenutzte Ein- und Zweifamilienhäuser.

b) Energieeinsparungsgesetz

§ 2a Energieeinsparungsgesetz, der die Vorgaben von Artikel 2 Nummer 2 und Artikel 9 Absatz 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 wie folgt beschrieben: 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.“. Zur Konkretisierung des Niedrigstenergiegebäudestandards und zur Weiterentwicklung des Energieeinsparrechts siehe unter 2.8.3.2.2 e).

c) Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz (EEWärmeG)

Das EEWärmeG schreibt für Neubauten mit Bauantrag bzw. Baugenehmigung oder Baubeginn seit dem 1. Januar 2009 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 zudem auf öffentliche Bestandsgebäude (Vorbildfunktion öffentlicher Gebäude) ausgeweitet, welche im Falle einer grundlegenden Renovierung mindestens 15 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs aus EE decken müssen.

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 % zu erfüllen. Die Nutzungspflicht gilt auch dann als erfüllt, wenn der Wärme- und Kältebedarf zu mindestens 50 % durch eine KWK-Anlage gedeckt wird oder die Wärme- und Kälteversorgung über ein Fernwärme- oder Fernkältenetz erfolgt, welches zu mindestens 50 % aus EE- oder KWK-Anlagen gespeist wird. Eine weitere Ersatzmaßnahme ist die Nutzung von Abwärme.

d) Umsetzung Ökodesign-Richtlinie und Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie für energieverbrauchsrelevante Produktgruppen

Siehe Beschreibung übergeordnete Maßnahmen.

### 2.8.2.1.3 Flankierende und informatorische Instrumente

a) 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. Heizungsinstallateure, Schornsteinfeger sowie bestimmte Energieberater sind seit 2016 berechtigt, die Energielabel anzubringen. Die Bezirksschornsteinfeger sind ab 2017 verpflichtet, im Rahmen ihrer regelmäßigen Überwachung Energielabel gemäß der 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 Energiekostenein-

sparungen und Hinweise zu weiterführenden Energieberatungsangeboten (z.B. vzbv oder Vor-Ort-Beratung).

b) 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 für den Gebäudebestand eine Energieausweispflicht bei Verkauf und Vermietung eingeführt. Der Energieausweis ist bei Verkauf oder Vermietung dem potentiellen Käufer oder Mieter vorzulegen und soll Auskunft über die energetische Qualität von Gebäuden geben. Der Energieausweis kann als Bedarfs- oder Verbrauchsausweis ausgestellt werden.

Die am 1. Mai 2014 in Kraft getretenen Neuregelungen stärken die Aussagekraft von Energieausweisen und erweitern bzw. verdeutlichen die Pflichten bei Ausstellung und Verwendung von Energieausweisen, um die Transparenz auf dem Immobilienmarkt zu verbessern. Neue Energieausweise für Wohngebäude enthalten seit dem 1. Mai 2014 auch die Angabe von Energieeffizienzklassen und müssen 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.

c) Informationsdienste der Deutschen Energie-Agentur (dena)

Die Deutsche Energie-Agentur informiert private Haushalte und Unternehmen seit dem Jahre 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.

d) Energieberatung vor Ort (BAFA)

Im Rahmen der Vor-Ort-Energieberatung werden Sanierungskonzepte von qualifizierten und unabhängigen Fachleuten für Wohngebäude finanziell gefördert. Es werden z.B. 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. 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 Wohnungsbereich als Online-Datenbank zur Verfügung. Es werden hohe Anforderungen an die Qualifikation gestellt. So ist regelmäßige Weiterbildung eine Voraussetzung, um als Experte in der Datenbank gelistet zu werden. Die Anwendung der Expertenliste bzw. Expertendatenbank ist für KfW-Programme seit 1. Juni 2014 verbindlich.

e) 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 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.

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

Mit der Richtlinie werden seit dem 1. Januar 2016 Energieberatungen für öffentliche Nichtwohngebäude finanziell gefördert, denn Kommunen stehen vor der Herausforderung, ihre veraltete Bausubstanz (u.a. Schulen, Kindergärten und Verwaltungsgebäude) 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.

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. Dies können auch kurzfristig umsetzbare Energiesparmaßnahmen z.B. durch die Modernisierung der Anlagentechnik und Optimierung des Gebäudebetriebs sein. 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.). Zur Qualitätssicherung der Energieberatungen sind hier u.a. die Sachverständigen für Nichtwohngebäude aus der Expertenliste für die Förderprogramme des Bundes tätig. Es werden hohe Anforderungen an die Qualifikation gestellt. So ist regelmäßige Weiterbildung eine Voraussetzung, um als Experte in der Datenbank gelistet zu werden.

g) KfW Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager

Mit dem Programm werden finanzielle Zuschüsse für die Erstellung integrierter Quartierskonzepte für energetische Sanierungsmaßnahmen erteilt. Diese umfassen Maßnahmen zur Energieeinsparung, -speicherung und -gewinnung sowie zu Wärmeversorgung. Des Weiteren sind die Kosten für umsetzungsbegleitendes Sanierungsmanagement für einen Zeitraum von bis zu fünf Jahren förderfähig. Förderanträge können durch kommunale Gebietskörperschaften und deren rechtlich eigenständige Eigenbetriebe 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“ (Nr.201, 202) zinsgünstige Darlehen und Tilgungszuschüsse für energieeffiziente Investitionen in die quartiersbezogene Wärme- und Kälteversorgung sowie Wasserver- und Abwasserentsorgung vergeben.

h) NKI Kommunalrichtlinie

Über die Kommunalrichtlinie werden im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative die Erstellung von Klimaschutzkonzepten, die Energieberatung sowie Klimaschutzprojekte und – technologien in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen gefördert. Rund zwei Drittel der geförderten Projekte entfiel im Zeitraum 2008 bis 2015 auf den Bereich der „Klimaschutztechnologien“. Jedoch sind nur ein Teil der Maßnahmen dem Bereich der Wärme- und Kältebereitstellung und der Energieeffizienz im Gebäudebereich zuzuordnen. Über 75 % der

geförderten Technologien entfallen auf den Bereich der Innen- und Hallenbeleuchtung sowie der Außen- und Straßenbeleuchtung. Im Bereich der Wärme- und Kältebereitstellung stellt insbesondere die Förderung von Lüftungsanlagen eine relevante Maßnahme dar. Hier wurden zwischen 2008 und 2016 insgesamt 264 Förderanträge bewilligt. Die NKI Kommunalrichtlinie spielt daher im Vergleich zu den anderen finanziellen Förderprogrammen im Gebäudebereich eine untergeordnete Rolle und wird daher den flankierenden Instrumenten zugeordnet.

i) Forschungsnetzwerk "Energie in Gebäuden und Quartieren"

Das Forschungsnetzwerk „Energie in Gebäuden und Quartieren“ wurde im Oktober 2014 gegründet und bietet ein „Forum für Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft sowie wichtige Multiplikatoren zur Intensivierung des Austausches an den Schnittstellen der Forschung zur Praxis und zur Politik“ (Forschungsnetzwerk Energie 2015). Die von den Netzwerkmitgliedern erarbeiteten Expertenempfehlungen zum Forschungsbedarf und zum Ergebnistransfer bildeten die Grundlage für die ressortübergreifende Forschungsinitiative „Solares Bauen /Energieeffiziente Stadt“ (BMWi/BMBF), die im April 2016 gestartet ist. Erste Projekte daraus sollen im Frühjahr 2017 starten.

Ebenfalls im April gestartet ist die neue Förderbekanntmachung „EnEff.Gebäude:2050“, die die Lücke zwischen Forschungs- und Breitenförderung schließt. Ziel der Modellvorhaben ist, eine Vielzahl gebäuderelevanter Akteure zum Handeln anzuregen und dazu beizutragen, Hemmnisse auf dem Weg zu nahezu klimaneutralen Gebäudebeständen zu überwinden.

j) 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.

k) Bildungsinitiative für Gebäudeeffizienz II - Programmbeitrag ESF

Im Rahmen des Europäischen Sozialfonds (ESF) legt das BMUB außerdem ein Förderprogramm zur gewerkeübergreifenden Qualifizierung in der energetischen Gebäudesanierung auf. Der Fokus liegt dabei auf informellen, außerschulischen und praktischen Angeboten für Auszubildende und Ausbildungspersonal.

l) Gebäudeindividuelle Sanierungsfahrpläne für Wohn- und Nichtwohngebäude

Gebäudeindividuelle Sanierungsfahrpläne dienen der Entscheidungsunterstützung für Gebäudeeigentümer und sollen dazu beitragen, dass das einzelne Gebäude bauteilweise saniert und abschließenden 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. Das auf freiwilliger Anwendung beruhende Instrument zielt auf eine verbesserte Information und Motivation der Gebäudeeigentümer ab.

## 2.8.2.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario

### 2.8.2.2.1 Finanzielle Anreize

- a) Weiterentwicklung der KfW-Programme „Energieeffizient Bauen“ und „Energieeffizient Sanieren“ (Wohn- und Nichtwohngebäude) sowie der Programme KfW IKK und IKU - Energieeffizient Bauen und Sanieren (Sanierung von Gebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur).  
Siehe Beschreibung MMS. Zudem wird bei den Einzelmaßnahmen die Förderung fossiler Wärmeerzeuger ab dem Jahr 2020 eingestellt.
- b) Weiterentwicklung des Marktanreizprogramms (MAP)  
Siehe Beschreibung MMS.
- c) Weiterentwicklung des Anreizprogramms Energieeffizienz (APEE) bei Einstellung der Förderung fossiler Technologien ab 2020  
Der Schwerpunkt des Anreizprogramms Energieeffizienz wird auf eine Optimierung ineffizienter Heizungsanlagen zur Integration von EE-Wärmeerzeuger gelegt. Der Austausch von Wärmeverteilsystemen zur Erreichung niedrigerer Vorlauftemperaturen sowie der Einbau von EE-Wärmeerzeuger werden gefördert. Die Förderung fossiler Heizungskessel wird hingegen eingestellt.
- d) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up! Wärme)\*  
Siehe Beschreibung unter sektorübergreifende Maßnahmen in Abschnitt 2.7.2.
- e) Beseitigung steuerlicher Hemmnisse für Wohnungsunternehmen  
Beseitigung möglicher steuerlicher Hemmnisse, z.B. für Wohnungsunternehmen, die Strom aus erneuerbaren Energien oder in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugen.

### 2.8.2.2.2 Ordnungsrecht

- a) Novellierung des Energieeinsparrechts für Gebäude (EnEG/EnEV; EEWärmeG)  
Das Energieeinsparrecht für Gebäude soll weiterentwickelt und auf die aktuellen Anforderungen hin angepasst werden. Dazu sollen das Erneuerbare- Energien-Wärmegesetz, das Energieeinsparungsgesetz und die Energieeinsparverordnung in einem neuen Gesetz zusammengeführt werden. Es gilt, ein einheitliches Anforderungssystem zu schaffen, in das die Gebäudeenergieeffizienz und die erneuerbaren Energien integriert sind, und dadurch Anwendung und Vollzug zu erleichtern.  
Die EU-Gebäuderichtlinie erfordert eine Regelung zum Niedrigstenergiestandard für Neubauten von Nichtwohngebäuden der öffentlichen Hand, die behördlich genutzt werden, bis Ende 2018 und für private Neubauten bis Ende 2020. Das geltende Wirtschaftlichkeitsgebot wird dabei beachtet.

### 2.8.2.2.3 Sonstige quantifizierte Instrumente

- a) Klimafreundliches Wohnen für einkommensschwache Haushalte I - Klima-Komponente beim Wohngeld  
Um möglichst vielen Menschen ein klimafreundliches Wohnen zu ermöglichen, prüft die Bun-

desregierung ergebnisoffen, das Wohngeld um eine Klima-Komponente zu erweitern. Durch eine Erhöhung der im Wohngeld zu berücksichtigenden Miete, sofern ein bestimmter Energieeffizienzstandard erreicht wird, könnten mehr Wohngeldhaushalte eine Wohnung mit höherem Energieeffizienzstandard anmieten oder nach einer energetischen Modernisierung und anschließender Erhöhung der Nettokaltmiete darin wohnen bleiben.

- b) Klimafreundliches Wohnen für einkommensschwache Haushalte II -Ergänzung SGB II und SGB XII  
Ergänzend zu Klimakomponenten erfolgt im Rahmen der jeweils geplanten Rechtsvereinfachung im SGB II und SGB XII die Prüfung einer Ergänzung im SGB II und XII, wonach Kommunen die Angemessenheit der Unterkunfts- und Heizungskosten in einem Gesamtkonzept (zusammenfassende Berücksichtigung von Heiz- und Mietkosten / Bruttowarmmiete) festlegen dürften.
- c) Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems\*  
Siehe Beschreibung unter sektorübergreifende Maßnahmen in Abschnitt 2.7.2.

#### **2.8.2.2.4 Flankierende und informatorische Instrumente**

- a) Energetischer Sanierungsfahrplan Bundesliegenschaften und Liegenschaften Länder/Kommunen  
Siehe Beschreibung unter 2.8.3.2.
- b) Energetischer Mietspiegel  
Die Maßnahme umfasst eine stärkere Berücksichtigung der energetischen Ausstattung und Beschaffenheit im Mietspiegel.
- c) Schnelle Etablierung neuer technischer Standards - Entwicklung von Systemkomponenten  
Die Entwicklung von Systemkomponenten für die Bau- und Anlagentechnik sowie die Etablierung entsprechender technischer Standards soll vorangetrieben werden
- d) Weiterentwicklung der jährlichen Abrechnungs- bzw. Verbrauchsinformation unter Einhaltung des Wirtschaftlichkeitsgebots  
Teil des Energieeinsparrechts ist auch die Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten. In Deutschland besteht bereits seit den frühen achtziger Jahren nach den Vorschriften der Heizkostenverordnung die Verpflichtung, den jeweiligen Wärme- und Warmwasserverbrauch zu erfassen und die Kosten hierfür verbrauchsabhängig zu verteilen. Die Einführung der Heizkostenverordnung hat im Mittel zu einem Energieminderverbrauch von ca. 15 Prozent beigetragen. Jüngste wissenschaftliche Erkenntnisse lassen Potenziale erkennen, durch jährliche standardisierte und transparente Heizkostenabrechnungen zusätzliche Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen generieren können und gleichzeitig Energiekosten verringern können.<sup>14</sup>
- e) Änderungen im Mietrecht  
In dieser Legislaturperiode stehen weitere Änderungen im Mietrecht mit dem Ziel an, bezahlbaren Wohnraum zu erhalten und Mieter vor finanzieller Überforderung zu schützen (Mietrechtsnovelle II). Die gesetzlichen Vorgaben zur ortsüblichen Vergleichsmiete werden im Hin-

<sup>14</sup> Forschungsprojekt im Auftrag des UBA „Informative und transparente Heizkostenabrechnung als Beitrag für den Klimaschutz“ (Climate Change 1/2016)

blick auf eine stärkere Berücksichtigung der energetischen Ausstattung und Beschaffenheit im Mietspiegel überprüft.

### **2.8.3 Private Haushalte – Strom**

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

#### **2.8.3.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

##### **2.8.3.1.1 Quantifizierte Instrumente**

a) Ökologische Steuerreform\*

Die ökologische Steuerreform wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.1 im Sektor private Haushalte (Strom) berücksichtigt.

b) Mindeststandards (EU-Ökodesign-Richtlinie)\*

Die Mindeststandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.2 a) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

c) Energielabel – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchs kennzeichnung \*:

Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchs kennzeichnung werden entsprechend der Beschreibung bei den übergeordneten Maßnahmen Abschnitt 2.7.1.2 b) 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) zu entwickeln und schneller in den Markt zu bringen. 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! Strom)\*

Die wettbewerblichen Ausschreibungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.1 im Sektor private Haushalte (Strom) berücksichtigt.

f) Pilotprogramm Einsparzähler\*

Das Pilotprogramm Einsparzähler wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.1 im Sektor private Haushalte berücksichtigt.

g) Beratung einkommensschwacher Haushalte (Stromspar-Check)

Bis Ende 2015 förderte das BMUB 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 ein Zuschuss zur Beschaffung eines hochenergieeffizienten Kühlgerätes. Zum 01.04.2016 ist das neue Projekt Stromsparcheck Kommunal im Rahmen der Nationalen Klimainitiative (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. Bisher

sind für dieses Projekt folgende Haushaltsmittel angemeldet: 2016: 7,8 Mio. €, 2017/18: jeweils 9,8 Mio. €, 2019: 2,5 Mio. €. Für die Folgejahre erfolgt eine Fortschreibung auf Grundlage des durchschnittlichen Programmumfangs der Vorjahre.

#### **2.8.3.1.2 Flankierende Instrumente**

a) LED-Leitmarktinitiative\*

Die LED-Leitmarktinitiative wird entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.7.1.2 als flankierendes Instrument berücksichtigt.

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

Die freiwilligen Produktkennzeichnungen werden entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.7.1.2 für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produkte berücksichtigt.

c) 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.

d) Unterstützung der Marktüberwachung\*

Siehe Beschreibung unter sektorübergreifende Maßnahmen in Abschnitt 2.7.2.

#### **2.8.3.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

##### **2.8.3.2.1 Ordnungsrecht**

a) Mindeststandards (EU-Ökodesign-Richtlinie)\*

Die Mindeststandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie und den jeweiligen EU-Durchführungsverordnungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.2.2 a) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

b) Energietag – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung \*

Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchskennzeichnung werden entsprechend der Beschreibung der übergeordneten Maßnahmen im Abschnitt 2.7.2.2 b) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

##### **2.8.3.2.2 Sonstige quantifizierte Instrumente**

a) Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems\*

Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchskenn-

zeichnung werden entsprechend der Beschreibung der übergeordneten Maßnahmen im Abschnitt 2.7.2.2 für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

## 2.8.4 Industrie & GHD – Strom und Prozesswärme / -dampf

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

### 2.8.4.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

#### 2.8.4.1.1 Quantifizierte Instrumente

- a) EU-Emissionshandel\* (siehe auch Abschnitt 2.7.1 zu übergreifenden Instrumenten).  
In der Industrie wirkt der Emissionshandel vorwiegend auf die energieintensiven Branchen wie Raffinerien, Metallerzeugung und -bearbeitung, Zement- und Kalkherstellung sowie die Glas- 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 N<sub>2</sub>O sowie für die Aluminiumherstellung um perfluorierte Kohlenwasserstoffe erweitert worden.
- b) Ökologische Steuerreform\* (siehe auch Abschnitt 2.7.1.1 zu übergreifenden Maßnahmen).  
Die Erhöhung der Energiesteuersätze und die Einführung der Stromsteuer hat bei Unternehmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen beigetragen.
- c) Spitzenausgleich im Rahmen des Energiesteuergesetzes (EnergieStG) und des Stromsteuergesetzes (StromStG).  
Im Januar 2013 ist das Gesetz zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes sowie zur Änderung des Luftverkehrssteuergesetzes vom 5. Dezember 2012 in Kraft getreten. Mit diesem Gesetz wurde der sog. "Spitzenausgleich" (Steuerentlastungen für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes in Sonderfällen) neu justiert und über das Jahr 2012 hinaus für die nächsten 10 Jahre fortgeführt. Dabei bleiben die allgemeinen Voraussetzungen zur Gewährung des Spitzenausgleichs gegenüber dem bisherigen Modell nahezu unverändert. Bis einschließlich Ende 2012 war die Gewährung des Spitzenausgleichs an die Erfüllung der Emissionsminderungsziele aus der Klimaschutzvereinbarung vom November 2000 geknüpft, die Ende 2012 auslief. Seit dem Jahr 2013 müssen für die Gewährung des Spitzenausgleichs zwei neue 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 ab Ende 2015 auch betreibt (KMU können alternative Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Sinne der Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung (SpaEfV) einführen und betreiben, die mit geringeren Anforderungen verbunden sind). Für die Einführungsphase 2013 und 2014 galten vereinfachte Nachweiserfordernisse. Verpflichtende Einsparungen für einzelne Unternehmen sind nicht vorgesehen.
  - 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 % jährlich, und für die Bezugsjahre ab 2016 (Antragsjahre 2018 bis 2022) 1,35 % jährlich. Die Neuregelung des Spitzenausgleichs ist für einen Zeitraum von 10 Jahren angelegt. Im Gesetz ist vorgesehen, dass die Zielwerte für die Antragsjahre 2019 bis 2022 im Zuge einer Evaluation im Jahr 2017 überprüft werden.

Es wird davon ausgegangen, dass von dem Spitzenausgleich derzeit etwa 12.000 Unternehmen profitieren, wobei die Anzahl der antragsstellenden Unternehmen leicht rückläufig ist. Das Volumen des Spitzenausgleichs lag im Jahr 2014 bei ca. 2,1 Milliarden Euro (BMF 2015).

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

Im Rahmen der BesAR werden Unternehmen in strom- und handelsintensiven Branchen mit hohem Stromverbrauch teilweise von der Zahlung der EEG-Umlage befreit. Ziel der BesAR ist der Schutz der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der stromkostenintensiven 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 die entsprechenden Unternehmen, einen Verbrauchs-Schwellenwert von 1 GWh/a überschreiten sowie ein Energiemanagementsystem nachweisen. Dadurch können auch energieintensive Mittelständler von der Regelung Gebrauch machen. 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. Die Zahl der Unternehmen bzw. Unternehmensteile im produzierenden Gewerbe, die teilweise von der Zahlung der EEG-Umlage befreit wurden lag 2016 bei 2.006 und damit 5 Prozent unter dem Wert für 2015 und 3 Prozent unter dem Wert für 2014. Die Zahl der Antragssteller hat sich in den vergangenen Jahren stabilisiert. Auch die teilweise umlagebefreite Strommenge im Produzierenden Gewerbe ist seit 2014 rückläufig. Im Jahr 2016 beliefen sich die Entlastungen der stromintensiven Industrie in Summe auf etwa 4,7 Milliarden Euro.

d) Energieberatung Mittelstand

Kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) wird im Rahmen des BMWi-Programms „Energieberatung Mittelstand“ die Förderung einer unabhängigen Energieberatung angeboten. Qualifizierte Experten identifizieren Potenziale zur Energieeinsparung und erstellen konkrete Maßnahmenvorschläge. Die seit 2015 in Kraft getretene Richtlinie beinhaltet u.a. Anpassungen an EU-Anforderungen für Energie-Audits (EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU). Zeitgleich mit der Novellierung ist die Durchführung des Programms „Energieberatung im Mittelstand“ an das BAFA übergegangen. Darüber hinaus wurden die Zuschüsse für die Energieberatung Mittelstand zum 1. Januar 2015 erhöht und können nun ein Konzept zur Abwärmenutzung enthalten.

e) Mindesteffizienzstandards – EU-Ökodesign-Richtlinie (siehe auch Abschnitt 2.7.1.2 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.

f) Förderprogramm "Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand".

Das Förderprogramm wurde in novellierter Form zum 10. Mai 2016 als Teil des Energie- und Klimafonds 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 Mo-

toren 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 20-30 % gefördert. Für letztere muss die Investitionssumme mindestens 30.000 Euro betragen um förderwürdig zu sein. Die Höhe der Zuwendung beträgt 20-30 % der förderfähigen Investitionen, maximal bis zu 150.000 Euro je Vorhaben.

- g) Förderprogramm zu energieeffizienten und klimaschonenden Produktionsprozessen.  
Unternehmen des Produzierenden Gewerbes können seit Anfang 2014 einen Zuschuss für investive Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in gewerblichen und industriellen Produktionsprozessen erhalten. Dabei werden drei Bereiche unterschieden: die Umstellung von Produktionsprozessen, Abwärmenutzung sowie weitere energetische Optimierungen im Produktionsprozess. Das Programm ist im Januar 2014 gestartet und Teil des Energie- und Klimafonds. Die Höhe der Zuwendung beträgt bis zu 20 % der unmittelbar auf den Umweltschutz bezogenen Investitionskosten (Investitionsmehrkosten). Die maximale Zuwendung ist je Vorhaben auf einen Betrag von 1,5 Mio. Euro begrenzt. Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um eine Förderung beantragen zu können: Investitionsmehrkosten von mindestens 50.000 Euro und spezifische Endenergieeinsparung bei gleichem Produktionsoutput gemessen am Durchschnittsverbrauch der letzten drei Jahre der betrachteten Anlage/des Prozesses von mindestens 5 % und mindestens 100 kg CO<sub>2</sub>-Einsparung pro Jahr im Verhältnis zu 100 Euro Investitionsmehrkosten. Das BMWi hat den Projekträger Karlsruhe beauftragt, das Förderprogramm umzusetzen.
- h) Förderung von Kälte- und Klimaanlagen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI).  
Das Programm bietet finanzielle Zuschüsse für die energetische Optimierung bestehender Anlagen bzw. Anlagenteile, den Neubau hocheffizienter Anlagen sowie Zuschüsse für Komponenten wie Wärmetauscher, Kälte- oder Wärmespeicher oder Kältemittel mit besonders niedrigem „Global Warming Potential (GWP)“. Die Zuschüsse werden seit dem 1. Januar 2017 auf Basis von Festbeträgen gewährt, während sie vorher bei 15-25 % der Nettoinvestitionskosten lag. Die Förderhöchstgrenze beträgt jetzt 150.000 Euro je Vorhaben.
- i) Energieeffizienznetzwerke.  
In Energieeffizienznetzwerken schließen sich Unternehmen zusammen, die sich gemeinsame Energieeffizienz- und CO<sub>2</sub>-Minderungsziele setzen und voneinander lernen wollen. Bisher gibt es in Deutschland etwa 110 solcher Netzwerke, während ein Potenzial von bis zu 700 Netzwerken vorhanden wäre (Fraunhofer ISI et al. 2008, S. 180). Die Förderung von zusätzlichen 40 Energieeffizienznetzwerken im Rahmen der NKI wurde im August 2014 beschlossen. Insgesamt ist das Ziel der Bundesregierung, bis 2020 auf freiwilliger Basis rund 500 Netzwerke zu etablieren, wie im NAPE beschlossen. Die Netzwerke sollen einheitliche Mindestanforderungen erfüllen. Dazu gehören die Durchführung eines Energieaudits auf Unternehmensebene, das Setzen eines Einsparziels auf Netzwerkebene 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.

- j) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up! Strom)\*  
Die wettbewerblichen Ausschreibungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.1 zu übergreifenden Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD berücksichtigt.
- k) Pilotprogramm Einsparzähler\*  
Das Pilotprogramm Einsparzähler wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.1 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 durchzuführen ist. Zur Umsetzung dieser Vorgaben ist das Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G) mit Wirkung zum 22.04.2015 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 und danach mindestens alle vier Jahre ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchzuführen. 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 Abwärmenutzung als Element der „Offensive Abwärme“ in Kraft getreten. Sie umfasst die finanzielle Förderung von Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Nutzung industrieller Abwärme. Die Förderung wird als Tilgungszuschuss in Höhe von bis zu 50 % der förderfähigen Kosten zu einem KfW Darlehen 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. Insgesamt steht bis zum Jahr 2020 ein Fördervolumen von 300 Mio. Euro zur Verfügung.

#### **2.8.4.1.2 Flankierende Instrumente**

- a) 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.

- b) KfW-Programme zur Förderung der Energieeffizienz in Industrie und GHD: KfW-Umweltprogramm, KfW-Energieeffizienzprogramm, BMUB-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben.
- c) Hier ist insbesondere das KfW-Energieeffizienzprogramm hervorzuheben, aus dem im Anschluss an eine „Energieberatung im Mittelstand“ zinsvergünstigte Kredite für die Umsetzung der Energieeinsparinvestitionen vergeben werden.
- d) Freiwillige Produktkennzeichnungen für energiebetriebene Produkte (Blauer Engel, Energy Star, EU-Umweltzeichen)\* (siehe auch Abschnitt 2.7.1.3 zu übergreifenden Instrumenten). Seit 2009 ist Klimaschutz ein Schwerpunkt des Umweltzeichens Blauer Engel. Mittlerweile gibt es für mehr als 60 Produktkategorien entsprechende Vergabekriterien. Diese umfassen alle relevanten Haushaltsgeräte, Unterhaltungselektronik, Informationstechnik bis hin zur unterbrechungsfreien Stromversorgung. Das „Energy-Star-Programm“ stammt aus den USA und umfasst in der EU lediglich Bürogeräte. In beiden Systemen erfolgt keine Unterteilung in Effizienzklassen sondern das jeweilige Zeichen wird für alle Geräte vergeben, die einen festgelegten Mindeststandard erfüllen.
- e) Mittelstandinitiative Energiewende und Klimaschutz.  
Die Mittelstandinitiative ist eine gemeinsame Initiative von BMWi, BMUB, DIHK und ZDH. Sie ist darauf gerichtet, den Dialog zwischen Politik und mittelständischen Unternehmen zu intensivieren, Information und Beratung zu optimieren sowie die Wissensvermittlung, Qualifizierung und den Erfahrungsaustausch zu verbessern.
- f) LED-Leitmarktinitiative\* (siehe auch Abschnitt 2.7.1.3 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.
- g) Förderung Contracting - Ausfallbürgschaften der Bürgschaftsbanken für Contracting-Finanzierungen/Förderprogramm Einsparcontracting.  
Auf Grund der zum Teil langen Abschreibungsdauern bei Energieeffizienzinvestitionen wird von Kreditgebern das Risiko eines Contractingmodells gescheut. Durch die Einbindung von Bürgschaftsbanken in den Contractingmarkt sollen diese Risiken für den Kreditgeber minimiert werden.
- h) Verbesserung der Rahmenbedingungen für Energiedienstleistungen.  
Energiedienstleistungen benötigen einen klaren Rahmen für ihre 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.
- i) Stärkung der Forschung für mehr Energieeffizienz\*.  
Die Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele bis hin zu einer weitgehenden Dekarbonisierung ist nicht ohne weitere intensive Forschung möglich, aus der erst die notwendigen innovativen technischen Lösungen hervorgehen können. Forschung am Innovationsstandort Deutschland ist ein notwendiger Baustein, um die entwickelten Lösungen entwickeln und die Wirtschaftlichkeit heranzuführen und so zur Marktreife zu führen. Die strategische

Weiterentwicklung in diesem Bereich wird auch mit der Gründung des Forschungsnetzwerks „Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe“ unterstützt..

j) Unterstützung der Marktüberwachung

Die Stärkung der Marktüberwachung wird entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.7.1.2 als flankierendes Instrument berücksichtigt.

#### **2.8.4.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

##### **2.8.4.2.1 Finanzielle Anreize**

a) KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung.

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 wird sowohl ein neuer Einstiegsstandard (zehn Prozent Einsparung) als auch ein neuer Premiumstandard (30 Prozent Einsparung) eingeführt. Damit wird die Förderintensität an der Höhe der Energieeinsparung ausgerichtet, unabhängig von der Unternehmensgröße. Angestrebgt wird eine einfache, transparente und einheitliche Nachweisführung der Energieeinsparung. Die Finanzierung des Programms soll wie bisher aus Eigenmitteln der KfW erfolgen. Das hierfür zur Verfügung stehende Darlehensvolumen wird um etwa 70 % auf 2 Mrd. €/a erhöht.

b) Einrichtung eines Innovationsfonds im Rahmen des EU-Emissionshandels zur Förderung von innovativen CO<sub>2</sub>-armen Produktionsprozessen (als erweiterte Nachfolge des NER-300 Programms der 3. Handelsperiode):

Der Vorschlag der EU Kommission vom 15. Juli 2015 zur Revision des Emissionshandels enthält unter anderem die Einrichtung eines Innovationsfonds um die Markteinführung von CO<sub>2</sub>-armen Technologien zu fördern. Demnach soll der Innovationsfonds auch für die Förderung von innovativen Produktionsprozessen in der energieintensiven Industrie genutzt werden können.

c) Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“ der Nationalen Klimaschutzinitiative, wie im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 angekündigt

##### **2.8.4.2.2 Ordnungsrecht**

a) Mindeststandards: Neue Lose\* (EU-Ökodesign-Richtlinie) und Weiterentwicklung der Energieverbrauchskennzeichnung (siehe Abschnitt 2.7.2).

##### **2.8.4.2.3 Sonstige quantifizierte Instrumente**

a) Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems\*

Siehe Beschreibung unter sektorübergreifenden Maßnahmen in Abschnitt 2.7.2.

##### **2.8.4.2.4 Flankierende Instrumente**

a) Beratung zu kommunalen Energie- und Ressourceneffizienznetzwerken.

Mit diesem Programm soll die Gewinnung von Teilnehmern an Energieeffizienznetzwerken von Kommunen, der Aufbau und Betrieb dieser Netzwerke unterstützt und begleitet sowie die Qualitätssicherung gewährleistet werden. Auf Erkenntnissen aus bereits durchgeföhrten Ener-

gieberatungen oder vorliegenden Klimaschutzplänen, wie sie im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert werden, kann bei der Durchführung der Netzwerke aufgebaut werden. Die Richtlinie des Förderprogramms wurde im Dezember 2014 erstmals veröffentlicht. Die Förderung wird seit dem 1. Januar 2017 aus Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des BMUB fortgeführt und wurde zugleich auf Ressourceneffizienznetzwerke erweitert.

- b) 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.

- c) Weiterentwicklung Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz.

Die „Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz“ wird auch nach 2015 weitergeführt. Das dafür vorgesehene Mittelvolumen beläuft sich auf insgesamt rund 5 Mio. Euro. Mit der Weiterführung soll der bereits begonnene Dialog zwischen Politik und den mittelständischen Unternehmen weiter ausgebaut, Information und Beratung optimiert und der Erfahrungsaustausch langfristig gefördert werden. Im Mittelpunkt sollen dabei Informationsaustausche und Aktivitäten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Minderung von Treibhausgasemissionen in mittelständischen Unternehmen stehen.

- d) Energieberatung für landwirtschaftliche Unternehmen.

Das Förderprogramm soll Energieberatungen speziell für landwirtschaftliche Betriebe bezuschussen. Es wird angestrebt, über einen Zeitraum von drei Jahren bis zu 4000 Betriebe mit dieser Initiative zu erreichen.

- e) Energieeffizienz in der Abwasserbehandlung.

Die Richtlinie des BMWi-Förderprogramms zu Energieanalysen in kommunalen Abwasseranlagen wurde im Dezember 2015 erstmals veröffentlicht. Die Förderung wird seit dem 1. Januar 2017 im Rahmen der „Kommunale Netzwerke Richtlinie“ aus Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des BMUB fortgeführt. Die Energieanalysen müssen dabei hinsichtlich der Qualität und des Umfangs der erhobenen Daten, der Beschreibung der vorgeschlagenen Maßnahmen sowie des Abschlussberichts mindestens den Anforderungen des Arbeitsblatts DWA-A 216 „Energiecheck und Energieanalyse-Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“ entsprechen. Zudem müssen sich die Energieanalysen über alle der zum Betrieb der Abwasseranlage erforderlichen Anlagenteile erstrecken. Aufgrund der Ergebnisse des Förderprogramms wird nach drei Jahren gemeinsam mit den Bundesländern geprüft, ob kommunale Abwasseranlagen künftig verpflichtend Energiechecks und -analysen durchführen müssen.

- f) Wiederaufnahme des Bundesprogramms zur Förderung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau.

Das zeitweise ausgesetzte Förderprogramm ist seit dem 1.Januar 2016 wieder aufgenommen

worden. Es ist angestrebt, für eine Periode von drei Jahren je fünf Millionen Euro pro Jahr für das Förderprogramm zur Verfügung zu stellen.

- g) Verabschiedung Verpackungsgesetz und Novellierung Gewerbeabfallverordnung.  
 2016/17 soll der Entwurf eines Verpackungsgesetzes vorgelegt und verabschiedet und die Gewerbeabfallverordnung novelliert werden. Beide Rechtsetzungsvorhaben sollen zu einer Stärkung des Recyclings führen.  
 Mit dem Verpackungsgesetz sollen strengere Quotenvorgaben und ein konsequentes Konzept zu deren Überwachung und Weiterentwicklung eingeführt werden, was zu Steigerungen der Recyclingmengen an Kunststoffen und Metallen führen wird.  
 Ähnliche Effekte wird die Novellierung der Gewerbeabfallabfallverordnung durch Vorgaben für eine striktere Getrenntfassung und die Sortierung und Verwertung von gemischten Gewerbeabfällen bewirken. Mehrere Studien zeigen, dass damit um die Mio. t CO<sub>2</sub>e 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 ProgRess II beschrieben.  
 Durch die Steigerung des Kunststoffrecyclings werden außerdem die Treibhausgasemissionen aus Müllverbrennungsanlagen reduziert.

## 2.8.5 Stromsektor / Energiewirtschaft

### 2.8.5.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

#### 2.8.5.1.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

- a) EU- Emissionshandelssystem: Die EUA-Preise werden analog zur Empfehlung der EU-Kommission angewandt, siehe Abschnitt 2.7.1.1 zu übergreifenden Instrumenten.
- b) EEG  
 Mit der EEG-Novelle des Jahres 2016 werden Ausbaupfade für die wichtigsten erneuerbaren Energieträger definiert. Diese sollen größtenteils durch Ausschreibungen der Förderung erreicht werden, die für Biomasseanlagen (ab einer installierten Leistung von mehr als 150 kW), für Windenergieanlagen an Land und Solaranlagen (jeweils ab einer Leistung von mehr als 750 kW) sowie für Windenergieanlagen auf See eingeführt werden.  
 Der Ausbaupfad für Wind an Land, der auch dem Ausschreibungsvolumen entspricht, beträgt in den Jahren 2017 bis 2019 jeweils 2.800 MW und ab 2020 jährlich 2.900 MW brutto. Die installierte Leistung von Windenergieanlagen auf See soll auf 6.500 MW im Jahr 2020 und auf 15.000 Megawatt im Jahr 2030 steigen. Der jährliche Brutto-Zubau von Solaranlagen soll 2.500 MW betragen, wobei ab 2017 jährlich 600 MW ausgeschrieben werden. Der jährliche Brutto-Zubau von Biomasseanlagen, ist zunächst (2017-2019) mit jährlich 150 MW und 2020-2022 mit jährlich 200 MW vorgesehen.  
 Insgesamt soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch von derzeit rund 32 Prozent auf 40 bis 45 Prozent im Jahr 2025 und auf 55 bis 60 Prozent im Jahr 2035 steigen.
- c) Förderung von KWK-Anlagen:  
 Das KWKG wurde Ende 2015 und Ende 2016 novelliert. Hierbei wurde die Förderung als Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele auf hocheffiziente Erdgasbefeuerte KWK-Anlagen ausgerichtet. KWK-Anlagen, die eine kohlebefeuerte KWK-Anlage ersetzen, erhalten einen Bonus. Bestehende stilllegungsbedrohte Gas-KWK-Anlagen ab 2 MW erhalten eine befristete Förderung bis 2019. Das KWK-Ausbauziel wurde umgestellt auf eine Mindesterzeugung von 110 TWh der jährlichen Nettostromerzeugung bis 2020 und 120 TWh bis 2025. Die

Versorgung durch KWK-Anlagen in Objekten und Quartieren wird weiterhin durch KWK-Zuschläge, deren Höhe leistungsabhängig gestuft ist, gefördert. Die Fördersätze für neue und modernisierte Gas-KWK-Anlagen wurden insgesamt deutlich erhöht, das Fördervolumen wurde von 750 Mio. € auf 1,5 Mrd. €/Jahr erhöht. Insgesamt ist das novellierte KWKG die wichtigste Fördermaßnahme für die Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland. Das KWKG wird für kleine Anlagen im Rahmen der NKI durch die „Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW<sub>el</sub> (Mini-KWK-Richtlinie)“ in der Fassung vom 15. Dezember 2014 flankiert. Für die genaue Parametrisierung des Zubaus von KWK-Anlagen vergleiche Abschnitt 3.1.7.

#### **2.8.5.1.2 Ordnungsrecht**

##### **a) 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 CO<sub>2</sub>). Die Stilllegung der betroffenen Kraftwerksblöcke wird im MMS berücksichtigt.

#### **2.8.5.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

##### **2.8.5.2.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung**

##### **a) Weitgehende Dekarbonisierung der Stromerzeugung**

Vor dem Hintergrund der nationalen, europäischen und internationalen Klimaschutzziele sollten Investitionen in fossile Strukturen reduziert werden. Deshalb wird im MWMS unterstellt, dass Investitionen in lebensdauerverlängernde Maßnahmen bei älteren KWK-Kraftwerken vermieden werden. Die reduzierte Erzeugung aus Stein- und Braunkohlekraftwerken wird, soweit sie nicht durch die höhere KWK-Erzeugung kompensiert wird, durch einen zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien ausgeglichen. Zur konkreten Ausgestaltung, vergleiche Abschnitt 3.1.7.

#### **2.8.6 Industrieprozesse und Produktverwendung (CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen)**

##### **2.8.6.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

Anfang 2013 wurden eine Reihe von N<sub>2</sub>O-Punktquellen in das europäische Emissionshandelssystem einbezogen (Adipin- und Salpetersäureproduktion, Herstellung von Glyoxal und Glyoxylsäure). Dies hat bereits seit 2010 zu deutlichen Emissionsminderungsmaßnahmen geführt. Für die Zukunft wird der im Jahr 2014 erreichte spezifische Emissionsfaktor fortgeschrieben.

##### **2.8.6.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

Keine zusätzlichen Maßnahmen, die direkt auf die CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen abzielen.

#### **2.8.7 Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase)**

##### **2.8.7.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

- a) EU F-Gas-Verordnung 517/2014, inkl. HFKW Phase-down (bis 2030) und Verbote
- b) Chemikalien-Klimaschutzverordnung;
- c) MAC-Richtlinie 2006/40/EG (Mobile air conditioning)
- d) FKW aus Primär-Aluminium im EU ETS
- e) Selbstverpflichtung deutscher Schaltanlagenhersteller, -nutzer und SF<sub>6</sub>-Produzenten zu SF<sub>6</sub>-Emissionsbegrenzungsmaßnahmen bei elektrischen Betriebsmitteln.

- f) „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“ der Nationalen Klimaschutzinitiative;

#### **2.8.7.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

- a) Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“ der Nationalen Klimaschutzinitiative, wie im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 angekündigt
- b) Begleitmaßnahmen zur F-Gas VO aus dem Aktionsprogramm Klimaschutz:
  - Kompetenz- und Beratungsstelle für natürliche Kältemittel
  - Unterstützung von Handwerk/KMU beim Einstieg in natürliche Kältemittel
  - Handlungsleitfaden zum Einsatz von Kohlenwasserstoffen in Wärmepumpen
  - Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Fahrzeugklimatisierung (Busse, LKW, Bahnfahrzeuge), Förderung von Busklimaanlagen mit CO<sub>2</sub> als alternativem Kältemittel
  - Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Transportkälte und in stationären Kälte- und Klimaanlagen

### **2.8.8 Landwirtschaft**

#### **2.8.8.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

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 aber auch Entscheidungen aus der Ressourcen- und Energiepolitik, die beeinflussen, in welchem Maße die Stoff- und Energienutzung von Anbauprodukten und Reststoffen aus der Landwirtschaft stattfindet – mit konkreten Auswirkungen auf die Flächennutzung und auf die Emissionen in diesem Sektor. Wichtige Elemente der Umsetzung der GAP in Deutschland sind die Beibehaltung entkoppelter Direktzahlungen<sup>15</sup>. Von den seit 2015 erweiterten Möglichkeiten der GAP für an die Tierzahl gekoppelte Prämienzahlungen z.B. für Mutterkuh- und Schafhaltung wird in Deutschland kein Gebrauch gemacht.

Für die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft wird die vom Johann Heinrich von Thünen-Institut (Offermann 2016) erstellte Projektion von 2015 bis 2025 übernommen (Thünen-Baseline). Diese wurde bis 2035 erweitert. Die Thünen-Baseline berücksichtigt die oben genannte Beibehaltung entkoppelter Direktzahlungen der sogenannten ersten Säule der GAP, das Auslaufen der Milchquotenregelung im Jahr 2015 und eine daraus resultierende Ausdehnung der Milchproduktion. Die Berechnungen für die Quellgruppe Landwirtschaft erfolgen mit dem für die Emissionsberichterstattung eingesetzten Modell GAS-EM des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz.

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 bestehenden Dauergrünlands,
2. Anbaudiversifizierung und

---

<sup>15</sup> Die flächenbezogenen Direktzahlungen der ersten Säule der EU-Agrarpolitik sind von der landwirtschaftlichen Produktion entkoppelt. Sie werden auch für stillgelegte landwirtschaftliche Nutzflächen gezahlt, auf denen keine Produktion stattfindet. Weiterhin gibt es in der GAP die Option, Tier-bezogene Prämien auszuzahlen. Diese Option wird in Deutschland nicht angewendet.

3. Ausweisung einer Flächennutzung im Umweltinteresse („ökologischen Vorrangflächen“) auf zuerst 5 % der Ackerfläche (dazu zählen Landschaftselemente, Pufferstreifen, aber auch der Anbau von Leguminosen und Zwischenfrüchten etc.).

Das Greening wird nach der nationalen Umsetzung der GAP-Reform ab 1. Januar 2015 angewendet. Der Erhalt von Dauergrünland ist die Greening-Anforderung mit der direktesten Auswirkung auf den Treibhausgasausstoß der Landwirtschaft. Die Wirkungen werden in der Quellgruppe LULUCF berichtet, siehe nachfolgendes Kapitel. 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). Die Einrichtung „ökologischer Vorrangflächen“ zielt vorrangig auf den Erhalt der Biodiversität ab.

Neben den Direktzahlungen der ersten Säule werden in der zweiten Säule der Agrarpolitik Maßnahmenprogramme der Bundesländer aus Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) kofinanziert. Die bisherigen ELER-finanzierten Agrarumweltmaßnahmen werden als „Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen“ fortgeführt, und der ökologische Landbau wird künftig über eine eigene ELER-Maßnahme gefördert. Die von den Bundesländern programmierten, neuen ELER-Programme<sup>16</sup> zur Förderung der ländlichen Entwicklung wurden im Laufe des Jahres 2014 erst nach und nach durch die EU-Kommission notifiziert. Für die Senkung der direkten THG-Emissionen in der nationalen Quellgruppe Landwirtschaft relevante Maßnahmen sind u. a. die Reduzierung des Einsatzes mineralischer Stickstoffdünger durch Ökologischen Landbau oder die Grünlandextensivierung und -erhaltung relevant.

#### **2.8.8.1.1 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 % des gesamten Wirtschaftsdüngeraufkommens angenommen. Danach wird dieser Anteil bis 2035 konstant fortgeschrieben. Der angenommene Zubau basiert auf EEG 2016, § 4 (4) und § 28 (3). Biogasanlagen, die auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen (Energiepflanzen wie Silomais) betrieben werden, gehen annahmegemäß nach 20 Jahren technischer Lebensdauer aus dem Bestand. Dadurch verringert sich die Menge an pflanzlichen Gärsubstraten nach 2025. 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 2016a) ist ein Flächenanteil von 20 % ökologischer Landbau an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Im nationalen Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) wird die Förderung des ökologischen Landbaus in der Periode 2014–2017 angehoben. Durchschnittlich beträgt der Anstieg der Förderung ca. 20 %. Die einzelnen Bundesländer können die EU-Fördersätze weiter anheben. BMEL hat am 15. Februar 2017 eine Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau vorgestellt, um den Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche im Sinne der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie zu erhöhen.

<sup>16</sup> Über den Europäischen Landwirtschaftsfond wird die Entwicklung des ländlichen Raumes gefördert. Ziele der ELER Programme sind die Förderung von Innovationen, Wettbewerbsfähigkeit, Erhaltung von Ökosystemen, Ressourceneffizienz und die soziale und wirtschaftliche Entwicklung in ländlichen Räumen.

hen. Der Ausbau des Flächenanteils des ökologischen Landbaus trägt in erster Linie durch den Verzicht auf Stickstoff-Mineraldünger zur Minderung der Lachgasemissionen aus der Mineraldüngung bei

### **2.8.8.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

#### **2.8.8.2.1 Ordnungsrecht**

- a) Die geplante Novelle der Düngeverordnung wird wie im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 vorgesehen beschlossen und umgesetzt. Die Novelle umfasst neue bzw. erhöhte Anforderungen in den Bereichen Düneplanung, 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. Zwischen 2028 und 2032 soll der Stickstoffüberschuss in der Gesamtbilanz auf 70 kg N/ha verringert werden. Bis 2050 soll eine weitere deutliche Verringerung erreicht werden. Es wird angenommen, dass die Steigerung der Stickstoffausnutzung und die Begrenzung der N-Salden zu einer Senkung der Stickstoff-Mineraldüngung um ca. 20 % gegenüber den Jahren 2010 bis 2014 führen. Dies hat eine Verminderung der Lachgasemissionen aus der Düngung zur Folge.
- b) In der Fortschreibung der NEC-Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe (NERC-Richtlinie) ist eine Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen ggü. 2005 um 29 % bis 2030 vorgesehen. Dadurch vermindern sich auch die indirekten Lachgasemissionen aus Stickstoffdepositionen. Diese Reduzierung ist nur durch die konsequente Umsetzung verschiedener Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der NH<sub>3</sub>-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.. Die Vermeidung gasförmiger N-Verluste ermöglicht gleichzeitig die Einsparung von Mineraldüngern (vgl. ordnungsrechtliche Maßnahme a).

### **2.8.9 LULUCF**

In der Quellgruppe LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) traten im Jahr 2014 im Saldo über alle Landnutzungen Netto-Kohlenstofffestlegungen in Höhe von ca. 15,0 Mt CO<sub>2</sub>e auf. In den Kategorien Ackernutzung, Grünlandnutzung, Siedlungen und Feuchtgebiete entstanden Netto-Emissionen in Höhe von zusammen 45,1 Mt CO<sub>2</sub>e. 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 gut 60,1 Mt CO<sub>2</sub>e pro Jahr an Kohlenstoffvorräten aufgebaut (in Wäldern 57,8 Mio. t, in Holzprodukten 2,3 Mio. t). Maßnahmen im LULUCF-Sektor adressieren die Umwandlung von Ackerland in Grünland und den Erhalt von Wald als Senke. Darüber hinaus ist in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel festgelegt, die Inan-

spruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke bis zum Jahr 2030 auf unter 30 ha pro Tag zu begrenzen (Bundesregierung 2016a).

#### **2.8.9.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

- a) Begrenzung der Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke bis zum Jahr 2030 auf unter 30 ha pro Tag durch nachhaltiges Flächenmanagement, danach weitere Abnahme.
- b) Die Erhaltung von Dauergrünland ist eine Maßnahme im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Die Umsetzung der im Rahmen der GAP-Reform eingeführten Greening-Auflagen zur Grünlandunterhaltung wird in Deutschland besonders anspruchsvoll umgesetzt. Nach der bis zum Jahr 2020 geltenden Regelung dürfen Betriebe, die Direktzahlungen erhalten und den Greening-Auflagen unterliegen, bestehendes Dauergrünland in FFH-Gebieten (umweltsensibles Dauergrünland) nicht pflügen und nicht umwandeln. Das übrige, nicht als umweltsensibel definierte Dauergrünland darf in der Regel nur mit einer behördlichen Genehmigung umgewandelt werden, wenn eine gleich große Ersatzfläche nachgewiesen wird, auf der neues Dauergrünland etabliert werden muss. Die Erhaltung des Dauergrünlands wird zudem durch Regelungen einer Reihe von Bundesländern unterstützt. Es wird die Annahme der Fortschreibung des bestehenden Grünlandschutzes getroffen sowie die Annahme, dass die Umsetzung des Greening weitere Umwandlungen von Dauergrünland in Ackerland verhindert. Die Entwicklung für die Zeit nach dem Jahr 2020 ist in Anbetracht des derzeit spekulativen Charakters von Annahmen zur Ausgestaltung der GAP nach 2020 schwer zu prognostizieren. Für die Berechnungen wird angenommen, dass die Grünlanderhaltung auch über das Jahr 2020 und damit 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 aktuellsten, am Thünen-Institut vorliegenden Daten und Berechnungen analysiert, inwieweit Wald und Holzprodukte in Deutschland weiterhin eine Kohlenstoffsenke bleiben. Es wird angenommen, dass sich die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Waldnutzung nicht ändern. Dabei wird entsprechend der durch Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) beschriebenen Methodik unterstellt, dass sich die Nutzungsstruktur bei den Holzprodukten nicht ändert.

#### **2.8.9.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

Es gibt keine über das MMS hinausgehenden Maßnahmen im LULUCF Sektor.

### **2.8.10 Abfallwirtschaft**

Vorbemerkung: Hier werden nur Maßnahmen beschrieben, die nicht-energetische Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft adressieren. Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs und/oder der energiebedingten Treibhausgasmissionen der Abfallwirtschaft sind entsprechend der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars in den Abschnitten 2.8.1 bis 2.8.5 beschrieben.

#### **2.8.10.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

Die entscheidenden maßgeblichen regulatorischen Rahmenbedingungen für den Abfallsektor waren seit 1993 das Wirken der TA Siedlungsabfall (TASi), die Regelungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) ab 1996. Die relevanten rechtlichen Regelungen entstammen insbesondere der Abfallablagerungsverordnung (AbfAblV) von 2001, die ab Juni 2005 die Ablagerung unbehandelter Abfälle (und damit der für die Ausgasung von Methan verantwortlichen organischen Stoffe) weitgehend unterbinden und die eine anderweitige Entsorgung vorrangig im Wege der Verbrennung thermischen oder biologisch-mechanischen Abfallbehandlung erfordern. Die Regelungen der Abfallablage-

rungsverordnung sind 2009 in die Deponieverordnung eingeflossen, die auch die diesbezüglichen Regelungen der TASi ersetzt.

Am 30.03.2011 hat die Bundesregierung die Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes beschlossen. Das Gesetz ist am 1. Juni 2012 in Kraft getreten. Hierbei wird dem Recycling eine höhere Bedeutung als der energetischen Verwertung beigemessen; bis 2020 sollen 65 % aller Siedlungsabfälle recycelt werden. Seit 01.01.2015 sind nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz überlassungspflichtige Bioabfälle (aus Haushaltungen) flächendeckend getrennt zu erfassen und zu verwerten. Seit 2015 haben zahlreiche Kreise die getrennte Bioabfallerfassung und -verwertung neu eingeführt. Eine vollständige Getrenntfassung ist jedoch noch nicht durchgesetzt. Bislang sind ca. 55 % der Einwohner Deutschlands an die getrennte Bioabfallerfassung angeschlossen.

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 beschrieben, insbesondere durch intensivere Information und Motivation der betroffenen Akteure sowie Erhöhung der maximalen Zuwendung, konnte die Beteiligung am Programm von 3 Deponien im Jahr von 2013 bis zum Jahr 2016 auf insgesamt 19 gestartete und 29 bewilligte Projekte gesteigert werden. Das Ziel in den Jahren 2015 bis 2018 insgesamt etwa 120, insbesondere größere Deponien einer Belüftung zuzuführen, kann nach heutigem Stand wahrscheinlich nicht erreicht werden. Die Belüftungsdauer je Maßnahme beträgt zwischen 1 und 5 Jahren<sup>17</sup>. Die Weiterführung des Programms über das Jahr 2018 hinaus ist noch nicht entschieden. Innerhalb der Mit-Maßnahmen-Szenarien werden die letzten Belüftungsmaßnahmen 2018 beginnen. Es wird angenommen, dass die Maßnahmen 2023 abgeschlossen sein werden. Die erreichten Reduktionen werden dann im Deponiegasmmodell auf den Betrachtungszeitraum gleichmäßig verteilt.

#### **2.8.10.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario**

Bezüglich der Deponiebelüftung wird im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario der Effekt einer Verlängerung des Förderprogramms zur Deponiebelüftung über das Jahr 2018 hinaus geprüft.

Im Aktionsprogramm sind im Abfallbereich außerdem Maßnahmen zur Steigerung des Recyclings und der Abfallvermeidung vorgesehen, die sich jedoch nicht auf die Klimagasemissionen im Sektor Abfall auswirken werden, sondern in den Sektoren Energie und Industrie, wenn aufgrund zunehmender Anteile beim Recycling weniger Abfälle verbrannt werden und weniger Neuprodukte hergestellt werden müssen. Im Bereich der Industrie werden allerdings große Anteile der Einsparungen außerhalb von Deutschland erfolgen. Denkbare Treibhausgaseinsparungen durch allgemeine Programme zur Abfallvermeidung können nicht quantifiziert werden. Nach heutigem Stand sind die im Aktionsprogramm genannten Maßnahmen wie folgt einzuschätzen:

- a) Umsetzung des Abfallvermeidungsprogramms 2013, Prüfung von Indikatoren und der Vorgabe von qualitativen Zielen sowie von Maßnahmen zur Wiederverwendung von Elektrogeräten und Sperrmüll  
An der Umsetzung des Abfallvermeidungsprogramms wird auf unterschiedlichsten Ebenen gearbeitet und geforscht. Es wurden bisher keine Maßnahmen geplant oder in die Wege geleitet, die die Ableitung konkreter Klimaschutzpotenziale ermöglichen.
- b) Weiterentwicklung der Verpackungsverordnung zu einem Verpackungsgesetz  
Das Verpackungsgesetz kann voraussichtlich noch in dieser Legislaturperiode verabschiedet

---

<sup>17</sup> vgl. hierzu: Wolfgang Butz: Fachtagung Bio- und Deponiegas am 19./20.04.2016 „Förderung von Klimaschutzprojekten auf Deponiendurch die nationale Klimaschutzinitiative (NKI)“ Lübeck 2016 und Wolfgang Butz, persönliche Mitteilung Juli, 2016

werden. Für die Berechnungen im MWM-Szenario wird der zum Zeitpunkt der Berechnungen aktuellste Stand des Verpackungsgesetzes ausgewertet und den Bilanzen zugrunde gelegt.

- c) Novellierung der Gewerbeabfallverordnung, inklusive stringenteren Getrennterfassungspflichten, Vorbehandlungsgebot für Siedlungsabfälle sowie Anforderungen an Sortieranlagen  
Die Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung- GewAbfV) wurde am 22.2.2017 vom Bundeskabinett endgültig beschlossen. Nach Beschlussfassung durch den Deutschen Bundestag Ende März 2017, kann die Verordnung am 1. August 2017 in Kraft treten. In der Verordnung werden insbesondere die Anforderungen der fünfstufigen Abfallhierarchie umgesetzt, eine verstärkte Getrennterfassung von Wertstoffen und eine Vorbehandlungspflicht für Abfallgemische konkretisiert sowie Vorgaben an Vorbehandlungsanlagen vorgeschrieben. Eine Konsequenz daraus wird sein, dass der Anteil der Gewerbeabfälle die einem Recycling zugeführt werden, zukünftig gesteigert wird.
- d) Maßnahmen zur Förderung der mehrfachen Verwendbarkeit, der technischen Langlebigkeit sowie zur Wiederverwendung und gemeinschaftlichen Nutzung von Produkten; Unterstützung von gesellschaftlichen Initiativen hierzu  
Die Effekte dieser Maßnahmen auf den Klimaschutz können nicht quantifiziert werden.

### 3 Quantifizierung der Wirkungen der Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz

#### 3.1 Sektorale Projektionen

##### 3.1.1 Methodische Vorbemerkungen zur Quantifizierung der sektorübergreifenden Maßnahmen

Wie in Kapitel 2.7 beschrieben, erfolgt die Quantifizierung der sektorübergreifenden Maßnahmen grundsätzlich in den Sektoren, die von diesen Maßnahmen jeweils adressiert werden. Die Instrumente des Ordnungsrechts (EU Öko-Design- und Energielabel-Richtlinien) und der Preissteuerung (Ökologische Steuerreform) können dabei direkt über die jeweiligen Sektormodelle quantifiziert werden. Für neue marktorientierte Instrumente wie die wettbewerbliche Ausschreibung und die im MWMS berücksichtigte mögliche Einführung von Weißen Zertifikaten ist dies methodisch nicht möglich, da die Auswahl der im Rahmen dieser Instrumente durchgeführten Energieeffizienzmaßnahmen im Vorhinein nicht bekannt ist. Für eine ex-ante-Abschätzung der Wirkung dieser Instrumente sind daher vorab Annahmen über die sektorale Verteilung der Einsparungen und die innerhalb der Sektoren durchgeführten Energieeffizienzmaßnahmen erforderlich.

Für die Abschätzung der Gesamtwirkung der Maßnahme „Wettbewerbliche Ausschreibungen“ im MMS wird auf die aktuellen Wirkungsabschätzungen bis 2020 von Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2017) für den Klimaschutzbericht 2016 der Bundesregierung zurückgegriffen. Diese Wirkungen werden bis 2035 fortgeschrieben. Die Aufteilung auf die Sektoren erfolgt unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Einsparpotenziale, die in diesen Sektoren durch die genannten Maßnahmen jeweils adressiert werden können (zur Methodik dazu siehe Fraunhofer ISI et al. 2012, Fraunhofer ISI 2014a).

Für die Abschätzung der Wirkung einer möglichen Einführung eines „Weiße-Zertifikate“-Systems in Deutschland wird auf mehrere Vorarbeiten aus den letzten Jahren und die dort verwendeten Quantifizierungsansätze zurückgegriffen (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2012, Fraunhofer ISI et al. 2012, Fraunhofer ISI 2014a, Fraunhofer ISI et al. 2014). Es wird angenommen, dass durch eine Verpflichtung zusätzlich maximal 0,15 %/a des nationalen EED-Artikel 7 Zielen (entsprechend 73 PJ neue jährliche Einsparung) als zusätzliche Einsparungen erzielt werden. Dies entspräche einer neuen jährlichen Einsparung von rund 11 PJ, die – bei einem langsameren Anlauf ab 2021 – ab 2023 erzielt würde. Die Aufteilung dieser Einsparungen auf die Sektoren erfolgt unter Berücksichtigung der im MWMS jeweils noch verfügbaren wirtschaftlichen Einsparpotenziale. Die größten noch nicht durch andere Maßnahmen adressierten Einsparpotenziale finden sich danach in der Industrie.

Tabelle 3-1: Abschätzung der Gesamtwirkung übergeordneter Instrumente im MMS und MWMS und Zuordnung auf einzelne Sektoren (angegeben ist wie in den nachfolgenden sektoralen Tabellen die kumulierte Einsparung im jeweiligen Jahr; in PJ)

Jahr	2020	2025	2030	2035
Alle Angaben in PJ <sup>1)</sup>				
<b>Wettbewerbliche Ausschreibungen (MMS)</b>				
Private Haushalte – Strom	2,3	4,5	5,9	5,9
Industrie	3,0	6,0	7,8	7,8
GHD	2,3	4,5	5,9	5,9
<b>Wettbewerbliche Ausschreibungen (MWMS)</b>				
Industrie	7,5	15,0	19,5	19,5
<b>Weiße-Zertifikate-System (MWMS)</b>				

Jahr	2020	2025	2030	2035
Gebäude	0	8,6	21,7	26,3
Private Haushalte – Strom	0	4,3	10,9	13,2
Industrie	0	25,7	65,1	79,0
GHD	0	4,3	10,9	13,2

<sup>1)</sup> Da die hier angegebenen Einsparungen sowohl Strom- als auch Brennstoffeinsparungen enthalten, werden sie an dieser Stelle einheitlich in der Einheit [PJ] ausgewiesen. In den sektoralen Tabellen erfolgt die Ausweisung der Einsparungen getrennt für Strom (in der Einheit TWh) und Brennstoffe (in der Einheit PJ).

Quellen: Abschätzungen Fraunhofer ISI und Öko-Institut basierend auf Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2012; Fraunhofer ISI et al. 2012, Fraunhofer ISI 2014a; Fraunhofer ISI et al. 2014; Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2017)

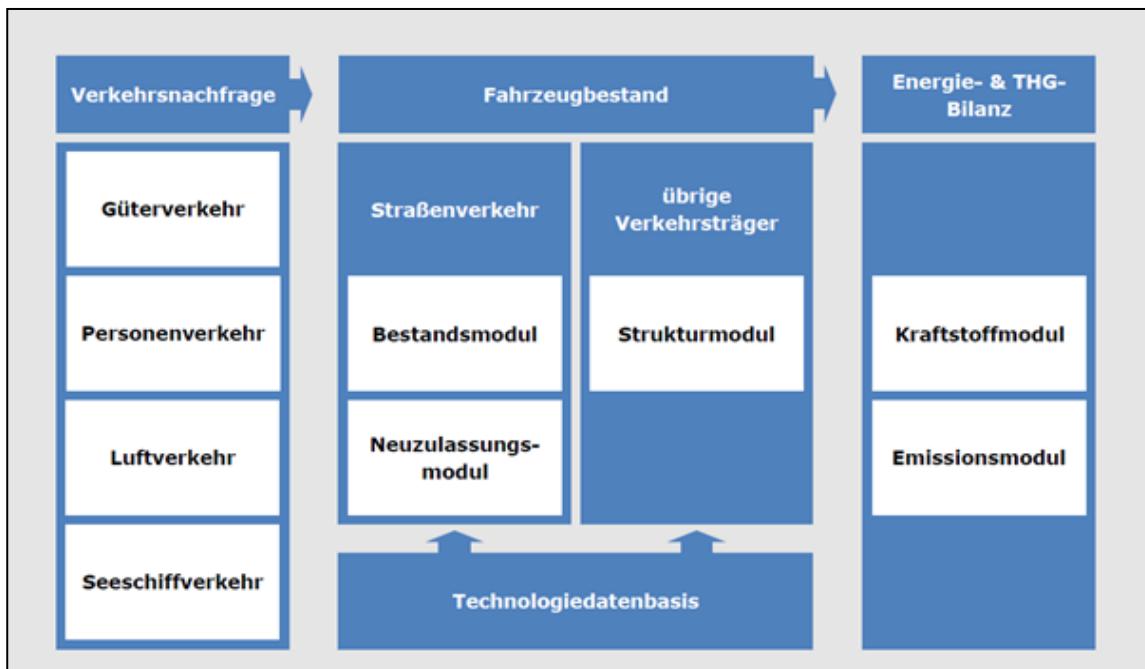
### 3.1.2 Verkehr

#### 3.1.2.1 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 TEMPS<sup>18</sup>-Modell, welches in mehreren Projekten angewendet und weiterentwickelt wurde. Die Verkehrsnachfrage für das MMS wurde aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 übernommen und bis 2035 fortgeschrieben. Weitere Eingabedaten basieren auf TREMOD (Knörr et al. 2014) sowie der Technologiedatenbank aus der vom Öko-Institut angefertigten Studie eMobil 2050 (Öko-Institut 2014b). Das am Öko-Institut entwickelte Modell 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 3-1). Alle Entwicklungen können dabei von 2010 in jahresfeinen Schritten bis 2050 modelliert werden, wobei diese Studie auf den Zeitraum bis 2035 begrenzt wird.

<sup>18</sup> TEMPS – Transport Emissions and Policy Scenarios

Abbildung 3-1: Flussdiagramm zum TEMPS-Modell



Quelle: Öko-Institut

Die Komponente *Fahrzeugbestand* des TEMPS-Modells dient dazu, die Technologie- und Effizienzentswicklung der Verkehrsträger abzubilden. Dies erfolgt aufgrund der Dominanz des Straßenverkehrs bei Pkw, Lkw und Bussen detailliert auf Fahrzeugebene; 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 als Grundlage. Die Fortschreibung der Effizienzentswicklung 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 analog zu TREMOD eine Kalibrierung auf die im ZSE hinterlegten Werte des Endenergieverbrauchs durchgeführt. Die somit ermittelten Kalibrierungsfaktoren werden ebenfalls analog zu TREMOD 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 Aktivitätsraten<sup>19</sup>) werden dem nationalen Verkehr folgende Bereiche zugeordnet: Ziviler inländischer Flugverkehr, Straßen- und Schienenverkehr, Binnen- und Küstenschifffahrt sowie Pipelinetransport. Der internationale zivile Flugverkehr und die internationale Seeschifffahrt sind nur nachrichtlich als sogenannte „memo items“ enthalten. Land- und forstwirtschaftlicher Verkehr ist in der Quellgruppe Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei enthalten und der bauwirtschaftliche

<sup>19</sup> Im Treibhausgasinventar wird nicht von Energieverbräuchen gesprochen sondern allgemeiner von Aktivitätsraten.

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.<sup>20</sup>

- In der *Energiebilanz* sind im Endenergieverbrauch des Verkehrs der zivile Flugverkehr (Kerosinabsatz in Deutschland), der Straßen- und Schienenverkehr sowie Binnen- und Küstenschiffahrt enthalten. Hochseebunkerungen der internationalen Seeschifffahrt sind weder im Endenergie- noch im Primärenergieverbrauch enthalten.<sup>21</sup> 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 nichtenergetischer 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 CO<sub>2</sub> Emissionen erfolgt in TEMPS in zwei unterschiedlichen Varianten. Die erste Variante berechnet die Emissionen gemäß der Inventarlogik. Das heißt Stromverbräuche und Biokraftstoffe werden mit Null bewertet. Es werden keine Vorkettenemissionen betrachtet. Die zweite Variante berücksichtigt Vorkettenemissionen (durch z.B. Stromerzeugung).

### 3.1.2.2 Annahmen und Parameter im MMS

In diesem Abschnitt wird auf die konkrete Modellierung und die dafür getroffenen Annahmen der Maßnahmenwirkung der einzelnen in Kapitel 2.8.2 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 übernommen.

#### a) Ausweitung Lkw-Maut

Quantifiziert wird der Effekt der Ausdehnung der Lkw-Maut auf weitere ca. 1.100 km vierspurige Bundesstraßen und auf Fahrzeuge ab 7,5 t zGG (gegenüber einer hypothetischen Situation ohne Mautausweitung) ab 2016 mit zunehmender Wirkmächtigkeit, bis 2020 die volle Wirkung der Maßnahme zum Tragen kommt.

<sup>20</sup> Die Zuordnung der Schmierstoffe zum Verkehr ist notwendig, da Schmierstoffe (zumindest teilweise) in den Motoren mitverbrannt werden und folglich auch Emissionen entstehen.

<sup>21</sup> Energieverbräuche der Seeschifffahrt (Hochseebunkerungen) sind in der Energiebilanz zwar im Energieaufkommen enthalten, tragen aber (ebenso wie Ausfuhr und Bestandsaufstockungen) nicht zum Primärenergieverbrauch bei.

Es werden die Mautsätze für 2017 aus dem aktuellen Wegekostengutachten sowie der ersten und zweiten Ergänzung zu Grunde gelegt (siehe Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Angenommene Mautsätze in ct / km im MMS

	Lkw > 7,5t zGG	Lkw < 7,5t zGG
Mautpflichtiges Netz 2016	13,6	0

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

Die Wirkung der Maut wird über die Wirkung der Änderung der Wegekosten auf die Nachfrage über Preiselastizitäten abgebildet. Im Güterverkehr sind Elastizitäten aus de Jong et al. (2010) entnommen. Für Änderungen der Wegekosten im Straßengüterverkehr wird dort an Hand 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. Unter der Annahme einer gleichen Verteilung der Verlagerungswirkung auf Schiene und Binnenschiff, wird in dieser Studie für den Schienengüterverkehr und die Binnenschifffahrt jeweils mit einer Kreuzelastizität von 0,15 auf Wegekostenänderungen im Straßengüterverkehr gerechnet.

### 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 (24 %) auch ohne Förderung angeschafft worden wäre. Dabei fällt der Mitnahmeeffekt bei Plug-in-Fahrzeugen mit 28 % höher aus als bei den BEVs mit 20 %. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass bei 25 % der Fahrzeuge die Einführung der Kaufprämie keine Wirkung auf den tatsächlich gezahlten Kaufpreis durch die Nutzer hat (wie beim Renault Zoe). So ergibt sich, dass insgesamt 57 % der geförderten Fahrzeuge zusätzlich angeschafft werden. Die Neuzulassungen wurden mit dem Neuzulassungsmodell TEMPS des Öko-Instituts berechnet (siehe Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Berechnungen des TEMPS-Modells

Jahr	2016	2017	2018	2019	gesamt
Anzahl geförderter Pkw	12.570	92.468	134.280	95.741	335.229
davon EV, zusätzlich	3.652	33.150	45.687	30.952	113.441
davon PHEV, zusätzlich	2.324	21.139	30.174	19.572	73.209

Quelle: Berechnungen mit dem TEMPS-Modell vom Öko-Institut

In Tabelle 3-4 werden die in der 1. Quantifizierungsrunde des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 angenommen Neuzulassungen nach einer Bottom-Up Schätzung gegenübergestellt.

Tabelle 3-4: Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Bottom-Up Schätzung (zum Vergleich)

Jahr	2016	2017	2018	2019	gesamt
Anzahl geförderter Pkw	10.971	105.154	150.611	61.870	328.605

Jahr	2016	2017	2018	2019	gesamt
davon EV, zusätzlich	4.022	38.553	55.220	22.684	120.479
davon PHEV, zusätzlich	2.149	20.596	29.499	12.118	64.361

Quelle: Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2017

Als flankierend werden die Maßnahmen zur Beschaffung in der Bundesregierung, der Nationale Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, sowie die steuerlichen Vergünstigungen gesehen.

### c) Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs

Die Erhöhung (um rund 0,8 Mrd. Euro im Jahr 2016) und stärkere Dynamisierung (jährliche Erhöhung um 1,8 % statt 1,5 %) der Regionalisierungsmittel wird gegenüber der vorher gültigen Situation bewertet und die Effekte quantifiziert.

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 (2016) 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 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) betrugen 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 1,9 %. Weiterhin wird angenommen, dass 80 % der zusätzlichen Verkehrsleistung im ÖPNV vom MIV verlagert sind. Daher kommt es dort zu einer Reduktion der Verkehrsleistung um 0,2 % bezogen auf die gesamte Verkehrsleistung im MIV. Die übrigen 20 % sind 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.

### d) Förderung Schienenverkehr: Sofortprogramm Seehafenhinterlandverkehr II Förderung Schienenverkehr: Sofortprogramm Seehafenhinterlandverkehr II

Die Maßnahmenblätter der Einzelprojekte enthalten im Gegensatz zu den Projekten z.B. im BVWP keine Ausführungen über die gesamtverkehrlichen Wirkungen der Projekte. Es wird dargestellt welche lokalen Kapazitätssteigerungen erreicht werden.<sup>22</sup> Dies gibt allerdings keinen Aufschluss über die systemischen Verlagerungspotentiale, welche im Projektionsbericht bewertet werden. Die Verlagerungswirkungen werden daher über eine vergleichende Investitionsanalyse berechnet. Die Wirkung der Maßnahme wird über die geplanten Mittel bewertet. Hierzu wird eine Annahme über das Verlagerungspotential pro Euro benötigt. Es wurden Projekte des aktuellen Bundesverkehrswegeplans (BVWP) ausgewertet, welche mit der höchsten Dringlichkeit klassifiziert sind (VB-E: vordringlicher Bedarf - Engpassbeseitigung). Es zeigt sich eine Streuung des Verlagerungspotentials zwischen 0,17 - 1,04 €/tkm/a, wobei die Kosten pro Verlagerung der Projekte, welche ausschließlich dem Güterverkehr gewidmet sind mit 0,205 €/tkm/a deutlich niedriger sind als die der Mischprojekte. Das daraus

<sup>22</sup> z.B. 5 Zugpaare pro Tag auf einem Streckenabschnitt oder 90.000 LE / Jahr einer Umschlagsanlage

folgende Verlagerungspotential wird über die spezifischen CO<sub>2</sub> Emissionen von Straßen- und Schienengüterverkehr der relevanten Jahre aus TREMOD bewertet und die CO<sub>2</sub> Minderungen berechnet.

Es wird unterstellt, dass sich die den Investitionen folgende Verlagerungswirkung im jeweiligen Folgejahr manifestiert. Die Kosten für eine Verlagerung werden mit 0,205 €/tkm/a angesetzt, d.h. das Verlagerungspotential pro Investition beläuft sich auf auf 4,87 tkm/a/€. Im MMS wird die bewilligte 1. Tranche des SHHV II bewertet. Die Berechnung der Verlagerungspotentiale erfolgt aufgrund der vorliegenden Haushaltsplanung (Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Angenommene Haushaltsausgaben für den SHHV im MMS

Jahr	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Haushaltsvolumen (Mio. €)	12	52	0	0	0	0

Quelle: Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2017

### 3.1.2.3 Annahmen und Parameter im MWMS

#### a) Weitere Ausdehnung der Lkw-Maut

Quantifiziert wird die Auswirkung der weiteren Ausweitung der Lkw-Maut auf alle Bundesstraßen, sowie die Bemautung der Klasse Lkw 3,5 - 7,5t zGG. Hierbei wird die gleiche Methodik angewandt wie in Maßnahme a) *Ausweitung Lkw Maut* des MMS.

Für die Ausweitung der Mautpflicht auf alle Bundesstraßen liegen keine kongruenten Daten zur Höhe der zu erwartenden Wegekosten aus dem Grundlagenbericht (Korn et al. 2014) und den Ergänzungsberichten (Alfen Consult GmbH et al. 2014a, 2014b) des aktuellen Wegekostengutachtens vor, da sich über die verschiedenen Berichte die Aufteilung der Größenklassen geändert hat. Da die Ergänzungsberichte keine Untersuchungen der Kosten zu den bisher nicht mautpflichtigen Bundesstraßen vorgenommen haben, ist es nicht möglich, auf Zahlen mit Einbezug der Größenklassen < 7,5t zGG zuzugreifen. Aufgrund der höheren Instandhaltungskosten pro gefahrenem Kilometer auf nicht mautpflichtigen Bundesstraßen gegenüber Autobahnen und Bundesstraßen mit Mautpflicht (Korn et al. 2014), wird eine leichte grundsätzliche Erhöhung der durchschnittlichen Mautkosten gegenüber dem MMS um 0,4 ct/Fzgkm bei der Gruppe > 7,5t zGG und um 0,1 ct/Fzgkm bei der Gruppe < 7,5t zGG angenommen (siehe Tabelle 3-6).

Tabelle 3-6: Angenommene Mautsätze im MWMS

	Lkw > 7,5t zGG	Lkw < 7,5t zGG
Mautpflichtiges Netz inkl. alle B.-Str.	14,0	3,0

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

#### b) Förderprogramm energieeffiziente Nutzfahrzeuge und energieeffizienzabhängige Spreizung der Lkw-Maut

Unter dieser Maßnahme wird sowohl die Wirkung direkter Förderung von effizienten Lkw durch Fördermittel als auch die Auswirkung der Spreizung der Lkw-Maut nach Energieeffizienzklassen quantifiziert. Die Förderung von 10 Mio. € führt direkt zur Auswahl von effizienteren Fahrzeugen bei der Neuzulassung. Die Spreizung der Lkw-Maut nach Energieeffizienzklassen wird zusammen mit der Fortschreibung der CO<sub>2</sub> Grenzwerte für Nutzfahrzeuge quantifiziert, indem unterstellt wird, dass dadurch ein stärkerer Effizienzanstieg für Nutzfahrzeuge stattfindet. Für die Größenklasse 7,5-12 t zGG wird eine erhöhte Effizienzsteigerung um 0,3 Prozentpunkte (zusätzlich) pro Jahr angenommen auf insgesamt 1,8 Prozentpunkte. Für die Größenklasse größer 12 t zGG sowie Last- und Sattelzü-

ge von 0,4 Prozentpunkten auf insgesamt 1,5 bzw. 1,4 Prozentpunkte. Die Wirkung wird dann zu 30 % dieser Maßnahme angerechnet.

### c) Förderung Schienenverkehrsinfrastruktur

Im MMS wird die zwar im Haushalt eingeplante, aber noch in finaler Abstimmung befindliche 2. Tranche des SHHV II bewertet. Die Berechnung der Verlagerungspotentiale erfolgt aufgrund der vorliegenden erwarteten Haushaltsplanung (Tabelle 3-7) entsprechend der Methodik im MMS.

Tabelle 3-7: Angenommene Haushaltsausgaben für den SHHV im MWMS

Jahr	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Haushaltsvolumen (Mio. €)	0	0	20,9	9	2,8	0

Quelle: Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2017

### d) Weiterführung der Förderung von Erd- und Flüssiggas

Erdgas und Autogas haben im Vergleich zu Benzin und Diesel einen deutlich niedrigeren CO<sub>2</sub>-Gehalt je MJ Kraftstoff. Allerdings entstehen durch die vergünstigten Kraftstoffe auch Rebound-Effekte (d.h. höhere Fahrleistungen). Des Weiteren sind die Vorkettenemissionen der Kraftstoffherstellung bei Erdgas und Flüssiggas ebenfalls geringfügig höher als die Vorkettenemissionen von Benzin bzw. Diesel. Die Maßnahme wird daher für die Zeit bis 2020 nicht bewertet.

### e) Fortschreibung der CO<sub>2</sub>- Grenzwerte für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge

Für die Quantifizierung der Fortschreibung der CO<sub>2</sub>-Grenzwerte wird die Zusammensetzung der Neuzulassungen und die Flottenentwicklung mit dem TEMPS-Modell des Öko-Instituts modelliert. Hierbei werden die Grenzwerte nach NEFZ auf 78 g bis 2025 und auf 60 g bis 2030 gesetzt (entspricht nach WLTP 90 g im Jahr 2025 und 69 g im Jahr 2030).

Die Fortschreibung der CO<sub>2</sub> Grenzwerte für Nutzfahrzeuge wird zusammen mit der Spreizung der Lkw-Maut nach Energieeffizienzklassen quantifiziert, indem unterstellt wird, dass dadurch ein stärkerer Effizienzanstieg für Nutzfahrzeuge stattfindet (s.o.). Für die Größenklasse 7,5-12 t zGG wird eine erhöhte Effizienzsteigerung um 0,3 Prozentpunkte pro Jahr angenommen. Für die Größenklasse größer 12 t zGG sowie Last- und Sattelzüge von 0,4. Die Wirkung wird dann zu 70 % dieser Maßnahme angerechnet..

### f) Anpassung der Treibhausgasquote und Einführung eines Unterziels für fortschrittliche Kraftstoffe

Die Anrechenbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien auf die Treibhausgasquote führt dazu, dass der Biokraftstoffanteil (gegenüber dem MMS) zurückgeht.

Im Bundesimmissionsschutzgesetz (§ 37a Absatz 5) ist die Voraussetzung geschaffen, elektrischen Strom in Straßenfahrzeugen auf die Erfüllung der Quotenverpflichtung anzurechnen. Die für die Erfüllung der Quote notwendige Menge an Biokraftstoffen hängt somit auch von der Anzahl von Elektrofahrzeugen und ihrem Stromverbrauch ab. Zu Grunde gelegt werden die durchschnittlichen Emissionen des Stroms (Strommix), multipliziert mit einem Antriebsfaktor von 0,4. Die Differenz dieser Emissionen zum Basiswert kann auf die Quote angerechnet werden. Bei einer moderaten Entwicklung der Elektromobilität wie im MMS entspricht dies beispielsweise einem Beitrag durch Elektrofahrzeuge zur Erfüllung der Treibhausgasminderungsquote von etwa 0,1 % im Jahr 2020 und 0,6 % im Jahr 2030. Diese Werte wurden für die Maßnahmenwirkung hinterlegt (siehe Tabelle 3-8).

Bewertet wurde die Wirkung dieser Maßnahme unter der Annahme, dass die THG-Quote konstant gehalten wird. Dies führt zu einer Reduktion des Biokraftstoff-Anteils gegenüber dem MMS im Jahr 2035 im Benzin von gut 6 % auf knapp 4 % und von 6,5 % auf 5 % für Diesel, jeweils bezogen auf den Energiegehalt. Des Weiteren wird eine Untergrenze für den energetischen Anteil von fortschrittlichen Kraftstoffen (d.h. u.a. Kraftstoffe aus erneuerbarem Strom sowie Kraftstoffe aus bestimmten Abfall- und Reststoffen und Lignozellulose) angenommen, beginnend ab 2020 und ansteigend auf 0,5 % im Jahr 2025.

Tabelle 3-8: Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MWMS

	2015	2020	2030	2035
THG-Minderungsquote	3,5 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %
Basiswert (g CO <sub>2</sub> / MJ)	83,8	94,1	94,1	94,1
Anteil Strom bezogen auf fossile Kraftstoffe im Straßenverkehr	0 %	0,2 %	1,5 %	2,6 %
Emissionsfaktor Strom (g CO <sub>2</sub> / TJ)	174	161	135	113
Minderung durch Strom ggü. Basiswert (Antriebsfaktor 0,4)	-16,7 %	-31,6 %	-42,4 %	-52,0 %
Minderungsbeitrag durch Strom im Straßenverkehr	0	0,1 %	0,6 %	1,4 %
Beitrag durch Upstream-Emissionen zur Zielerreichung	0	1,0 %	1,0 %	1,0 %
Durchschnittliche Emissionen Biokraftstoffe (g CO <sub>2</sub> / MJ)	25	20	20	20
Minderung Biokraftstoffe ggü. Basiswert	-70,2 %	-78,7 %	-78,7 %	-78,7 %
Durch Biokraftstoffe zu erzielende Minderung nach Anrechnung Upstream und Strom	3,5 %	4,9 %	3,8 %	2,5 %
Energetischer Anteil Biokraftstoffe zur Quotenerfüllung	5,0 %	6,3 %	5,5 %	4,6 %
Energetischer Anteil Bioethanol an Benzin	4,2 %	5,0 %	4,8 %	3,9 %
Energetischer Anteil Biodiesel an Diesel	5,7 %	7,0 %	6,0 %	5,0 %

Quelle: eigene Annahmen und Berechnungen

### 3.1.2.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

#### 3.1.2.4.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors ist in Tabelle 3-9 dargestellt. Gegenüber 2005 steigt der Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs bis zum Jahr 2020 um 1,2 % an<sup>23</sup>. Bis zum Jahr 2035 wird gegenüber 2005 ein Rückgang des Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrssektors um 2,4 % erreicht. Ursache dafür ist vor allem die Zunahme der Verkehrsleistung, welche durch die Effizienzsteigerung nicht vollständig kompensiert wird.

Auch der Endenergieverbrauch des internationalen Verkehrs steigt weiter an, so dass der Endenergieverbrauch des gesamten Verkehrs bis 2020 gegenüber 2005 um 3,2 % ansteigt und dann leicht zurückgeht, so dass der Endenergieverbrauch bis 2035 nur um 2,5 % gegenüber 2005 erhöht ist.

<sup>23</sup> In der Energiebilanz, welche die Basis für die dargestellten Werte des Endenergiebedarfs bis 2012 ist, wurde der Stromverbrauch des Verkehrssektors ab dem Jahr 2012 nach unten korrigiert wurde. Der für 2005 in der Energiebilanz ausgewiesene Wert stellt vermutlich eine Überschätzung des Stromverbrauchs dar. Bei Zeitreihenbetrachtungen und dem Vergleich mit 2005 ist diese Korrektur der Energiebilanz zu berücksichtigen, denn der Anstieg des Endenergiebedarfs wird dadurch um knapp 1%-Punkt gemindert.

Der Einsatz von Biokraftstoffen nimmt bis 2020 um etwa 18 % gegenüber 2010 auf 142 PJ zu und bleibt dann auf Grund der als konstant angenommenen Beimischung auf leicht sinkendem Niveau. Der wachsende Anteil elektrischer Fahrzeuge sowie der ebenfalls zunehmende Schienenverkehr resultiert in einem steigenden Stromverbrauch des Verkehrssektors in Höhe von insgesamt 83 PJ im Jahr 2035. Davon sind 39 PJ auf den Schienenverkehr und 44 PJ auf den batterieelektrischen Straßenverkehr zurückzuführen.

Tabelle 3-9: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MMS in PJ

Brennstoff	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Benzin	993	792	745	697	644	628	627
Diesel	1.115	1.199	1.340	1.368	1.343	1.326	1.314
LPG	2	22	23	14	8	4	3
Erdgas	3	9	7	5	4	3	2
(Bio-) Ethanol	7	31	32	45	42	41	41
Biodiesel	72	91	81	95	93	92	91
Biogas	0	0	0	1	1	1	1
Strom	58	60	42	46	56	70	83
Heizöl	7	6	6	6	6	7	7
Kerosin	34	34	30	29	29	29	27
<b>Summe (national)</b>	<b>2.293</b>	<b>2.243</b>	<b>2.306</b>	<b>2.308</b>	<b>2.225</b>	<b>2.200</b>	<b>2.197</b>
Internat. Flugverkehr	310	328	332	373	402	427	436
Seeschifffahrt	90	104	83	84	87	89	87
<b>Summe Gesamt</b>	<b>2.693</b>	<b>2.675</b>	<b>2.721</b>	<b>2.765</b>	<b>2.714</b>	<b>2.717</b>	<b>2.719</b>

Quelle: AGEB (2012-2015), (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Öko-Instituts. Diesel inklusive andere Mineralölprodukte.

### 3.1.2.4.2 Vergleich mit dem Projektionsbericht 2015

Im Folgenden sollen die Ergebnisse noch kurz mit dem Projektionsbericht 2015 verglichen werden. Im Projektionsbericht 2015 nahm der Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs bis 2020 noch um 4,5 % gegenüber 2005 ab. Das MMS im Projektionsbericht 2015 erreicht eine Minderung des Energieverbrauchs von 15 % zwischen 2005 und 2035. Das MMS im vorliegenden Projektionsbericht ergibt hingegen eine Steigerung des Endenergieverbrauchs um 1 %.

Eine Ursache für den im Projektionsbericht 2017 stärkeren Zuwachs des Endenergieverbrauchs im Vergleich zum Projektionsbericht 2015 ist die Erkenntnis über die große Diskrepanz zwischen Realverbrauch und Testzyklus-Emissionen (NEFZ) bei Pkw. Die Effizienzsteigerung im Pkw-Bestand fällt auf Grund der aktualisierten Daten zur wachsenden Diskrepanz zwischen Realemissionen und Testzyklusemissionen bei den Pkw-Neuzulassungen geringer aus als noch in der vorigen Projektion: Der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch des Pkw-Bestandes geht von 2010 bis 2020 zwar no-

minal (d.h. in Bezug auf die Testzyklusemissionen nach NEFZ<sup>24)</sup> um 24 % zurück, jedoch real nur um 7 %.

Biokraftstoffe haben einen niedrigeren Anteil im PB 2017. Da die THG-Minderungen höher angegeben werden als früher erwartet, ist ein geringerer Anteil Biokraftstoffe zur Erfüllung der Biokraftstoffquote ausreichend.

Folgende Aspekte erklären die höheren Emissionen im MMS gegenüber der alten Projektion, wobei die Werte als grobe Abschätzungen / Größenordnungen zu verstehen sind:

- a) Die Umstellungen im Inventar führen zu höheren Emissionen (auch rückwirkend). Die Emissionen 1990 liegen um 3,4 Mt höher im PB 2017 als im PB 2015.
- b) Biokraftstoffe haben einen niedrigeren Anteil im PB 2017. Da die berichteten THG-Minderungen von Biokraftstoffen gegenüber dem fossilen Referenzwert höher sind als früher erwartet, ist ein geringerer Anteil Biokraftstoffe zur Erfüllung der Biokraftstoffquote ausreichend (siehe 2.6.1.4). Die Größenordnung dieses Effekts entspricht ca. 3 Mt Mehremissionen (ab 2020). Hierbei werden Biokraftstoffe mit Nullemissionen bewertet, d.h. die Vorkettenemissionen sind nicht berücksichtigt.<sup>25</sup>
- c) Der Pkw-Realverbrauch: Durch die veränderten Annahmen (aktuelle Erkenntnisse) zum Unterschied zwischen Realverbrauch und Testzyklus ergeben sich höhere Realemissionen neu zugelassener Pkw gegenüber PB 2015; Größenordnung des Effektes ca. 10 Mt (im Jahr 2030).
- d) Elektromobilität: 4 Mio. E-Pkw im Jahr 2030 im PB 2017 (MMS) statt rund 5 Mio. E-Pkw wie im PB 2015 => Größenordnung ca. 1 Mt Mehremissionen im Jahr 2030 (Hierbei berücksichtigt ist nur die direkte Emissionsänderung im Verkehrssektor, d.h. bei Berücksichtigung zusätzlicher indirekter Emissionen im Stromsektor ergeben sich Änderungen < 1 Mt).

### 3.1.2.4.3 Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS

Die direkten Emissionsminderungen der Maßnahmen im MMS sind in dargestellt. Die Minderungen wurden dabei gegenüber einer (hypothetischen) Situation ohne Maßnahme ermittelt. Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen sind berücksichtigt.

Tabelle 3-10 weist die Emissionen durch die bewerteten Einzelmaßnahmen im MMS aus. Bei der Ausweisung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist zu beachten, dass nur die direkten Emissionen bewertet werden. Die Vorkettenemissionen durch Stromverbrauch zum Beispiel sind in den jeweiligen Sektoren verortet.

Die größte Minderungswirkung wird für die Förderung der Elektromobilität im Jahr 2020 ermittelt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Effizienz der neu zugelassenen verbrennungsmotorischen Fahrzeuge unverändert gegenüber einem Szenario ohne Kaufprämie bleibt. Da eine Förderung von Elektromobilität bei geltenden Flottengrenzwerten die Effizientwicklung der Verbrenner negativ beeinflussen kann, ist eine begrenzte Förderung bis zum Inkrafttreten der Flottengrenzwerte im Jahr 2021 sinnvoll.

<sup>24</sup> Ab September 2017 soll der NEFZ durch den WLTP ersetzt werden. Da die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach WLTP und NEFZ jedoch nicht 1:1 vergleichbar sein werden, wird an dieser Stelle mit dem NEFZ argumentiert.

<sup>25</sup> Die Umstellung auf die Treibhausgasquote bewirkt zwar bei ausschließlicher Betrachtung der direkten Emissionen des Verkehrssektors eine Zunahme der Emissionen. Insgesamt- d.h. bei Berücksichtigung der Vorkettenemissionen aus der Herstellung der Kraftstoffe sowie von Emissionen aus Landnutzungsänderung - führt die Umstellung auf eine Treibhausgasmindeungsquote dagegen zu einer Emissionsminderung. Durch die Umstellung auf eine Treibhausgasmindeungsquote erfolgt eine Umstellung auf nachhaltigere, d.h. mit höheren Emissionsminderungen verbundene, Biokraftstoffe. – Grundsätzlich ist hier anzumerken, dass also die derzeitige Inventarlogik, bei der dekarbonisierte Kraftstoffe mit Nullemissionen gerechnet werden, (politische) Anreize zu einem zusätzlichen Einsatz solcher Kraftstoffe zur Folge haben kann, auch wenn diese Kraftstoffe über ihren Lebensweg nicht nachhaltig sind und Emissionen in andere Sektoren verschoben werden

Bei den Maßnahmen zur Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs und des Schienenverkehrs fallen die Minderungen bei Betrachtung der Vorkettenemissionen entsprechend geringer aus.

Tabelle 3-10: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen

Direkte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2016	0,1	0,1	0,1	0,1
Förderung Elektromobilität	F	2016	0,5	0,4	0,2	0,1
Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs	F	2016	0,1	0,2	0,2	0,2
Stärkung Schienenverkehr: SHHV II	F	2016	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Gesamt</b>			<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Die Tabelle 3-11 zeigt nachrichtlich die Emissionsänderungen bei Einbezug der indirekten Emissionen, welche größtenteils in den anderen Sektoren bei den direkten Emissionen (z.B. Strom) abgedeckt sind. Hierbei sind Werte mit deutlicher Abweichung zu den Werten ohne Einbezug der indirekten Emissionen braun markiert.

Tabelle 3-11: Nachrichtlich: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen

Direkte und indirekte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2016	0,1	0,1	0,1	0,1
Förderung Elektromobilität	F	2016	0,2	0,2	0,1	0,0
Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs	F	2016	0,1	0,2	0,2	0,2
Stärkung Schienenverkehr: SHHV II	F	2016	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>			<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

### 3.1.2.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

#### 3.1.2.5.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors für das MWMS ist in Tabelle 3-12 dargestellt. Gegenüber 2005 gibt es bezüglich des gesamten Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrs bis zum Jahr 2020 praktisch keine Änderungen. Innerhalb der Kraftstoffe ist die dominierende Dynamik der Rückgang von Benzin (und Bio-Ethanol) und ein Anstieg von Diesel (und Biodiesel). Bis zum Jahr 2035 wird gegenüber 2005 ein Rückgang des Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrssektors um 10 % erreicht (11 %-Punkte höher als im Mit-Maßnahmen-Szenario). Der Endenergieverbrauch des internationalen Verkehrs verändert sich gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario nicht.

Der gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario höhere Anteil elektrischer Fahrzeuge resultiert in einem Stromverbrauch des Verkehrssektors in Höhe von insgesamt 124 PJ im Jahr 2035, wovon 39,8 PJ

auf den Schienenverkehr und 84,6 PJ auf den batterieelektrischen Verkehr zurückzuführen sind. Gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario nimmt der Strombedarf somit um ca. 49 % zu.

Tabelle 3-12: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MWMS in PJ

Brennstoff	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Benzin	993	792	745	706	632	545	485
Diesel	1.115	1.199	1.340	1.350	1.313	1.259	1.171
LPG	2	22	23	14	8	4	3
Erdgas	3	9	7	5	4	3	2
(Bio-) Ethanol	7	31	32	37	33	27	20
Biodiesel	72	91	81	101	91	80	61
Biogas	0	0	0	1	1	1	1
Strom	58	60	42	47	61	95	124
Heizöl	7	6	6	6	6	7	7
Kerosin	34	34	30	29	29	29	27
<b>Summe (national)</b>	<b>2.293</b>	<b>2.243</b>	<b>2.306</b>	<b>2.297</b>	<b>2.178</b>	<b>2.050</b>	<b>1.902</b>
Internat. Flugverkehr	310	328	332	373	402	427	436
Seeschifffahrt	90	104	83	84	87	89	87
<b>Summe Gesamt</b>	<b>2.693</b>	<b>2.675</b>	<b>2.721</b>	<b>2.755</b>	<b>2.667</b>	<b>2.567</b>	<b>2.424</b>

Quelle: AGEB (2012-2015), (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Öko-Instituts. Diesel inklusive andere Mineralölprodukte.

### 3.1.2.5.2 Vergleich mit dem Projektionsbericht 2015

Im Folgenden sollen die Ergebnisse noch kurz mit dem Projektionsbericht 2015 verglichen werden. Im Projektionsbericht 2015 konnte durch die im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario hinterlegten Maßnahmen im Jahr 2030 eine Reduktion des nationalen Endenergieverbrauchs um 5 % gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario erreicht werden. Im Projektionsbericht 2017 fällt die Minderung mit 11 % höher aus.

Das MWMS im Projektionsbericht 2015 führte in Summe zu einer Reduktion des Energieverbrauchs der nationalen Verkehre um 20 %. Das MWMS hier führt zu einer Reduktion um 10 %.

Zu erklären ist dies Folgendermaßen: Die Wirkungen der Maßnahmen im MWMS des PB 2017 entfalten zwar eine höhere Wirkung als im PB 2015 (insbesondere die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für Pkw), da das MMS im PB 2017 jedoch sogar eine leichte Steigerung des Energieverbrauchs bis 2035 enthält, ist auch das MWMS höher als die Berechnungen im PB 2015.

### 3.1.2.5.3 Bewertung der Einzelmaßnahmen

Die mit Abstand effektivste betrachtete Einzelmaßnahme ist die ambitionierte Fortschreibung der Pkw-Flottengrenzwerte. Mit Inkrafttreten im Jahr 2022 steigt der Anteil der Minderung der Maßnahme an den akkumulierten Minderungen von 9 % auf 92 % im Jahr 2030 an.

Die Maßnahmen des Straßengüterverkehrs zeigen eine gute Ergänzung zueinander mit unterschiedlichen Zeitpunkten der effektiven Wirkung. Beide mit insgesamt moderatem Minderungspotential.

Die reine finanzielle Förderung des Schienenverkehrs zeigt am wenigstens Minderungspotential. Da die Förderungen mit einem mäßigen Volumen weitergeführt wird und die Minderung direkt abhängig von der Fördermenge ist.

Die Anpassung bei der Anrechenbarkeit der THG-Quote in Kombination mit einer Unterquote für fortschrittliche Biokraftstoffe führt zu einer geringeren Biokraftstoffquote. Da die Biokraftstoffe im Projektionsbericht mit Nullemissionen ausgewiesen werden, ergeben sich durch die Senkung der Quote Mehremissionen. Die Mehremissionen negieren rund 10 % der erzielten Minderungen über die anderen Maßnahmen.

Die Überschneidungseffekte über alle Maßnahmen zeigen im Verlauf bis 2035 eine dynamische Entwicklung auf. Im Jahr 2020 kommt es bei systemischer Betrachtung aller Maßnahmen zu Überschneidungseffekten von knapp 10 %. Es werden im Zusammenspiel aller Einzelmaßnahmen also rund 10 % weniger Emissionen gemindert als es die Summe der einzeln betrachteten Maßnahmen ergibt. Die Stärke der Überschneidungseffekte geht im Verlauf der Jahre aber zurück. Zwischen 2025 und 2030 gibt es dann einen Wendepunkt in dem die Maßnahmen sich bei Betrachtung des Gesamtsystems sogar ergänzen und die Minderungen im Zusammenspiel der Maßnahmen leicht höher ausfallen als die Summe der Einzelmaßnahmen. Dies ist insbesondere auf die Maßnahme der Biokraftstoffquoten zurückzuführen, da die negativen Effekte (Mehremissionen durch geringere Biokraftstoffquote) durch die anderen Maßnahmen etwas kompensiert werden.

Tabelle 3-13: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen

Direkte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2019	0,2	0,6	0,6	0,7
Energieeffiziente Nutzfahrzeuge	E/F	2015	0,6	0,6	0,1	1,0
Stärkung des Schienenverkehrs	F	2017	0,0	0,0	0,1	0,1
Erd- und Flüssiggasförderung	F		NA	NA	NA	NA
Fortschreibung CO <sub>2</sub> -Grenzwerte	E	2022	NA	2,8	11,4	22,0
davon Pkw				2,3	11,2	19,6
davon Lkw				0,1	0,2	2,4
Anpassung THG-Quote und fort-schrittliche Biokraftstoffe	R	2015	-0,2	-0,7	-1,2	-2,7
<b>Gesamt</b>			<b>0,7</b>	<b>3,0</b>	<b>11,0</b>	<b>21,1</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Tabelle 3-14: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen

Direkte und indirekte Emissi-onsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2019	0,2	0,6	0,7	0,7
Energieeffiziente Nutzfahrzeuge	E/F	2015	0,7	0,6	0,1	1,0
Stärkung des Schienenverkehrs	F	2017	0,0	0,0	0,1	0,1
Erd- und Flüssiggasförderung	F		NA	NA	NA	NA
Fortschreibung CO <sub>2</sub> -Grenzwerte	E	2022	NA	2,2	11,0	18,4

Direkte und indirekte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
davon Pkw				1,7	10,8	16,0
davon Lkw				0,1	0,2	2,4
Anpassung THG-Quote und fortschrittliche Biokraftstoffe	R	2015	0,0	0,0	-0,5	-1,7
<b>Gesamt</b>			<b>1,0</b>	<b>3,0</b>	<b>11,4</b>	<b>18,5</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

### 3.1.2.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Tabelle 3-15 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O 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. 188 Mt CO<sub>2</sub>e, im MWMS sinken sie um über 21 Mt CO<sub>2</sub>e mehr auf ca. 167 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht im MMS einer Steigerung von fast 3 % gegenüber 1990 und im MWMS einer Reduktion von fast 9 %. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 2 % bis 13 %. Das Emissionsniveau des Jahres 2014 wird in beiden Szenarien im Jahr 2020 zunächst übertroffen; in beiden Szenarien sinken die Emissionen nach 2020 im MMS leicht, im MWMS hingegen sehr deutlich. Im MWMS sinken die Emissionen mit 3 % bis 6 % in den Fünfjahreszeiträumen ab 2020 deutlich stärker als im MMS, wo nach 2025 nur noch sehr geringe Emissionsminderungen zu verzeichnen sind. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen bei 193 bis 194 Mt CO<sub>2</sub>, was einer Steigerung von fast 6 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht.

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 CO<sub>2</sub> gibt es im MMS eine Steigerung der Emissionen im Jahr 2035 gegenüber 1990, im MWMS eine Reduktion um 9 %. Die Lachgasemissionen steigen in beiden Szenarien an, CO<sub>2</sub> ist und bleibt aber das mit Abstand dominierende Gas mit 99 % an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors im Jahr 1990 wie auch 2035.

Tabelle 3-15: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	180,3	189,9	184,9	190,4				
MMS					191,5	187,5	186,8	186,1
MWMS					190,8	184,5	175,9	165,1
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1,3	0,3	0,2	0,2				
MMS					0,2	0,1	0,1	0,1
MWMS					0,2	0,1	0,1	0,1
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1,4	1,4	1,6	1,8				

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
MMS					1,9	1,9	1,9	1,8
MWMS					1,9	1,8	1,8	1,7
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	183,0	191,5	186,7	192,4				
MMS					193,5	189,5	188,8	188,1
MWMS					192,9	186,5	177,8	166,9
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		4,7	2,0	5,2				
MMS					5,8	3,6	3,2	2,8
MWMS					5,4	1,9	-2,8	-8,8
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 2005 – 2014			-2,5	0,5				
MMS					1,0	-1,1	-1,4	-1,8
MWMS					0,7	-2,6	-7,2	-12,9

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen vom Öko-Institut

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

### 3.1.3 Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung

#### 3.1.3.1 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 Einzelinstrumente über einen bottom-up Ansatz abgeschätzt, der auf der Skalierung von Instrumentenindikatoren wie Fördervolumina und spezifischen Einsparungen basiert.

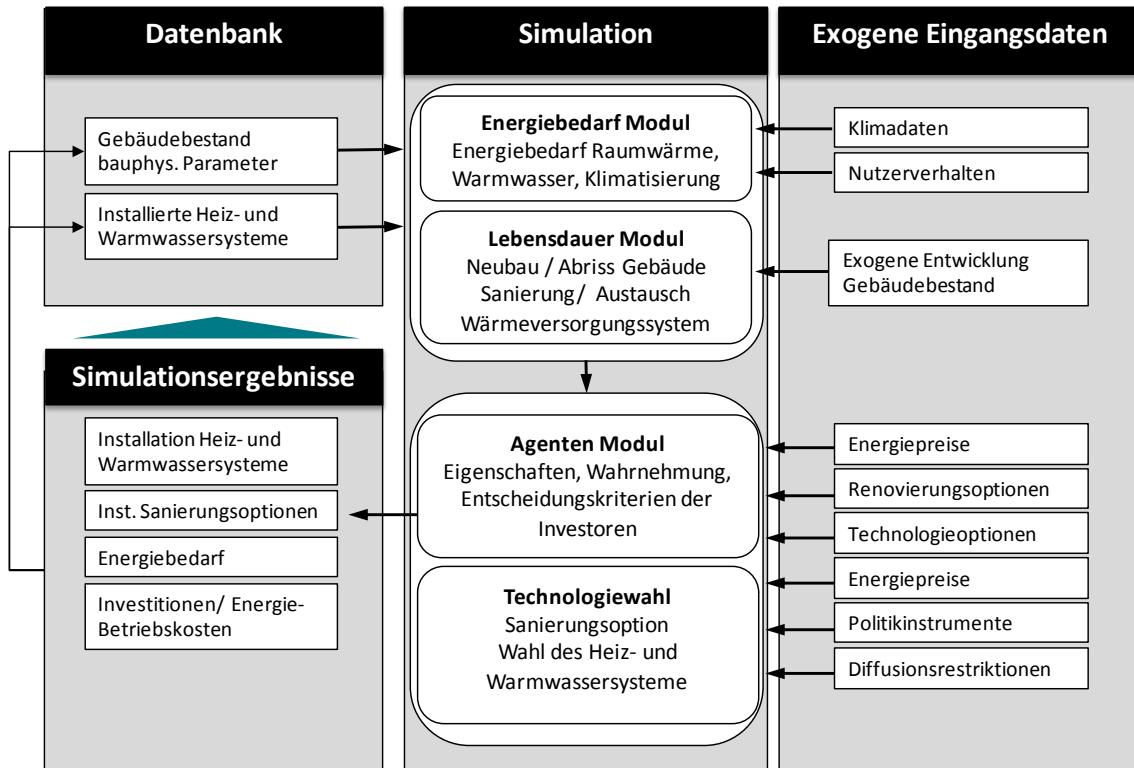
#### Sektormodellierung des Gebäudebereichs

Das Modell Invert/EE-Lab ist von der Energy Economics Group der *Technischen Universität Wien* entwickelt worden und gemeinsam mit dem Fraunhofer ISI im Rahmen vieler nationaler und europäischer Projekte eingesetzt und weiterentwickelt worden ist.

Methodisch stellt Invert/EE-Lab ein dem Bottom-up-Ansatz folgendes, technooökonomisches 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 3-2). Grundlage des Modells ist eine detaillierte Darstellung des Gebäudebestands nach Gebäudetypen, Baualtersklassen und Sanierungszuständen mit relevanten bauphysikalischen und ökonomischen Parametern einschließlich der Technologien zur Bereitstellung 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

Hemmisseien sowie Energieträgerpotentialen ermittelt (vgl. Kranzl et al. 2013; Müller 2015; Müller & Biermayr 2011; Steinbach 2013, 2015).

Abbildung 3-2: Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab



Quelle: Basierend auf Kranzl et al. (2013)

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:

- Berücksichtigung von investorenspezifischen Hemmnissen und Kalkülen bei der Investitionsentscheidung in Wärmeversorgungssysteme und Effizienzmaßnahmen.
- 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.
- 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.
- 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. 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.<sup>26</sup> 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 Heizungsalternativen 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 wird angenommen, dass das Label rein flankierende Wirkung hat (Instrumentenfaktor 0).

Dennoch führt die Summe der abgeschätzten Einzelinstrumentenwirkungen tendenziell zu einer deutlich höheren Wirkung als bei der Modellierung. Dies zeigt sich beispielsweise bei einem Vergleich der Wirkungen des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios mit dem Mit-Maßnahmen-Szenario. Einerseits können in einer sektoralen Modellsimulation des Gebäudebereichs gewisse verstärkende oder dämpfende Effekte nicht vollumfänglich abgebildet werden, die beispielsweise durch die Ankündigungen geänderter Förderbedingungen bei den Akteuren ausgelöst werden. Andererseits führt die Bewertung von Einzelinstrumenten durch Zuweisung diskreter spezifischer Einsparwirkungen sowohl ex-ante als auch ex-post tendenziell zu einer Überschätzung der Maßnahmenwirkungen. Die folgenden Punkte geben einen Überblick, wieso eine Indikatoren-basierte Bewertung auf Einzelinstrumentenebene in der Regel zu höheren Wirkungen führt als der Vergleich von Alternativszenarien im Rahmen der Modellierung:

- a) Überschätzung der Wirkung durch Skalierung von Indikatoren: Indikatoren zur Einzelinstrumentenbewertung basieren oftmals auf ex-post Evaluierung bestehender Förderinstrumente. Es ist allerdings unklar, ob z.B. bei einer Fortführung und v.a. Aufstockung eines bestehenden Förderprogramms die Fördereffizienz gleich bleibt. Es ist eher wahrscheinlich, dass insbesondere bei Förderprogrammen mit bereits hoher finanzieller Ausstattung die Fördereffizienz abnimmt, da bei Fortführung oder Aufstockung weitere Akteursgruppen überzeugt werden müssen, die ggf. eine geringere Zahlungsbereitschaft für die geförderte Technologie aufweisen und somit erst bei besseren Förderkonditionen investieren. Bei der Einzelinstrumentenbewertung wird dieser Effekt durch die Einführung sogenannter „Dämpfungsfaktoren“ berücksichtigt. Für deren Festlegung fehlen allerdings die empirischen quantitativen Grundlagen.

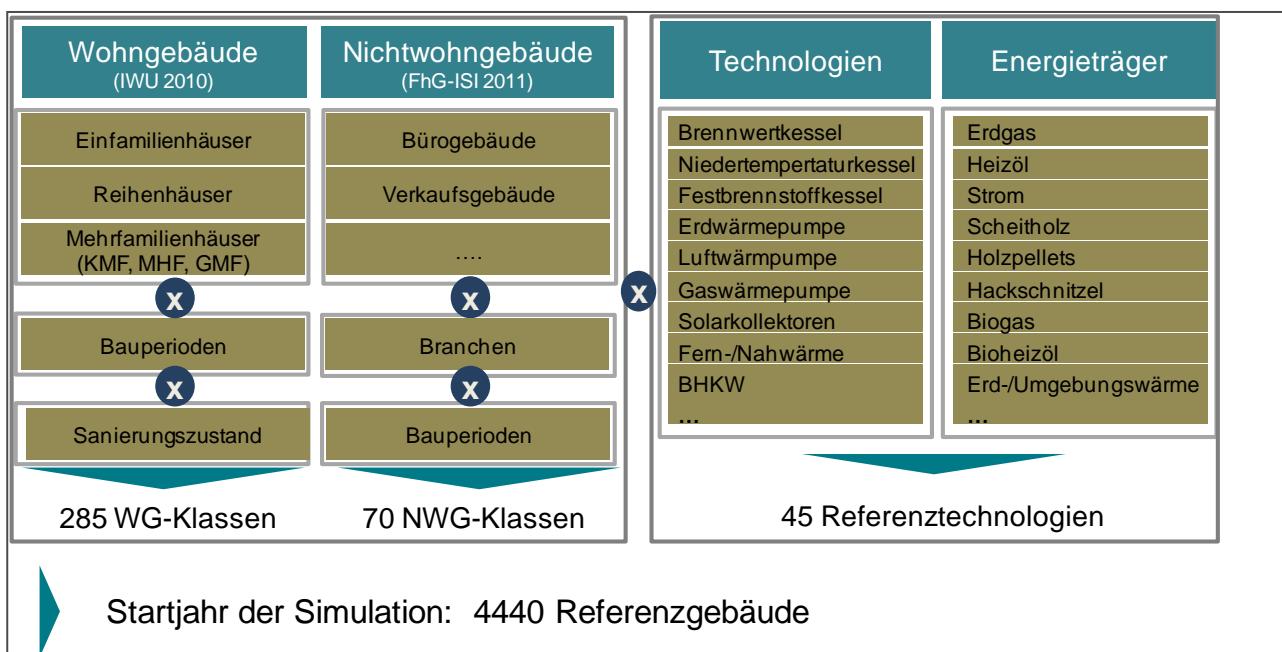
<sup>26</sup> Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das gesamte Potenzial, welches mit den einzelnen Instrumenten erschlossen werden kann, im Vorfeld aufzuteilen, so dass in der Summe das Potenzial nicht doppelt eingerechnet wird. Dieser Ansatz unterstellt jedoch, dass mit den Instrumenten auch wirklich unterschiedliche Potenziale adressiert werden.

- b) Negative Wirkung durch „Opportunitätsemissionen“: Die Einsparwirkung einer Technologieförderung wird typischerweise durch den Effizienzgewinn der geförderten Technologie gegenüber der Bestandstechnologie oder dem Marktstandard ermittelt. Allerdings vernachlässigt dieser Ansatz, dass die Förderungen dieser Technologie möglicherweise die Installation einer noch effizienteren Technologie verhindert. Ein Beispiel hierfür ist die Förderung fossiler Brennwertkessel, deren Wirtschaftlichkeit gegenüber EE-Wärmetechnologien durch die Förderung erhöht wird. Im Einzelfall kann dies dazu führen, dass sich der Investor anstelle eines EE-Wärmeerzeugers zu Gunsten der fossilen Technologie entscheidet. Ein anderes Beispiel ist die Quantifizierung der Einsparwirkung von EE-Wärmetechnologien, deren Installation möglicherweise dazu führt, dass aus Wirtschaftlichkeitsgründen weniger Effizienzmaßnahmen durchgeführt werden, insbesondere vor dem Hintergrund einer vorgeschriebenen Primärenergieeinsparung. Die Beispiele zeigen, dass es im Rahmen der Einzelinstrumentenbewertung sehr schwierig ist, die Referenzentwicklung korrekt zu erfassen wohingegen die Modellierung des Gesamtsystems eher in der Lage ist, die äußerst komplexen Zusammenhänge zu erfassen.
- c) Änderung der externen Rahmenbedingung im Betrachtungszeitraum: Ändern sich im Betrachtungszeitraum die Rahmenbedingungen (z.B. die Energiepreise), kann dies in der Indikatoren-basierten Bewertung von Einzelinstrumenten nur bedingt berücksichtigt werden, da die aus ex-post Evaluierungen gewonnenen Indikatoren (z.B. die Fördereffizienz) unter den jeweiligen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen gewonnen wurden. Für die Anpassung der Indikatoren an geänderte energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen fehlt die empirische Basis. In der modellbasierten Szenarienberechnung können steigende Energiepreise hingegen dazu führen, dass sich bereits in der Referenzentwicklung, also auch ohne zusätzliche Förderung, eine höhere Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen ergibt. Wird nun die Bewertung eines Bündels von Politikinstrumenten durch den Vergleich eines Policy-Szenarios mit der Referenzentwicklung durchgeführt, resultiert im Falle höherer Energiepreise eine geringere Gesamtwirkung.
- d) Berücksichtigung von Mitnahmeeffekte: Mangels einer empirischen Basis werden mögliche Mitnahmeeffekte in einer ex-post Evaluierung von Politikinstrumenten in der Regel nicht berücksichtigt. Die Wirkung eines Einzelinstrumentes ergibt sich aus der Wirkung aller im Evaluierungszeitraum geförderten Technologien, was implizit unterstellt, dass ohne das jeweilige Förderprogramm, alle geförderten Technologien nicht installiert worden wären. Im Rahmen der Modellierung, welche versucht, das Investorenverhalten widerzuspiegeln, kann Mitnahme durchaus abgebildet werden. In diesem Fall würde ein Investor – vorausgesetzt die Rahmenbedingungen hinsichtlich seines individuellen Investitionskalküls sind positiv - auch dann in eine bestimmte Technologie investieren, wenn diese nicht gefördert wird.
- e) Marktdiffusion: Der im Rahmen der Modellierung verwendete Diffusionsmodellansatz unterstellt, dass die Ausbreitung einer Technologie von Faktoren wie dem Marktpotential oder der bestehenden Marktdurchdringung abhängt. Im Rahmen der Modellierung gibt es deswegen keine extremen Sprünge. Anders als bei der Einzelinstrumentenbewertung würde beispielsweise die Verdopplung des Förderbudgets eines Förderprogramms nicht automatisch zu einer proportionalen Verdopplung der Förderfälle und damit z.B. der Einsparwirkung führen.

### 3.1.3.2 Annahmen und Parameter

Der Gebäudebestand der Sektoren private Haushalte und GHD in Deutschland wird im Modell sehr 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 3-3). Dies erlaubt die Berücksichtigung gebäude- und technologiespezifischer Faktoren bei der Simulation der Technologiewahl auf einem sehr disaggregierten Niveau.

Abbildung 3-3: Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/ EE-Lab



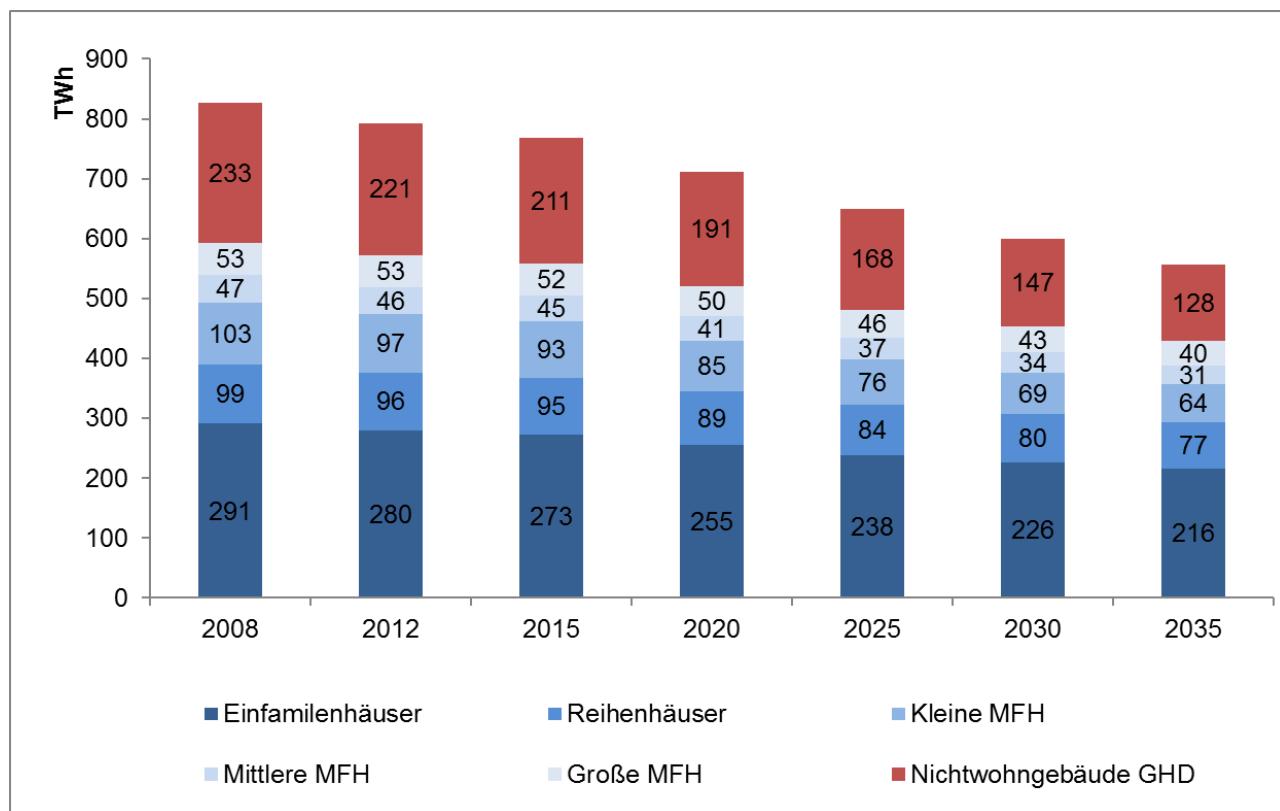
Quelle: Fraunhofer ISI

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“ (Schlomann 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.

### 3.1.3.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-4 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.

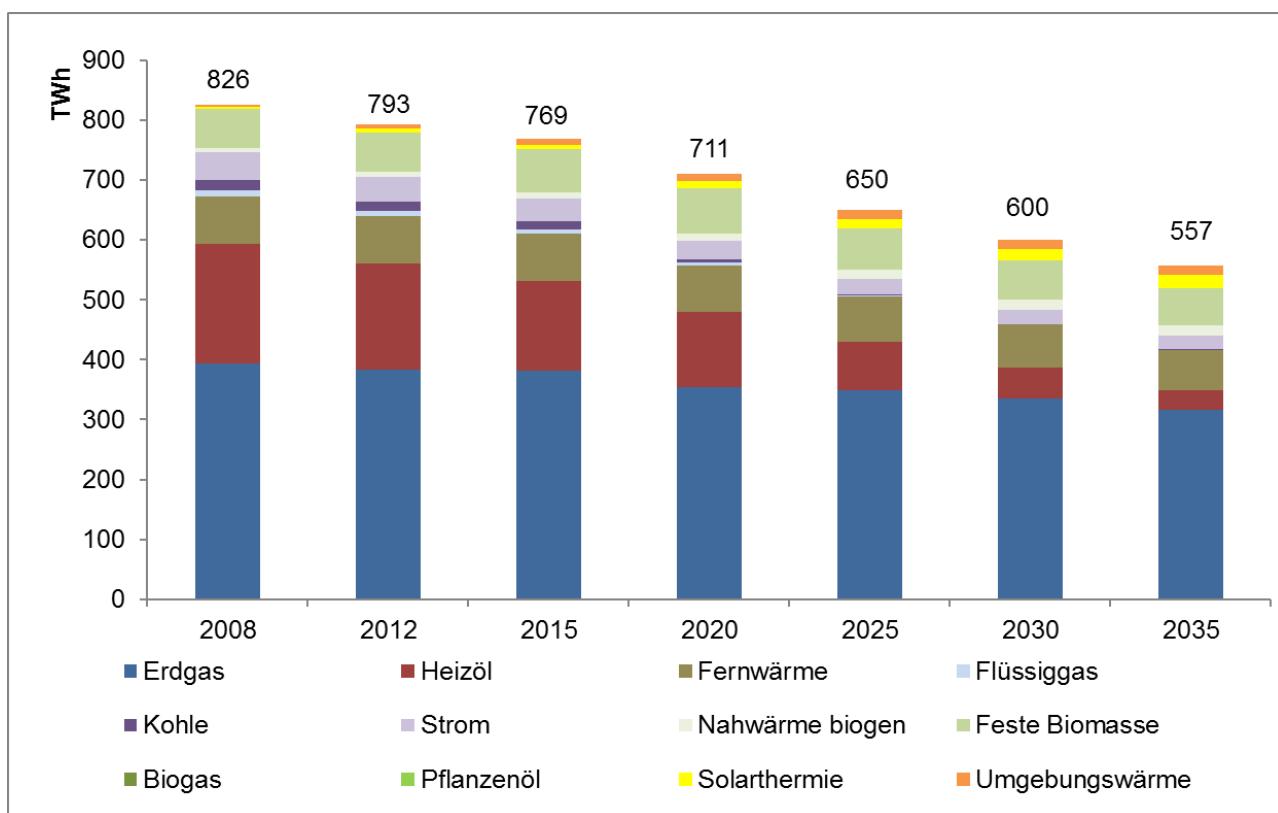
Abbildung 3-4: Endenergiebedarfsentwicklung der Wärmebereitstellung nach Gebäudekategorien im MMS



Quelle: Berechnung Fraunhofer ISI

Die dargestellte Endenergieentwicklung bilanziert neben den fossilen Brennstoffen, Fernwärme und Strom auch die erneuerbare Wärmebereitstellung durch biogene Brennstoffe, Solarthermie und Umgebungswärme (Abbildung 3-5). Der Endenergiebedarf sinkt im Zeitraum 2015 bis 2035 um 212 TWh, was einem Rückgang von 28 % entspricht. Der Einsatz fossiler Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung sinkt um 202 TWh, während der Anteil EE-Wärme an der Wärmebereitstellung auf 21 % im Jahr 2035 ansteigt. Der Rückgang des Strombedarfs um rund 14 TWh ist insbesondere auf den Austausch konventioneller Stromheizungen (Direktheizung, Nachspeicheröfen) zurückzuführen, der nur zu einem geringen Teil durch den durch Wärmepumpenausbau bedingten zusätzlichen Strombedarf aufgefangen wird.

Abbildung 3-5: Endenergieentwicklung nach Energieträger im MMS



Quelle: Berechnung Fraunhofer ISI

### Bewertung der Einzelmaßnahmen

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

Die Beschreibung, welche Annahmen zur Ausgestaltung den Einzelmaßnahmen zu Grunde liegen, findet sich in Kapitel 2.8.3.1. 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 2016 abgeschätzt, so dass die kumulierten jährlichen Einsparungen den Zeitraum zwischen 2016 und dem jeweiligen Betrachtungsjahr erfassen. Auch wenn eine Maßnahme schon vor 2016 existiert (z.B. die KfW-Förderprogramme), wird ihre Wirkungen erst ab dem Jahr 2016 quantifiziert. Tabelle 3-16 zeigt ein Übersicht der untersuchten Einzelmaßnahmen die entsprechen Referenz im Vergleichsszenario (OMS).

Tabelle 3-16: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario ( <i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i> )
<b>KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren</b>	Im Vergleichsszenario ohne KfW-Programme werden weder energieeffiziente Neubauten noch Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden gefördert. Neubauten erfolgen auf das Niveau das seitens der EnEV geforderte Mindestniveau. Bei Sa-

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario ( <i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i> )
<b>Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien</b>	nierungen wird angenommen, dass die im Rahmen des MMS durch die KfW-Programme induzierten Sanierungsmaßnahmen ausbleiben.
<b>Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsaltanlagen</b>	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. Im Vergleichsszenario bleiben die infolge der Programme induzierten Maßnahmen (v.a. Austausch Heizkessel oder Heizungspumpe, hydraulischer Abgleich) aus.
<b>Energieeinsparverordnung</b>	Neubau: „Einfrieren“ der Mindestanforderungen an neue Gebäude aus 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.

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 3-17 zeigt zunächst die durch die Einzelmaßnahmen realisierten Einsparungen an fossiler Endenergie. Die höchsten Einsparungen werden dem Marktanreizprogramm und den KfW-Programmen für energieeffizientes Bauen und Sanieren zugerechnet. Bei letzterem trägt insbesondere das Programmelement „Energieeffizient Sanieren“ den größten Einsparbeitrag bei. Bei der Energieeinsparverordnung tragen die bedingten Sanierungspflichten den größten Teil der Einsparwirkung bei. Bei allen Programmen, die den Austausch alter Heizungssysteme zu Gunsten effizienterer Heizkessel und Heizverteilsysteme induzieren, 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 2016 und 2035 zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs an fossilen Brennstoffen von rund 150 TWh. Diese Einsparung liegt um knapp 30 % unter den Einsparungen, die über die Modellierung abgeschätzt werden. Eine Erklärung für diese Differenz liegt darin, dass neben den bewerteten Instrumenten eine Vielzahl weiterer Instrumente den Endenergiebedarf des Sektors adressiert, d.h. mit der vorgenommenen Einzelinstrumentenbewertung nur ein Teil der Einsparungen erfasst wird.

Tabelle 3-18 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 3-17: Einsparungen fossiler Brennstoffe

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2016	9	45	90	135	180

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2016	2020	2025	2030	2035
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2016	9	46	92	138	184
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsalanlagen	F	2016	1	7	11	13	14
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2016	14	48	97	130	157

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

Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-18: Direkte Minderungen an Treibhausgasemissionen

Direkte Emissionsminderung* [Mt CO <sub>2</sub> e]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2015	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2016	0,6	2,9	5,8	8,7	11,6
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2016	0,8	3,9	7,7	11,6	15,5
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsalanlagen	F	2016	0,1	0,6	1,3	1,5	1,6
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R		0,9	3,1	6,1	8,0	9,6

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

Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-19 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 Widerstände oder Direktheizungen, was ebenfalls zu einem Rückgang des sektoralen Strombedarfs führt. Gegenläufig dazu verhält sich der durch einige der Maßnahmen induzierte Zubau elektrischer Wärmepumpen, der zu einer Zunahme der Stromnachfrage des Gebäudesektors führt.

Tabelle 3-19: Auswirkung auf Stromnachfrage

Stromeinsparung [TWh]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2015	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2016	-0,4	-2,0	-4,0	-5,9	-7,9

Stromeinsparung [TWh]	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2015	2020	2025	2030	2035
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2016	-0,1	-0,5	-0,9	-1,4	-1,9
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	F	2016	-0,1	-2,6	-2,6	-2,6	0,0
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2016	-0,2	-0,9	-2,6	-4,1	-5,6

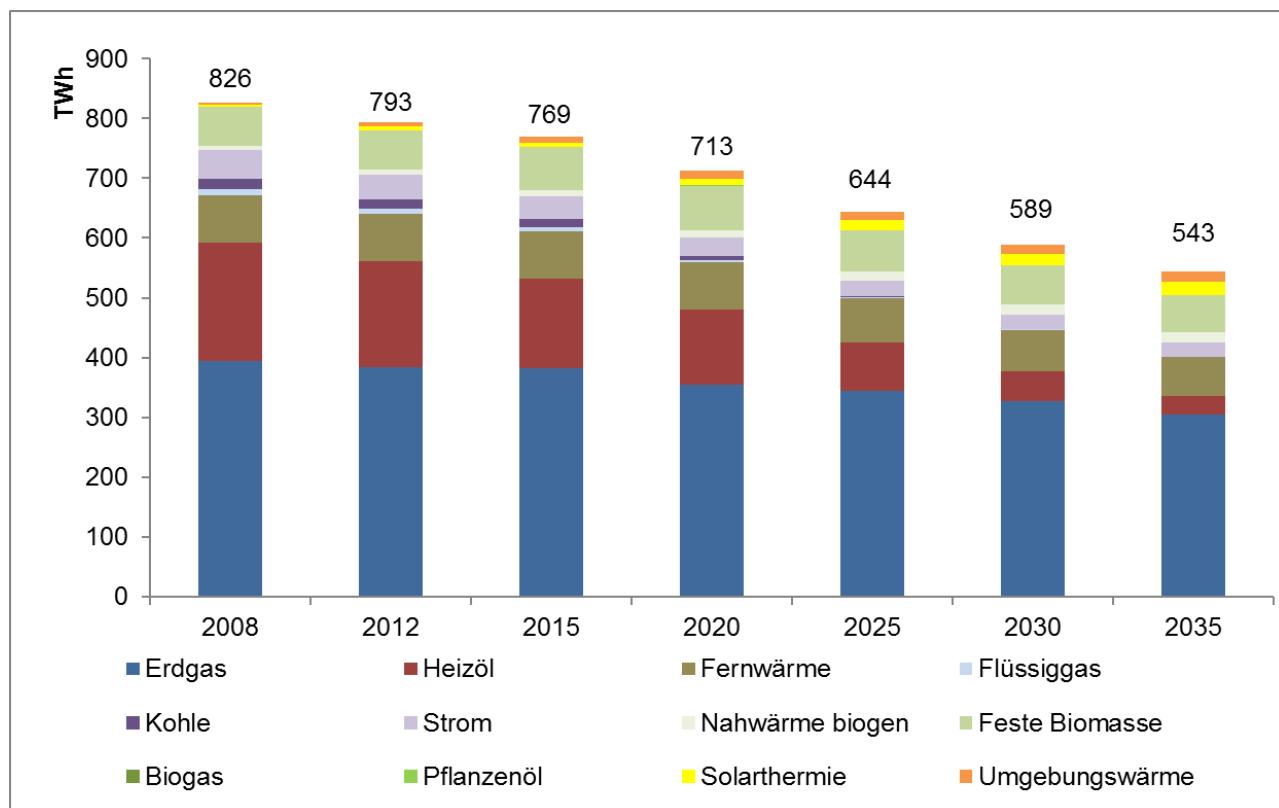
Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

### 3.1.3.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-6 zeigt die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Wärmebereitstellung im MWMS. Die dargestellte Endenergieentwicklung bilanziert neben den fossilen Brennstoffen, Fernwärme und Strom auch die erneuerbare Wärmebereitstellung durch biogene Brennstoffe, Solarthermie und Umgebungswärme. Der Endenergiebedarf sinkt im Zeitraum 2015 bis 2035 um 226 TWh, was einem Rückgang von 29 % entspricht. Gegenüber dem MMS entspricht dies einem zusätzlichen Endenergiereckgang pro Jahr im Jahr 2035 von 13,4 TWh.

Abbildung 3-6: Endenergieentwicklung nach Energieträger im MWMS (ohne KWK-Maßnahme)



Quelle: Berechnung Fraunhofer ISI

## Bewertung der Einzelmaßnahmen

Für die Bewertung der Einzelmaßnahmen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MWMS) wird die Wirkung der für das MMS betrachteten Einzelmaßnahmen in einer weiterentwickelten Ausgestaltung mit der Wirkung des jeweiligen Instrumentendesigns im MMS verglichen. Neben den Instrumenten des MMS wird im MWMS zusätzlich auch eine Energieeffizienzverpflichtung betrachtet (siehe Kapitel 2.7.2). Tabelle 3-20 zeigt die wichtigsten Ausgestaltungselemente und Annahmen der Instrumente der in der Einzelbewertung.

Tabelle 3-20: Ausgestaltung des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) sowie zentrale Annahmen für die Wirkungsabschätzung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) sowie Annahmen für die Wirkungsabschätzung
<b>KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren</b>	Wirkungsabschätzung: für alle Programme grundsätzlich Fortschreibung der Fördereffizienz (Endenergieeinsparung pro Fördereuro) aus den vergangenen Jahren Energieeffizientes Sanieren: ab 2021 Anstieg der Förderfälle um rund 25 %; dabei aber Annahme einer im Vergleich zu den vergangenen Jahren etwas geringeren Fördereffizienz, da aufgrund der höheren Anzahl an Förderfällen verstärkt Gebäudeeigentümer mit einer niedrigeren Zahlungsbereitschaft erreicht werden müssen. Energieeffizientes Bauen: ab 2021 Halbierung der Förderfälle, da mit Einführung des Niedrigstenergiegebäudestandards der Großteil der heute von der Förderung erfasssten Neubauten nicht mehr förderfähig ist.
<b>Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien</b>	Ab 2021 Erhöhung der Förderfälle um rund 35 %; Abschätzung der Wirkung unter Zugrundelegung der Fördereffizienz aus den vergangenen Jahren, allerdings etwas reduziert, um Zielgruppen mit niedrigerer Zahlungsbereitschaft ausreichend zu berücksichtigen.
<b>Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsaltanlagen</b>	Anreizprogramm Energieeffizienz und Heizungsaltanlagenlabel: Ausgestaltung analog MMS Förderprogramm Heizungsoptimierung: Beim Programmelement „hydraulischer Abgleich“ wird bis 2035 eine Fortführung mit rund 200.000 geförderten Maßnahmen pro Jahr unterstellt.
<b>Energieeinsparverordnung</b>	Neubaustandard: bis 2020 EnEV 2014; 2021-2030 Standard in Anlehnung an KfW-55; ab 2031 Standard in Anlehnung an KfW-40 Gebäudebestand (inkl. Nachrüstpflichten): keine Änderungen gegenüber dem MMS.
<b>Energieeffizienzverpflichtungssystem</b>	Einführung ab 2021; Annahme, dass rund 20 % der durch das Verpflichtungssystem zusätzlich induzierten Einsparungen durch den Gebäudesektor und dort durch Maßnahmen an der Gebäudehülle erbracht werden.

Quelle: Öko-Institut

Nachfolgende Tabellen zeigen die zusätzliche Wirkung der betrachteten Instrumente im MWMS gegenüber dem MMS. Die zusätzliche Wirkung wird durch Differenzbildung zwischen MWMS und MMS ermittelt.

Tabelle 3-21 und Tabelle 3-22 zeigen die zusätzlichen Einsparungen fossiler Brennstoffe sowie Treibhausgasemissionen gegenüber dem MMS. Die Wirkungen, die aus Änderungen der Strom- und Fernwärmennachfrage resultieren, sind hier nicht enthalten. Diese werden im Umwandlungssektor bilanziert. Wie beim MMS sind die ausgewiesenen Wirkungen bereits um Überlagerungseffekte korrigiert.

Bei der Einsparung an fossilen Brennstoffen sowie den damit einhergehenden Treibhausgasemissionen ist das Marktanreizprogramm das wirkungsmächtigste Instrument. Hinsichtlich seiner Ausgestaltung wurde angenommen, dass sich infolge einer verbesserten Förderung ab dem Jahr 2021 die Anzahl der jährlichen Förderfälle um rund 35 % ansteigt. Dieser Anstieg erfordert Förderbedingungen,

die attraktiv genug sind, um eine ausreichend große Zahl an Hauseigentümern zu motivieren, in EE-Wärmeerzeuger zu investieren. Aus diesem Grund wird angenommen, dass die Fördereffizienz des MAP der letzten Jahre etwas sinkt. Damit soll der Annahme Rechnung getragen werden, dass es für die Ausweitung der Förderfälle notwendig ist, auch Zielgruppen mit niedrigerer Zahlungsbereitschaft in ausreichendem Maße zu gewinnen. Mit der gleichen Methodik wurden die zusätzlichen Einsparungen der KfW-Förderprogramme für energieeffizientes Bauen und Sanieren abgeschätzt.

In der Einzelbewertung führen die betrachteten Instrumente im Vergleich zum MMS im Jahr 2035 zu einer zusätzlichen Einsparung an fossilen Brennstoffen in Höhe von rund 30 TWh. Die zusätzliche Einsparung ist damit mehr als doppelt so hoch wie die über die Modellierung abgeschätzte Einsparung. Mögliche Gründe für diese Überschätzung werden oben diskutiert.

Tabelle 3-21: Zusätzliche Einsparungen fossiler Brennstoffe pro Jahr durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor)

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2016	0	0	8	16	25
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2016	0	0	15	31	46
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsalanlagen	F	2016	0	0	3	6	6
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2016	0	0	0	0	5
Energieeffizienzverpflichtungssystem		2021	0	0	8	18	27

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

Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-22: Zusätzliche Emissionsminderung durch Einsparung fossiler Brennstoffe pro Jahr im MWMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]*	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2016	0,0	0,0	0,5	1,1	1,6
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2016	0,0	0,0	2,6	5,2	7,7
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsalanlagen	F	2016	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Energieeffizienzverpflichtungssystem		2021	0,0	0,0	0,5	1,2	1,8

Anmerkung: \* Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme, Strom und Biomasse  
 Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 5 1 im Anhang, Seite 259  
 Quelle: Berechnung Öko-Institut

Die Auswirkungen auf die Stromnachfrage sind im Vergleich zur Änderung beim Brennstoffbedarf sehr gering (vgl. Tabelle 3-23). Eine eindeutige Aussage, ob ein Instrument zu Stromeinsparung oder zu einer zusätzlichen Nachfrage führt, kann nicht getroffen werden. So werden durch die Instrumente auch Effizienzmaßnahmen und Technologien gefördert, die zu einer erhöhten Stromnachfrage führen, z.B. aufgrund eines höheren Hilfsstrombedarfs durch die zusätzliche Diffusion von Lüftungsanlagen. Ferner haben Änderungen bei den Instrumenten für Neubauten (z.B. das KfW-Programm für energieeffizientes Bauen oder die Anforderungen der EnEV an Neubauten) einen spürbaren Einfluss auf die Stromnachfrage, da bei Neubauten bei der zukünftigen WärmeverSORGUNG ein Stromanteil von 60 % unterstellt wird.

- Bei den KfW-Programmen für energieeffizientes Bauen und Sanieren führt die Zunahme der Förderfälle im Programmelement „Sanieren“ ab dem Jahr 2021 zwar zu einem Rückgang der sektoralen Stromnachfrage. Es wird aber auch angenommen, dass sich die Anzahl der Förderfälle im Programmelement „Bauen“ ab 2021 halbiert, um die dadurch freiwerdenden Fördermittel zu Gunsten des Programmelements „Sanieren“ zu verwenden. Dies führt dazu, dass im MWMS aufgrund des hohen Stromanteils in der WärmeverSORGUNG (Wärmepumpen) die Stromnachfrage des Neubaubereichs höher liegt als im MMS, in dem ein größerer Anteil aller Neubauten durch die KfW gefördert wird. In Summe führen die angenommenen Änderungen am Programmdesign zu einem leichten Anstieg der sektoralen Stromnachfrage.
- Bei der EnEV sinkt im MWMS im Neubaubereich ab 2031 der Mindeststandard auf KfW-40 (im MMS bleibt der Mindeststandard auch nach 2030 bei KfW-55). Daraus ergibt sich für die Jahre 2031-2035 eine kumulierte zusätzliche sektorale Stromeinsparung gegenüber dem MMS.

Tabelle 3-23: Zusätzliche Einsparungen bei der sektoralen Stromnachfrage durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor)

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumen-tentyp	Wirkungs-beginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	F	2016	0,0	0,0	0,4	0,7	1,1
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	F	2016	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,5
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsalanlagen	F	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7
Energieeffizienzverpflichtungssystem		2021	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,4

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang  
 Quelle: Berechnung Öko-Institut

### 3.1.3.5 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Tabelle 3-24 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O 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. 53 Mt CO<sub>2</sub>e, im MWMS sinken sie um etwa 2 Mt CO<sub>2</sub>e mehr auf ca. 51 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Reduktion von knapp 60 % gegenüber 1990 im MMS und von etwa 61 % im MWMS. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 53 % bis 55 %. Da es im MWMS gegenüber dem MMS keine Maßnahmen gibt, die vor 2025 zu einer zusätzlichen Einsparung fossiler Brennstoffe führen, liegen die Emissionen in beiden Szenarien im Jahr 2020 bei rund 76 Mt CO<sub>2</sub>e, was einem Rückgang von ca. 42 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht. Treiber für die Emissionsreduktion im MMS und MWMS 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 Heizölkessel überwiegend in alten unsanierten Gebäuden betrieben werden. Zum anderen reduziert sich der Marktanteil von Heizölkesseln durch Heizungstausch.

Durch die verabschiedeten Maßnahmen sinken die Emissionen im MMS und MWMS zwischen 2020 und 2035 um 9 % bis 16 % in den betrachteten Fünfjahreszeiträumen, wobei die prozentualen Emissionsminderungen im MWMS jeweils um ein bis zwei Prozentpunkte höher liegen als im MMS. Der stärkste Emissionsrückgang in einem Fünfjahreszeitraum ist zwischen den Jahren 2020 und 2025 im MWMS zu beobachten.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass sich die Emissionsreduktionsmaßnahmen hauptsächlich auf die CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen auswirken. Zwischen 2014 und 2035 ergibt sich für CO<sub>2</sub> ein Rückgang um 39 % im MMS und von 41 % im MWMS, für Lachgas ergibt sich in diesem Zeitraum ein Rückgang um 28 % im MMS und um 29 % im MWMS. Bei den CH<sub>4</sub>-Emissionen gibt es hingegen zwischen 2014 und 2035 einen Anstieg der Emissionen um 16 % in beiden Szenarien. Im Vergleich zum Jahr 1990 ist die Reduktion der N<sub>2</sub>O-Emissionen mit 74 % in beiden Szenarien am höchsten, gefolgt von der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 60 % im MMS und 61 % im MWMS. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen reduzieren sich zwischen 1990 und 2035 um 49 % in beiden Szenarien. CO<sub>2</sub> ist und bleibt das mit Abstand dominierende Gas mit 98 % an den Gesamtemissionen der Haushalte im Jahr 1990 wie auch 2035.

Tabelle 3-24: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
<b>Mt CO<sub>2</sub>e</b>								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	128,6	111,0	105,5	84,3				
MMS					74,6	63,9	56,8	51,6
MWMS					74,9 <sup>27</sup>	63,2	55,4	49,7
CH <sub>4</sub> -Emissionen								

<sup>27</sup> Die Emissionen des MWMS liegen im Jahr 2020 auf Grund folgender beider Faktoren höher als im MMS: Zum einen werden die THG-Emissionen der Strom- und Fernwärmennachfrage, die im MWMS geringer sind als im MMS, im Stromsektor bilanziert und führen daher in der vorliegenden Abgrenzung für Gebäude nicht direkt zu einer THG-Minderung. Zum anderen wird der Brennstoffeinsatz im Gebäudebereich durch ein stochastisches Modell bestimmt, wodurch sich trotz gleicher Annahmen leichte Abweichungen zwischen den Szenarien ergeben können. Siehe hierzu die ausführliche Modelldokumentation in Müller (2015) und Steinbach (2015).

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
<b>Mt CO<sub>2</sub>e</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	1,4	0,6	1,0	0,6				
MMS					0,8	0,8	0,8	0,7
MWMS					0,8	0,8	0,8	0,7
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,8	0,3	0,4	0,3				
MMS					0,3	0,2	0,2	0,2
MWMS					0,3	0,2	0,2	0,2
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	130,8	111,9	106,9	85,2				
MMS					75,7	65,0	57,8	52,5
MWMS					76,0	64,2	56,3	50,7
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					<b>Veränderung ab 1990 in %</b>			
Entwicklung 1990 – 2014		-14,5	-18,3	-34,9				
MMS					-42,1	-50,3	-55,8	-59,9
MWMS					-41,9	-50,9	-56,9	-61,3
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					<b>Veränderung ab 2005 in %</b>			
Entwicklung 2005 – 2014			-4,5	-23,9				
MMS					-32,3	-41,9	-48,3	-53,1
MWMS					-32,1	-42,6	-49,7	-54,7

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Im MMS des Projektionsberichts 2015 (BMUB 2016b) betragen die THG-Emissionen des Gebäudesektors im Jahr 2020 77 Mt CO<sub>2</sub>e und im MWMS 63 Mt CO<sub>2</sub>e. Die im Rahmen des Projektionsberichts 2017 ermittelten Emissionsniveaus für den Gebäudesektor sind also mit denen im MMS des Projektionsberichts 2015 vergleichbar. Hintergrund für die niedrigeren Emissionen im MWMS des Projektionsberichts 2015 im Gebäudesektor ist eine andere Abbildung der Minderungswirkung der KWK. Im Projektionsbericht 2015 wurde unterstellt, dass die Wärmeproduktion der neugebauten Erdgas-KWK-Anlagen zu 100 % zu einer Emissionseinsparung im Gebäudesektor führt.<sup>28</sup> Im Rahmen der Erstellung des Projektionsberichts 2017 wurde die Abbildung der KWK-Anlagen im Strommarktmmodell komplett überarbeitet (Kapitel 3.1.7). Betrachtet man die großen Neubauprojekte (z.B. Kiel), so wird deutlich, dass diese KWK-Anlagen in erster Linie die Produktion von Altanlagen, die bisher schon im Stromsektor bilanziert wurden, ersetzen. Deshalb werden die Minderungswirkungen durch KWK im Projektionsbericht 2017 vollständig im Stromsektor bilanziert. Die Ergebnisse für den Gebäudesektor aus dem vorliegenden Projektionsbericht sind aus diesem Grund nur begrenzt mit dem MWMS aus dem letzten Projektionsbericht vergleichbar.

Tabelle 3-25 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erziel-

<sup>28</sup> Eine Aufteilung der Wärmeproduktion auf die verschiedenen Nachfragesektoren war damals nicht möglich.

ten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 28 Mt CO<sub>2</sub>e, im MWMS sinken sie um 1,3 Mt CO<sub>2</sub>e mehr auf ca. 27 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Reduktion von etwa 68 % gegenüber 1990 im MMS und von knapp 70 % im MWMS. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 42 % bis 45 %. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen in beiden Szenarien bei rund 43 Mt CO<sub>2</sub>e, was einem Rückgang von ca. 52 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht.

Auch bedingt durch den Effekt, dass das Jahr 2014 sehr warm war und folglich weniger Brennstoffe zur Wärmebereitstellung genutzt wurden, liegen die Emissionen im MMS und MWMS im Jahr 2020 über denen des Jahres 2014. Danach sinken sie durch die verabschiedeten Maßnahmen im MMS und MWMS zwischen 2020 und 2035 um 12 % bis 16 % in den betrachteten Fünfjahreszeiträumen, wobei die prozentualen Emissionsminderungen im MWMS jeweils um ca. einen Prozentpunkt höher liegen als im MMS. Der stärkste Emissionsrückgang in einem Fünfjahreszeitraum ist zwischen den Jahren 2030 und 2035 im MWMS zu beobachten.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass sich die Emissionsreduktionsmaßnahmen auf CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auswirken. Zwischen 2014 und 2035 ergibt sich für CO<sub>2</sub> ein Rückgang um 29 % im MMS und von 32 % im MWMS, für Methan ergibt sich in diesem Zeitraum ein Rückgang um 96 % im MMS und MWMS und für Lachgas ergibt sich in diesem Zeitraum ein Rückgang um 44 % im MMS und um 47 % im MWMS. Im Vergleich zum Jahr 1990 wird bei den Methanemissionen eine fast vollständige Emissionsneutralität erreicht (Rückgang um 99 % in beiden Szenarien). Die Reduktion der CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen liegt im Zeitraum 1990 bis 2035 bei ca. 70 %. CO<sub>2</sub> war mit 97 % das mit Abstand dominierende Gas an den Gesamtemissionen des Sektors GHD im Jahr 1990, im Jahr 2035 wird es seinen Anteil an den Gesamtemissionen auf 100 % steigern.

Tabelle 3-25: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
<b>Mt CO<sub>2</sub>e</b>								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	86,2	47,6	47,2	38,9				
MMS					42,3	37,4	32,6	27,8
MWMS					42,3	36,9	31,6	26,5
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	2,0	0,1	0,2	0,4				
MMS					0,1	0,0	0,0	0,0
MWMS					0,1	0,0	0,0	0,0
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,3	0,2	0,2	0,1				
MMS					0,1	0,1	0,1	0,1
MWMS					0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	88,4	47,9	47,6	39,5				
MMS					42,5	37,5	32,7	27,9
MWMS					42,5	37,0	31,7	26,6

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
<b>Mt CO<sub>2</sub>e</b>								
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>	<b>Veränderung ab 1990 in %</b>							
Entwicklung 1990 – 2014		-45,8	-46,1	-55,4				
MMS					-51,9	-57,6	-63,0	-68,4
MWMS					-51,9	-58,1	-64,2	-69,9
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>	<b>Veränderung ab 2005 in %</b>							
Entwicklung 2005 – 2014			-0,6	-17,6				
MMS					-11,2	-21,7	-31,7	-41,7
MWMS					-11,2	-22,7	-33,9	-44,5

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

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

### 3.1.4 Private Haushalte – Strom

#### 3.1.4.1 Methodik

Die Berechnungen der zukünftigen Stromnachfrage der Haushaltsgeräte in den privaten Haushalten erfolgt wie in den Sektoren GHD und Industrie (Kapitel 3.1.3/3.1.5) mit der Energienachfrageplattform FORECAST (siehe auch Kapitel 3.1.5.1). Das Sektor-Modell für den Haushaltssektor, FORECAST-Residential, setzt sich neben einem Modul für die Haushaltsgärte auch aus Modulen für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung sowie einem Modul für die Berechnung der Stromnachfrage durch Elektromobilität zusammen, wobei im Rahmen dieser Studie ausschließlich das Geräte-Modul zum Einsatz kommt. Die anderen Teilbereiche der Endenergiennachfrage des Haushaltssektors werden bereits über andere Modelle (siehe Kapitel 3.1.2.1 zum Verkehr und Kapitel 3.1.3.1 zu den Gebäuden) abgedeckt.

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

- a) Große elektrische Haushaltsgärte (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 von potentiell neuen Geräten, die bis 2035 neu in den Markt diffundieren.

Die aufgeführten Gerätetypen beinhalten bis auf die Herde ausschließlich strombasierte Anwendungen.

Aufgrund der hohen Datenverfügbarkeit über die Anzahl und die durchschnittlichen spezifischen Verbräuche von Haushaltsgeräten wird deren Endenergiennachfrage 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 Gerätbestandes 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 ersetzen Altgeräte und des Bestandszuwachses, die als Neugeräte in den Bestand diffundieren, orientiert sich an der Ausgestaltung eines Szenarios. Die jährliche Endenergiennachfrage 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 (bei der Beleuchtung entspricht dies dem Anteil der Beleuchtungspunkte pro Wohneinheit) und der Anzahl der privaten Haushalte.

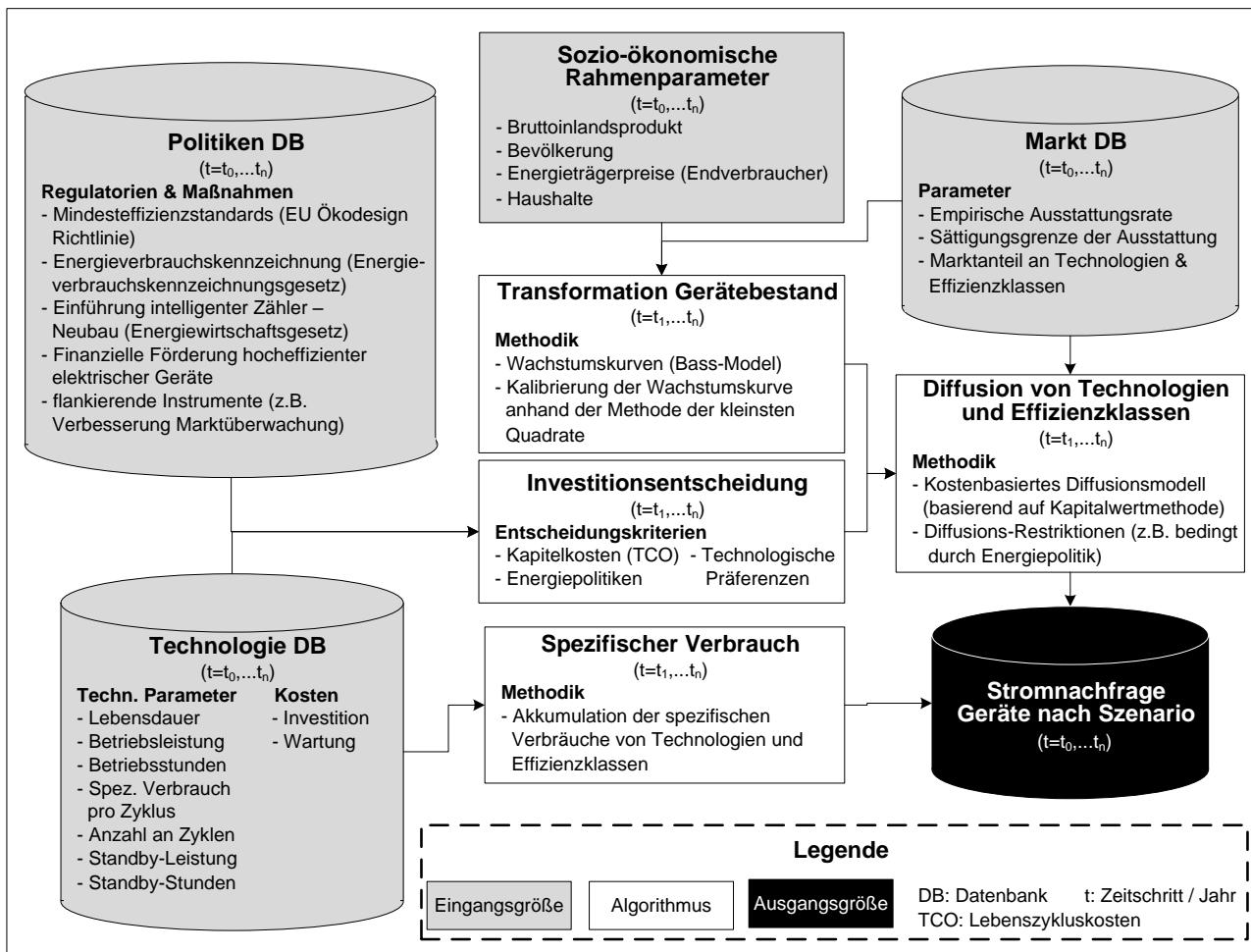
Dieser Aufbau gilt grundsätzlich für alle berücksichtigten Gerätekategorien mit Ausnahme des Restaggregats der sonstigen elektrischen Anwendungen. Bei dieser Kategorie lässt sich dieser Ansatz aufgrund der großen Heterogenität nicht durchführen. Die Stromnachfrage im Basisjahr wird für die sonstigen 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 Kapitelwertmethode durchgeführt, die folgende Kostenkategorien berücksichtigt (Elsland 2016):

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

Ein Überblick über die qualitativen Zusammenhänge der Modellberechnung ist in Abbildung 3-17 dargestellt.

Abbildung 3-7: Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul)



Quelle: Elsland 2016

### 3.1.4.2 Annahmen und Parameter

#### 3.1.4.2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

##### Gerätebestand

Der Gerätebestand wird hier über die geschätzte Entwicklung der Ausstattungsraten ermittelt, die mit der angenommenen Anzahl an Haushalten (siehe Kapitel 2.6.2) multipliziert wird. Die Annahmen zur Entwicklung der Ausstattungsraten orientieren sich dabei an den in den Politikszenarien 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 3-26

Die jeweiligen Ausstattungsraten der privaten Haushalte mit elektrischen Haushaltsgeräten im Basisjahr 2008 werden auf Grundlage der regelmäßigen Veröffentlichungen des ZVEI ermittelt. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung wird für die meisten großen elektrischen Haushaltsgeräte mit nur noch geringfügig steigenden oder konstanten Ausstattungsraten gerechnet. Der moderate Bestandszuwachs ist daher überwiegend auf den angenommenen Anstieg der Anzahl an Haushalten von 39,18 Mio. im Jahr 2008 auf rund 41,47 Mio. im Jahr 2035 zurückzuführen. Lediglich bei Spülmaschinen und Wäschetrocknern wird bis 2020 noch ein größerer Bestandszuwachs angenommen. Insgesamt

samt 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. 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 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 EuP-Vorstudie Lot 10 (2008) zu Raumklimageräten in privaten Haushalten und eine darauf aufbauende Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (Barthel et al. 2010).

Tabelle 3-26: Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten

Gerätebestand	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	1.000 Stück						
<b>Große Elektrische HH-Geräte</b>							
Kühlschränke	40.710	41.048	41.570	42.518	42.950	43.203	43.493
Gefrierschränke	26.658	26.943	27.389	28.206	28.669	29.010	29.388
Waschmaschinen	36.367	36.651	37.105	37.960	38.330	38.553	38.824
Geschirrspüler	25.417	26.199	27.233	28.672	29.431	29.857	30.193
Trockner	17.281	19.421	22.367	26.402	28.929	30.414	31.342
Herde (Gas- und Elektroherde)	39.517	39.756	40.149	40.914	41.179	41.295	41.474
<b>IKT -Endgeräte</b>							
Desktop-PC	31.025	32.350	34.106	36.405	35.402	31.265	31.025
Computer-Bildschirm	31.708	32.322	33.267	34.932	36.151	37.199	38.272
Laptops	12.132	13.720	16.216	20.698	25.675	31.847	39.885
Fernseher	57.624	58.843	60.701	63.915	66.217	68.141	70.053
Set-Top-Boxen	34.953	35.188	36.443	39.244	41.357	42.303	43.133
Router	22.596	23.289	24.314	25.997	27.228	28.217	29.123
<b>Beleuchtung</b>	<b>1.276.390</b>	<b>1.295.551</b>	<b>1.324.771</b>	<b>1.375.624</b>	<b>1.407.625</b>	<b>1.432.222</b>	<b>1.456.851</b>
<b>Klimageräte</b>	<b>1.431</b>	<b>1.880</b>	<b>2.634</b>	<b>4.108</b>	<b>5.720</b>	<b>7.367</b>	<b>8.954</b>

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 (2014a), Fraunhofer IZM (2015), Van Holsteijn en Kemna B.V. 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 in den beiden Szenarien getroffen werden, wird gerätespezifisch in Zusammenhang mit der Quantifizierung dieser Maßnahme dargestellt (siehe dazu die entsprechenden Ausführungen in den nachfolgenden Kapiteln 3.1.4.3 und 3.1.4.4). 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 Monitore 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 3-27. Danach liegt der erwartete Rückgang des spezifischen Stromverbrauchs für die meisten großen elektrischen Geräte bis 2035 zwischen 20 und 55 Prozent. Im Bereich der IKT-Geräte fallen die erwarteten spezifischen Verbrauchsreduktionen sehr unterschiedlich aus, da manche Geräte durch andere verdrängt werden, während bestimmte Geräte einen Technologiewechsel erfahren. Bei Klimageräten liegt der erwartete spezifische Verbrauchsrückgang im MMS bei etwa 19 % bis 2035. Die Entwicklung wird hier vor allem durch die angenommenen Anteile der Effizienzklassen an den künftigen Geräteverkäufen bestimmt.

Tabelle 3-27: Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MMS

Spezifischer Geräteverbrauch	2008	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	kWh/Gerät	MMS: Veränderung gegenüber 2008 in %						
<b>Große elektrische HH-Geräte</b>								
Kühlschränke	276,90	-1,66	-7,51	-16,97	-34,85	-47,20	-50,09	-53,09
Gefrierschränke	275,80	-0,91	-5,33	-12,62	-26,79	-39,96	-46,63	-50,65
Waschmaschine	174,50	-1,72	-4,36	-9,17	-17,82	-21,89	-22,35	-22,35
Geschirrspüler	207,10	-2,85	-5,99	-10,67	-17,77	-18,35	-18,30	-18,25
Trockner	268,00	-6,46	-12,31	-19,55	-28,17	-30,52	-30,41	-30,26
Elektroherd	344,66	-1,82	-0,43	-0,16	-5,64	-14,61	-29,86	-40,00
<b>IKT-Endgeräte</b>								
Desktop-PC	122,70	0,00	-10,27	-24,37	-45,56	-64,79	-70,66	-70,66
Computer-Bildschirm	48,80	-1,43	-10,45	-22,54	-38,52	-51,64	-53,48	-53,48
Laptops	29,40	0,00	2,04	4,76	6,80	6,12	3,74	3,74
Fernseher	210,00	-1,67	-3,14	-5,48	-11,05	-20,00	-26,90	-27,24
Set-Top-Boxen	48,60	2,26	4,53	5,56	6,79	7,20	7,00	5,97
Router	75,00	0,00	-1,20	-2,80	-6,40	-11,73	-15,87	-15,87

Spezifischer Geräteverbrauch	2008	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	kWh/Gerät	MMS: Veränderung gegenüber 2008 in %						
Beleuchtung pro Haushalt	288,48	-14,31	-21,58	-28,74	-37,32	-47,10	-50,90	-50,09
Klimaanlage	438,70	-4,10	-7,48	-11,03	-15,80	-18,28	-18,58	-18,53

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 (2014a), Fraunhofer IZM (2015), Van Holsteijn en Kemna B.V. et al. (2014), Schätzung Fraunhofer ISI

### 3.1.4.2.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

#### Gerätebestand

Die Ausstattungsraten im Bereich Haushaltsgeräte, Beleuchtung und Kühlung werden nicht von den in MWMS betrachteten Maßnahmen beeinflusst, so dass die Abschätzungen für den Gerätebestand sich nicht unterscheiden zwischen MMS und MWMS. Der abgeschätzte Gerätebestand ist daher gleich wie im MMS (siehe Tabelle 3-26).

#### Spezifischer Geräteverbrauch

Die im MWMS betrachteten Maßnahmen induzieren zusätzliche Reduktionen des spezifischen Geräteverbrauchs (siehe Tabelle 3-28). Dieser kommt im Wesentlichen durch eine schnellere Durchdringung des Marktes mit hocheffizienten Geräten zustande. Im Vergleich zum MMS bestehen im MWMS größere Unsicherheiten bezüglich der Reduktion des spezifischen Verbrauches, da insbesondere bei der Einführung eines Verpflichtungssystems bisher nicht absehbar ist, welche Gerätekategorien hauptsächlich adressiert werden. Für Beleuchtung wird im MWMS eine vollständige Marktdurchdringung mit hocheffizienten LED-Lampen angenommen. Hierfür sind eine ambitionierte Auslegung der Ökodesign-Richtlinie sowie eine effektive Marktüberwachung notwendig. Zusätzlich wird angenommen, dass die Marktdurchdringung durch die Effizienzverpflichtung unterstützt wird.

Tabelle 3-28: Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MWMS

Spezifischer Geräteverbrauch	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	MWMS: Veränderung gegenüber MMS in %						
Große elektrische HH-Geräte	0,0	0,0	0,0	-0,6	-3,0	-6,7	-8,2
IKT-Endgeräte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-2,6
Beleuchtung	0,0	0,0	0,0	-17,0	-50,5	-50,0	-49,4
Klimaanlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: Schätzung Fraunhofer ISI

### 3.1.4.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Einen Überblick über die Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte im MMS nach Anwendungsbereichen gibt Tabelle 3-29. Dabei verzeichnen die privaten Haushalte bis 2035 einen kontinuierlichen Rückgang des Stromverbrauchs.

Tabelle 3-29: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MMS

Stromverbrauch MMS	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
TWh							
Weißer Ware	34,05	33,33	31,90	28,77	26,61	26,19	25,88
Elektroherd	13,37	13,64	13,82	13,31	12,12	9,98	8,58
IKT-Endgeräte	21,02	20,87	20,62	19,93	18,27	17,39	17,76
Beleuchtung	10,11	9,22	8,34	7,29	6,13	5,64	5,67
Klimaanlage	0,60	0,76	1,03	1,52	2,05	2,63	3,20
Sonstiger Strom	31,49	31,35	33,83	33,52	33,41	33,80	34,18
<b>Summe</b>	<b>110,65</b>	<b>109,17</b>	<b>109,52</b>	<b>104,33</b>	<b>98,59</b>	<b>95,64</b>	<b>95,28</b>

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Wie bereits im Bereich der Gebäude angemerkt ist auch für den Stromverbrauch privater Haushalte eine Bewertung auf Einzelmaßnahmenebene durch instrumentenscharfe Zurechnung von Energie- und Treibhausgaseinsparungen methodisch nicht einwandfrei. Dies wird insbesondere am Beispiel der Zusammenwirkung der Ökodesign-Richtlinie und der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung deutlich, bei denen gerade das Zusammenspiel der beiden Instrumente seine volle Wirkung entfaltet. Dieser Abschnitt beschreibt eine – wie bereits erwähnt teilweise methodisch zu hinterfragende – Wirkungsabschätzung der zentralen Politikinstrumente. Hierzu werden die Ergebnisse des MMS verglichen mit einem Szenario, 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 3-16 grenzt die zu quantifizierenden Maßnahmenwirkungen ab und definiert die entsprechenden Vergleichsszenarien.

Tabelle 3-30: Definition der Vergleichsszenarien zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahmen	Definition Vergleichsszenario ( <i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i> )
Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie und Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)	Um die Effekte der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung 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 und STEP up! Strom (Anteil Strom private Haushalte)	Wie auch bei den Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie und Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV) werden die beiden Maßnahmen zunächst gebündelt betrachtet, indem im Vergleichsszenario die unterstützenden Wirkungen der beiden Maßnahmen zur Diffusion effizienter Technologien nicht berücksichtigt

Einzelmaßnahmen	Definition Vergleichsszenario ( <i>Ohne-Maßnahmen-Szenario</i> )
	werden. Im Nachgang erfolgt eine Abschätzung der anteiligen Aufteilung der Wirkungen.

Quelle: Fraunhofer ISI

Im MMS werden dabei als relevante Maßnahmen die Wirkung der Mindeststandards basierend auf der EU-Ökodesign-Richtlinie, die Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV), die Ökosteuer, die wettbewerblichen Ausschreibungen (STEP up! Strom), die NTRI, sowie die Beratung einkommensschwacher Haushalte (Stromspar-Check) abgeschätzt. Auf Grundlage der oben dargestellten Annahmen ergeben sich dadurch im MMS im Jahr 2020 jährliche Einsparungen in Höhe von 20,3 TWh. Im Jahr 2030 steigen diese auf rund 33,9 TWh und im Jahr 2035 auf 37,4 (siehe nachfolgende Tabelle 3-31). Die größten Einsparungen ergeben sich durch die Ökodesign-Richtlinie, gefolgt von der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung.

Tabelle 3-31: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MMS

Maßnahme	Instru- men- tentyp	Wirkungsbeginn	Einsparungen am Stromaufkom- men				
			2015	2020	2025	2030	2035
TWh							
Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie	R	Schrittweise Umsetzung seit 2009	5,7	14,9	19,9	20,7	22,8
Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)	R/I	Quantifiziert ab Einführung des neuen Energielabels 2010	1,9	3,0	5,2	6,4	7,3
Ökosteuer	E	Quantifiziert ab 2008	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
STEP up! Strom (Anteil Strom private Haushalte)	E	Quantifiziert ab 2017	-	0,6	1,3	1,6	1,6
NTRI	I	Quantifiziert ab 2016	-	1,1	2,5	2,8	3,2
Energieberatung für einkommensschwache Haushalte (Stromspar Check)	I	Quantifiziert ab 2009	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2
Flankierende Instrumente		Laufende Umsetzungsmaßnahmen	-	0,1	0,9	1,6	1,7
<b>Summe aller Einzelmaßnahmen</b>			<b>8,0</b>	<b>20,2</b>	<b>30,3</b>	<b>33,7</b>	<b>37,2</b>

Quelle: Schätzung Fraunhofer ISI

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

### 3.1.4.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Im MWMS werden zusätzlich zum MMS die folgenden Maßnahmen betrachtet:

Tabelle 3-32: Übersicht der Maßnahmen im Bereich private Haushalte-Strom (MWMS)

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Wirkungsbeginn
Mindeststandards nach Ökodesign-Richtlinie	R	Im MWMS werden weitere Umsetzungsmaßnahmen aggregiert betrachtet.	Wirkung berechnet ab 2017
Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)	R/I	Es wird angenommen dass Deutschland sich (erfolgreich) für eine ambitionierte Reskalierung des Europäischen Energielabels einsetzt.	Wirkung berechnet ab 2017
Verpflichtungssystem (Anteil Strom private Haushalte)	R	Es wird angenommen dass durch die Effizienzverpflichtung eine beschleunigte Marktdurchdringung mit effizienten Geräten im Bereich weiße Ware und Beleuchtung erzielt wird.	Wirkung berechnet ab 2016

Quelle: Fraunhofer ISI

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Tabelle 3-33 gibt einen Überblick über die Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte im MWMS nach Anwendungsbereichen. Dabei verzeichnen die privaten Haushalte bis 2035 einen kontinuierlichen Rückgang des Stromverbrauchs, der im Vergleich zum MMS insbesondere im Bereich Beleuchtung, Weiße Ware und IKT noch deutlich ausgeprägter ist. Des Weiteren geht der als sonstiger Strombedarf ausgewiesene Anteil zurück, da angenommen wird, dass weitere, bisher nicht modellierte Geräte adressiert werden. Im Vergleich zum MMS ist der Stromverbrauch im Jahr 2035 um insgesamt 6 % geringer, wobei die größten Einsparungen im Vergleich zum MMS im Bereich Beleuchtung (ca. 49 %) und Weiße Ware (ca. 8 %) liegen. Der sonstige Strombedarf, etwa für elektrische Kleingeräte und neue IKT entwickelt sich zum wichtigsten Bestandteil im Jahr 2035 mit einem Anteil von über 30 %. Hier ist die Vorhersage allerdings mit großer Unsicherheit behaftet, da nicht präzise abschätzbar ist, welchen spezifischen Verbrauch und welche Verbreitung die neuen Technologien haben werden.

Tabelle 3-33: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MWMS

Stromverbrauch MWMS	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
TWh							

Stromverbrauch MWMS	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
TWh							
Weißer Ware	34,05	33,33	31,90	28,56	25,73	24,32	23,72
Elektroherd	13,37	13,64	13,82	13,31	12,12	9,98	8,58
IKT-Endgeräte	21,02	20,87	20,62	19,93	18,27	17,28	17,12
Beleuchtung	10,11	9,22	8,34	6,05	3,04	2,82	2,87
Klimaanlage	0,60	0,76	1,03	1,52	2,05	2,63	3,20
Sonstiger Strom	31,49	31,35	33,83	33,61	29,66	27,64	26,89
<b>Summe</b>	<b>110,65</b>	<b>109,17</b>	<b>109,52</b>	<b>102,97</b>	<b>90,87</b>	<b>84,68</b>	<b>82,38</b>

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Tabelle 3-34 stellt die Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte im MWMS dar. Insbesondere bei der Maßnahme Verpflichtungssystem stehen nur begrenzte Erfahrungswerte zur Verfügung, so dass die Unsicherheiten in der Wirkungsabschätzung deutlich größer sind als im MMS.

Tabelle 3-34: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MWMS

Maßnahme	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	Einsparungen am Stromaufkommen (zusätzlich zu MMS)				
			2015	2020	2025	2030	2035
TWh							
Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie	R	Quantifiziert ab 2017	-	0,6	2,0	2,4	2,5
Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)	R/I	Quantifiziert ab 2017	-	0,9	3,0	3,6	3,6
Verpflichtungssystem	R	Quantifiziert ab 2021	-	-	1,2	3,0	3,7
<b>Summe aller Einzelmaßnahmen</b>			<b>0</b>	<b>1,5</b>	<b>6,2</b>	<b>9,0</b>	<b>9,8</b>

Quelle: Schätzung Fraunhofer ISI

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

### 3.1.5 Industrie

#### 3.1.5.1 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 **Energieanfragemodell FORECAST**<sup>29</sup> eingesetzt.

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 an-

<sup>29</sup> Weitere Informationen siehe <http://www.forecast-model.eu/>

deren 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.

- a) Zunächst werden für jedes Szenario die wesentlichen Bestimmungsfaktoren (Aktivitätsgrößen) bestimmt, 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 selbst wirtschaftliche Maßnahmen mit sehr kurzer Amortisationszeit aufgrund verschiedenster Hemmnisse nur langsam Verbreitung finden, wird das Kriterium für die Wirtschaftlichkeit deutlich ambitionierter als für andere Investitionen angenommen.

Im Folgenden wird das SektorModul FORECAST-Industry beschrieben, während das Modul FORECAST-Tertiary in Abschnitt 3.1.6.1 und FORECAST-Residential in Abschnitt 3.1.4.1 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.

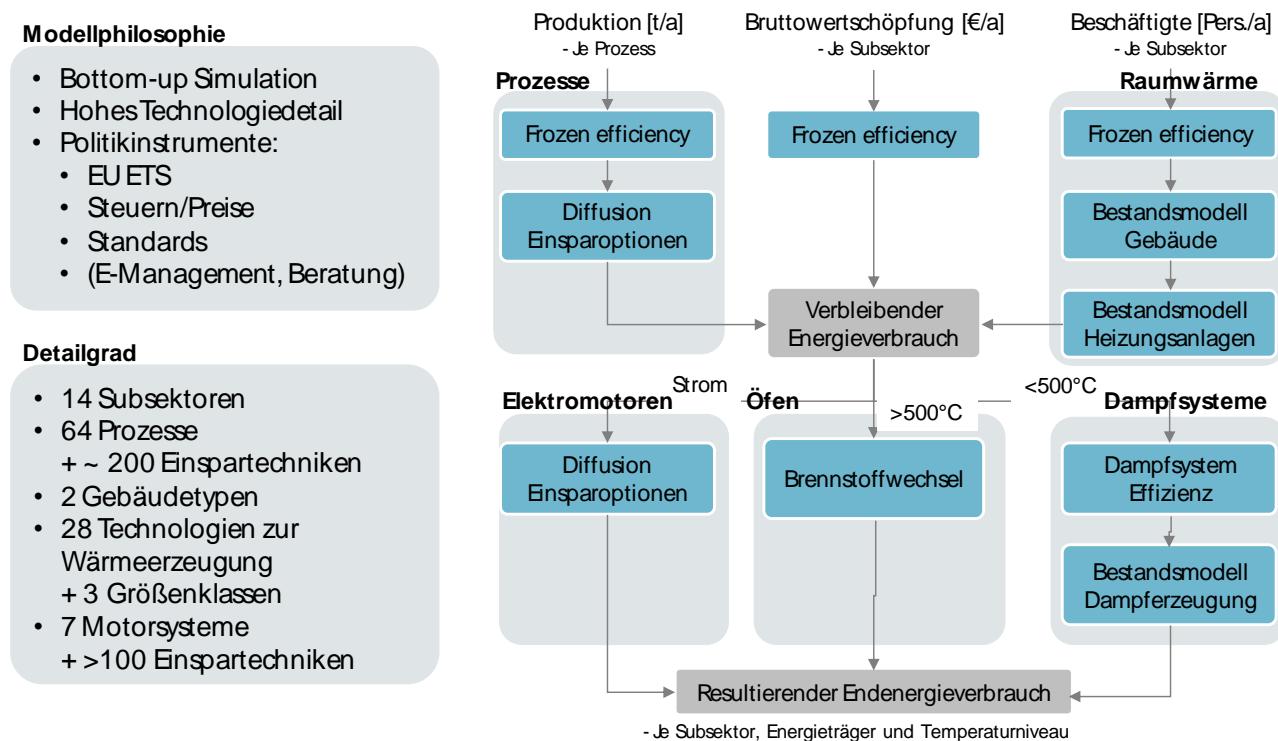
Eine große Herausforderung bei der bottom-up Modellierung der Industrie ist die hohe Vielfalt an unterschiedlichen Prozessen und Unternehmen, welche technologisch im Modell abgebildet werden müssen. Entsprechend orientiert sich die Struktur des Modells zum einen an der Struktur des Industriesektors wobei 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, Industriöfen (Brennstoffwechsel) und Warmwasser- und Dampferzeugung und Verteilung* unterschieden werden (siehe auch Abbildung 3-8 zur grundlegenden Struktur des Modells):

- a) *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.
- b) *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.

- c) 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).
- d) 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 (der Ansatz ähnelt Kesicki & Yanagisawa [2015]).
- e) *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 3-8: Überblick des Modells FORECAST-Industry



Quelle: eigene Darstellung

Die Branchenstruktur des Industriemodells (Tabelle 3-35) orientiert sich an der Einteilung der Energiebilanzen. Nach Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2003) umfasst sie die beiden Sektoren „Verarbeitendes Gewerbe“ (WZ 2003 Nr. „C“) und Teile des Sektors „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ (WZ 2003 „B“), die nicht der Energiegewinnung dienen.

Tabelle 3-35: 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
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

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. CO<sub>2</sub>-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 für das MMS und das MWMS Technologie und Emissionspfade bis zum Jahr 2035 zu rechnen. Somit wird sichergestellt, dass die resultierende Technologieentwicklung einem möglichst realitätsnahen Rahmen folgt, selbst wenn viele Maßnahmen über Einzelbewertungen quantifiziert werden.

Tabelle 3-36 gibt an, für welche Maßnahmen die Einzelbewertung bzw. die Modellbewertung mit FORECAST durchgeführt wurde. Weiterhin wird für Maßnahmen mit Einzelbewertung angegeben, welche Abzüge für Überschneidungen mit anderen Maßnahmen und Mitnahmeeffekte berücksichtigt wurden. Für Maßnahmen, die mit FORECAST bewertet wurden, werden entsprechende Effekte 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). Unsicherheiten bei Überschneidungen sind noch sehr hoch. 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 3-36: Übersicht der Maßnahmen im Industriesektor: 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	39 %	10 %
MMS	EEG-Umlage	FORECAST	n.V.	n.V.
MMS	Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	Einzelbewertung	48 %	10 %
MMS	Energieberatung Mittelstand	Einzelbewertung	20 %	n.V.
MMS	Mindeststandards I	FORECAST	n.V.	n.V.
MMS	Förderung Querschnittstechniken	Einzelbewertung	30 %	25 %
MMS	Förderung Prozesstechniken	Einzelbewertung	15 %	15 %
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 %
MWMS	KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	Einzelbewertung	30 %	30 %
MWMS	Mindeststandards II: Neue Lose	FORECAST	n.V.	n.V.
MWMS	CO2-arme Industrieprozesse	FORECAST	n.V.	n.V.
MWMS	Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	Einzelbewertung	20 %	15 %
MWMS	Effizienzverpflichtung	Einzelbewertung	0 %	0 %

### 3.1.5.2 Annahmen und Parameter MMS

#### EU-Emissionshandelssystem

Für die Quantifizierung der Wirkungen des EU-Emissionshandels stellen die Zertifikatspreise die zentrale Annahme dar (2020: 15 Euro/t CO<sub>2</sub>, 2030: 33,5 Euro/t CO<sub>2</sub>, siehe Abschnitt 2.3). Die Preise verbessern im Modell die Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Technologien und CO<sub>2</sub>-armen Energieträgern. Entsprechend gewinnen diese höhere 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 3-36 dem Emissionshandel zugeordnet, wobei zwischen der Handelsperiode von 2008 bis 2012 und dem Zeitraum nach 2012 unterschieden wird. 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 3-37: Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und -produkte zum Emissionshandel

Prozess	2008-2012	post 2012
<b>Roheisen und Stahl</b>		
Direkte Reduktion	Ja	Ja
Elektrostahl - EAF	Ja	Ja
Oxygenstahl - Hochofen	Ja	Ja
Schmelzreduktion	Ja	Ja
Walzstahl	Nein	Ja
<b>Zementklinker und Kalk</b>		
Gips	Ja	Ja
Kalkbrennen	Ja	Ja
Klinker Brennen (halbgetrocknet)	Ja	Ja
Klinker Brennen (trocken)	Ja	Ja
Ziegel	Ja	Ja
<b>Nichteisenmetalle</b>		
Aluminium Gießereien	Nein	Ja
Aluminium Walzen	Nein	Ja
Aluminium primär	Nein	Ja
Aluminium sekundär	Nein	Ja
Aluminium Strangpressen	Nein	Ja
Kupfer primär	Nein	Ja
Kupfer sekundär	Nein	Ja
Kupferbearbeitung	Nein	Ja
Primärzink	Nein	Ja
Sekundärzink	Nein	Ja
<b>Keramische Erzeugnisse durch Brennen</b>		
Feuerfestkeramik	Ja	Ja
Fliesen, Platten, Andere	Ja	Ja
Haushaltswaren	Ja	Ja
Sanitärkeramik	Ja	Ja
Technische Keramik	Ja	Ja
<b>Glas einschließlich Glasfasern</b>		
Behälterglas	Ja	Ja
Flachglas	Ja	Ja
Glasfasern	Ja	Ja
Übriges Glas	Ja	Ja
<b>Zellstoff, Papier und Pappe</b>		
Altpapierstoff	Ja	Ja

Prozess	2008-2012	post 2012
Holzstoff - Verfahren	Ja	Ja
Papier	Ja	Ja
Zellstoff - Verfahren	Ja	Ja
<b>Chemische Produkte</b>		
Adipinsäure	Nein	Ja
Ammoniak	Nein	Ja
Ethylen	Ja	Ja
Industrieruß	Ja	Ja
Methanol	Nein	Ja
Polycarbonat	Nein	Ja
Polyethylen	Nein	Ja
Polypropylen	Nein	Ja
Salpetersäure	Nein	Ja
Soda	Nein	Ja
<b>Andere</b>		
Zucker	Ja	Ja

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 CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreises 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 CO<sub>2</sub>-Preisen ausgehen. Das bedeutet, eine Investition, die im Jahr 2030 getätigt wird, wird mit einem CO<sub>2</sub>-Preis von 33,5 Euro/t CO<sub>2</sub> bewertet.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass bisher keine belastbaren empirischen Studien zur Wirkung des Emissionshandels verfügbar sind, die für die Kalibrierung des Modells genutzt werden könnten.

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 CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreises 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 einen ermäßigen Steuersatz bezahlen. Es wird weiterhin angenommen, dass diese 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 3-38 aufgeführten Prozesse direkt von der Energie- und Stromsteuer ausgenommen.

Die in Tabelle 3-41 und Tabelle 3-42 aufgeführte Wirkung enthält nicht die Effekte durch den so genannten Spitzenausgleich, welche wie im Folgenden beschrieben, separat quantifiziert werden.

Tabelle 3-38: Von der Strom- bzw. Energiesteuer entlastete Produktionsprozesse

Prozess	Stromsteuer	Energiesteuer
<b>Thermische Abfall- oder Abluftbehandlung</b>		X
<b>Elektrolyse</b>	x	
<b>Herstellung von:</b>		
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
Asphalt	x	X
Waren aus Graphit oder anderen Kohlenstoffen	x	X
Erzeugnissen aus Porenbetonerzeugnissen	x	X
Mineralischen Düngemitteln	x	X
<b>Prozesse der vorgenannten Erzeugnisse und Vorprodukte</b>		
Trocknen	x	X
Brennen	x	X
Schmelzen	x	X
Erwärmen	x	X
Warmhalten	x	X
Entspannen	x	X
Tempern	x	X
Sintern	x	X
<b>Metallerzeugung und -bearbeitung (nur Wärmestrom bzw. Ener-</b>	x	X

Prozess	Stromsteuer	Energiesteuer
gieerzeugnisse zum Verheizen)		
Im Rahmen der Herstellung von Metallerzeugnissen für die:		
Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh-, und Stanzteilen	x	x
Gewalzen Ringen	x	x
Pulvermetallurgischen Erzeugnissen	x	x
Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung	x	x
<b>Chemische Reduktionsverfahren</b>	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.<sup>30</sup>

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 2 Jahre lagen, würden somit 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 neuen jährlichen Stromeinsparungen von im Mittel etwa 0,6 % des Stromverbrauchs der Unternehmen.

Ob beide Werte, 0,6 % oder 2 % für den Spitzenausgleich realitätsnahe Annahmen darstellen, ist ungewiss. Da bei EMS im Rahmen des Spitzenausgleichs völlig 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).

Eine große Unsicherheit in der Berechnung stellt die Referenz, d.h. der Fall ohne Energiemanagementsysteme dar, da derzeit nicht bekannt ist, wie viele Unternehmen des Produzierenden Gewerbes bereits ohne diese Anreize ein Energiemanagementsystem betreiben. Für die Hochrechnung wurde von 10 % ausgegangen. Relativ gut schätzen lässt sich der Anteil des Produzierenden Gewerbes, der vom Spitzenausgleich profitiert. Laut Subventionsbericht (BMF 2015) der Bundesregierung sind für das Jahr 2014 2,1Mrd. Euro Steuermindereinnahmen aufgrund des Spitzenausgleichs zu verzeichnen, wovon 1,9 Mrd. auf den Stromverbrauch und 0,2 Mrd. auf die Energieerzeugnisse entfallen

<sup>30</sup> 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.

(§ 10 StromStG, § 55 EnergieStG). Diese erhalten im Mittel eine Vergünstigung von 14 Euro je MWh Stromverbrauch.

### 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.

Tabelle 3-38 zeigt eine Übersicht der Voraussetzungen für Vergünstigungen nach BesAR und Spitzenausgleich. Wenngleich 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 man sicher gehen, dass sich die Instrumente nicht überschneiden. In Summe entsprachen die Prozesse bei Strom etwa 35 TWh im Jahr 2015, während sich die von der BesAR betroffene (privilegierte) Strommenge im produzierenden Gewerbe im gleichen Jahr auf 99,5 TWh belief (Prognos 2016c). Folglich sind 35 % hiervon überschneidungsfrei. Allerdings ist unklar, wie viele der Unternehmen auch ohne BesAR bereits ein Energiemanagementsystem eingeführt hätten. Es wird daher wie beim Spitzenausgleich davon ausgegangen, dass dies bei 10 % der betroffenen Unternehmen der Fall gewesen wäre.

Tabelle 3-39: 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 2015

Segment <sup>[1]</sup>		Besondere Ausgleichsregelung der EEG-Umlage (BesAR)	Spitzenausgleich im EnergieStG und StromStG <sup>[4]</sup>
Strom >5 GWh/a	Prozesse <sup>[2]</sup>	Entlastung wenn EMS und SKI > 14/16/20 % <sup>[3]</sup>	Ausgenommen (~35 TWh)
	Keine Prozesse	Entlastung wenn AS und SKI > 14/16/20 % <sup>[3]</sup>	Entlastung bis 90 % wenn min 1000 Euro/a Stromkosten und Netto-RV-Einsparung negativ sowie EMS eingeführt
		Keine Entlastung	
Brennstoffe	Keine Prozesse	-	
	Prozesse <sup>[2]</sup>	-	Ausgenommen (~107 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 Fahrstrom 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 2014 unterschiedliche Grenzwerte von 14 %, 16 % und 20 %

[4] Betroffener Energieverbrauch berechnet über Steuermindereinnahmen laut Subventionsbericht

(BMF 2015); Der Stromverbrauch, welcher nach §9b StromStG eine allgemeine Vergünstigung bekommt liegt bei etwa 195 TWh und ist in der Tabelle nicht aufgeführt.

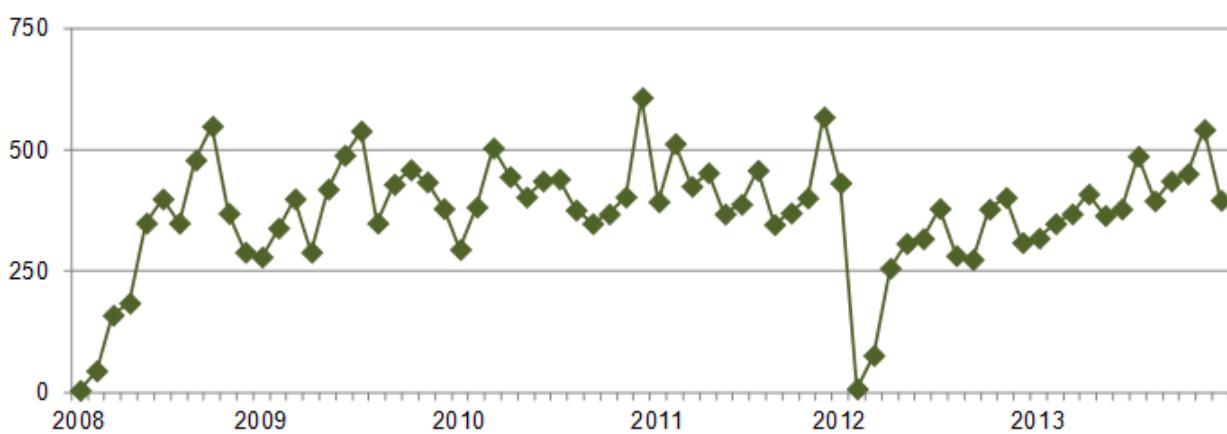
[5] Quelle: (Prognos 2016d)

## Energieberatungen Mittelstand

Die Modellierung des Instruments baut auf den beiden veröffentlichten Evaluationen des Programms auf (IREES & Fraunhofer ISI 2010, 2014). Diese bieten eine umfassende empirische Grundlage für die Berechnung der Programmwirkung.

Die Anzahl der Förderanträge bewegte sich in der Programmlaufzeit seit 2009 meistens um das Mittel von monatlich etwa 400 Anträgen (siehe Abbildung 3-9). Für die Projektion wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Beratungen auf jährlich 6000 steigt und dann konstant bleibt (Vergleich Projektionsbericht 2015: 4700). Diese Entwicklung entspricht in etwa der für die Bewertung des APK angenommenen jährlichen Fördervolumen von 10-12 Millionen Euro (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2016).

Abbildung 3-9: Anzahl der monatlichen Förderanträge im Programm Energieberatung Mittelstand



Quelle: IREES & Fraunhofer ISI 2014

Auch bei der Einsparwirkung der Beratung werden die Mittelwerte der letzten Jahre 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. Die Wirkung entfällt zu 85 % auf die Industrie und zu 15 % auf den Sektor GHD. 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 Programmwicklung (dena 2016) sowie eine Kurzstudie zur LED-Förderung (Fraunhofer ISI 2014b) 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 Mitarbeitern förderfähig.

Laut dena (2016) wurden im Jahr 2015 etwa 60 Millionen Euro Fördermittel abgerufen. Es wird für die Projektion angenommen, dass dieser Wert linear ansteigt um im Jahr 2019 die verfügbaren Mittel von 120 Millionen Euro jährlicher Förderung zu erreichen. Die Zuschüsse machen im Mittel 26 % des gesamten Investitionsvolumens aus (dena 2016), entsprechend wird ab dem Jahr 2019 von einer Investitionssumme in der Größenordnung von 460 Mio. Euro/a ausgegangen. Die Amortisationsdauer der meisten Maßnahmen schwankt zwischen 2 und 5 Jahren (dena 2016). Es wird für die Projektion der Maßnahmenwirkung von einer mittleren Amortisationszeit von 4 Jahren ausgegangen. Laut dena (2016) hätten mehr als 25 % der Unternehmen nach eigenen Angaben die Investitionen auch ohne Zuschuss durchgeführt. Entsprechend wird die Programmwicklung um diesen Anteil gemindert. Ein Vergleich mit einer Kontrollgruppe nicht geförderter Unternehmen deutet auf einen noch höheren Anteil Trittbrettfahrer 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.

### **Förderprogramm zu energieeffizienten und klimaschonenden Produktionsprozessen**

Das Programm ist im Jahr 2014 gestartet. Eine aktuelle Evaluation der Förderjahre 2014 und 2015 ist mit Prognos (2016b)) verfügbar und stellt die Grundlage für die Projektion der Programmwicklung dar. Aufgrund der niedrigen Fallzahlen<sup>31</sup> sind die angenommenen Kennwerte dennoch relativ großen Unsicherheiten unterworfen. Dies wird noch durch die sehr hohe Heterogenität der Fördernehmer und der durchgeführten Maßnahmen verstärkt.

Für die Projektion der Programmwicklungen wird angenommen, dass das Programm mit einer jährlichen Fördersumme von 10 Mio. Euro fortgeführt wird. Im Jahr 2014 wurden 3,6 und im Jahr 2015 5,5 Millionen Euro Förderung abgerufen (Prognos 2016b). Laut Evaluation stellen Maßnahmen zur Abwärmenutzung (44 %) und spezielle Prozesstechnologien (40 %) die am häufigsten geförderten Maßnahmentypen dar.

Im Vergleich zum Förderprogramm Querschnittstechniken ist von etwas längeren mittleren Amortisationszeiten der Maßnahmen auszugehen. Für die Berechnung werden 6 Jahre (ohne Förderung) unterstellt, was im Rahmen der 6-7 Jahre liegt, welche Prognos (2016b) als Spannweite angegeben werden. Das Programm richtet sich an Betriebe des verarbeitenden Gewerbes. Laut Prognos (2016b) scheint es nur einen geringen Anteil Mitnahmeeffekte zu geben und die meisten Investitionen wären auch ohne Förderung durchgeführt worden – häufig jedoch in geringerem Umfang. Es wird entsprechend von 15 % Mitnahmeeffekten ausgegangen. Überschneidungen mit anderen Programmen sind etwas geringer, da entsprechende Maßnahmen zu Produktionsprozessen selten im Rahmen von Energieaudits empfohlen 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) und des APK (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2016) 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. In Fraunhofer ISI et al. (2014) wird davon ausgegangen, dass ein Audit bei einer Umsetzungsrate von 30 % etwa 1,5 % des Energieverbrauchs eines Unternehmens einspart, wenn alle Maßnahmen umgesetzt würden. 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

---

<sup>31</sup> 64 eingereichte Anträge, 44 bewilligte Anträge und 37 Unternehmen, die in der Befragung teilgenommen haben

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.

Laut Fraunhofer ISI et al. (2014) entfallen etwa 1500 PJ Endenergieverbrauch auf Unternehmen, welche verpflichtet sind einen regelmäßigen Audit durchzuführen. Hiervon entfallen 30 % auf den Sektor GHD und 70 % auf die Industrie.

### **Energieeffizienznetzwerke**

Für die Berechnungen wurde angenommen, dass bis 2020 ca. 500 Effizienznetzwerke eingerichtet werden. Ausgehend vom Niveau im November 2017 von etwa 90 Netzwerken<sup>32</sup> entspricht dies einem zusätzlichen Zuwachs von 410 Netzwerken bis 2020.

Aus bisherigen Erfahrungen geht hervor, dass die vorgeschlagenen und durchgeföhrten 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.

Es wird weiterhin angenommen, dass die mittlere Lebensdauer der umgesetzten Einsparmaßnahmen 10 Jahre beträgt – allerdings sind bei diesem relativ neuen Instrument noch keine Langzeitbeobachtungen verfügbar.

### **Richtlinie für die Förderung der Abwärmevermeidung und -nutzung**

Für die Maßnahmenbewertung werden ähnliche Kennwerte unterstellt, wie sie für das Förderprogramm zu energieeffizienten und klimaschonenden Produktionsprozessen ermittelt wurden (Prognos 2016b). Entsprechend wird von einer mittleren Amortisationsdauer von 6 Jahren (ohne Förderung) und einer mittleren Lebensdauer von 12 Jahren ausgegangen. Auch hier werden die Mitnahmeeffekte mit 15 % berücksichtigt.

Es wird weiterhin angenommen, dass Unternehmen die Förderhöchstbeträge beantragen, was in einer mittleren Förderquote von 35 % der förderfähigen Investitionskosten resultiert. Das jährliche Fördervolumen steigt bis 2019 auf 60 Millionen Euro und bleibt danach konstant. Wenngleich für die Quantifizierung davon ausgegangen wird, dass dieses Budget ausgeschöpft wird, so ist dies in der Realität weitestgehend ungewiss. Besonders, da Abwärmenutzung auch im Rahmen anderer Programme gefördert wird. Überschneidungen mit anderen Programmen werden mit 15 % korrigiert.

#### **3.1.5.3 Annahmen und Parameter MWMS**

#### **Weiterentwicklung des KfW-Energieeffizienzprogramms**

Es werden energieeffiziente Produktionsanlagen/-prozesse inkl. Querschnittstechnologien in Unternehmen gefördert - unabhängig von Unternehmensgröße oder Tätigkeitsbereich. Die Wirkung ergibt sich durch die Erhöhung der Fördervolumina um etwa 70 % auf 2 Mrd. Euro/a.

Für die Quantifizierung wird eine Evaluation des Förderjahrgangs 2012 (Prognos 2014) zur Bestimmung von notwendigen Kennwerten, wie z.B. den spezifischen Einsparungen je Euro Förderung genutzt. Bei Ausschluss der Gebäudeneubauten ergibt sich eine Endenergieeinsparung von 0,58 kWh je

---

<sup>32</sup> <http://www.effizienznetzwerke.org/initiative/unsere-netzwerke/> (Zugriff: 9.11.2016)

Euro Darlehen als gewichteter Mittelwert. 22 % der Einsparungen entfallen auf den Energieträger Strom und 78 % auf restliche Brennstoffe. Die mittlere Lebensdauer der Maßnahmen wird mit 13 Jahren angesetzt.

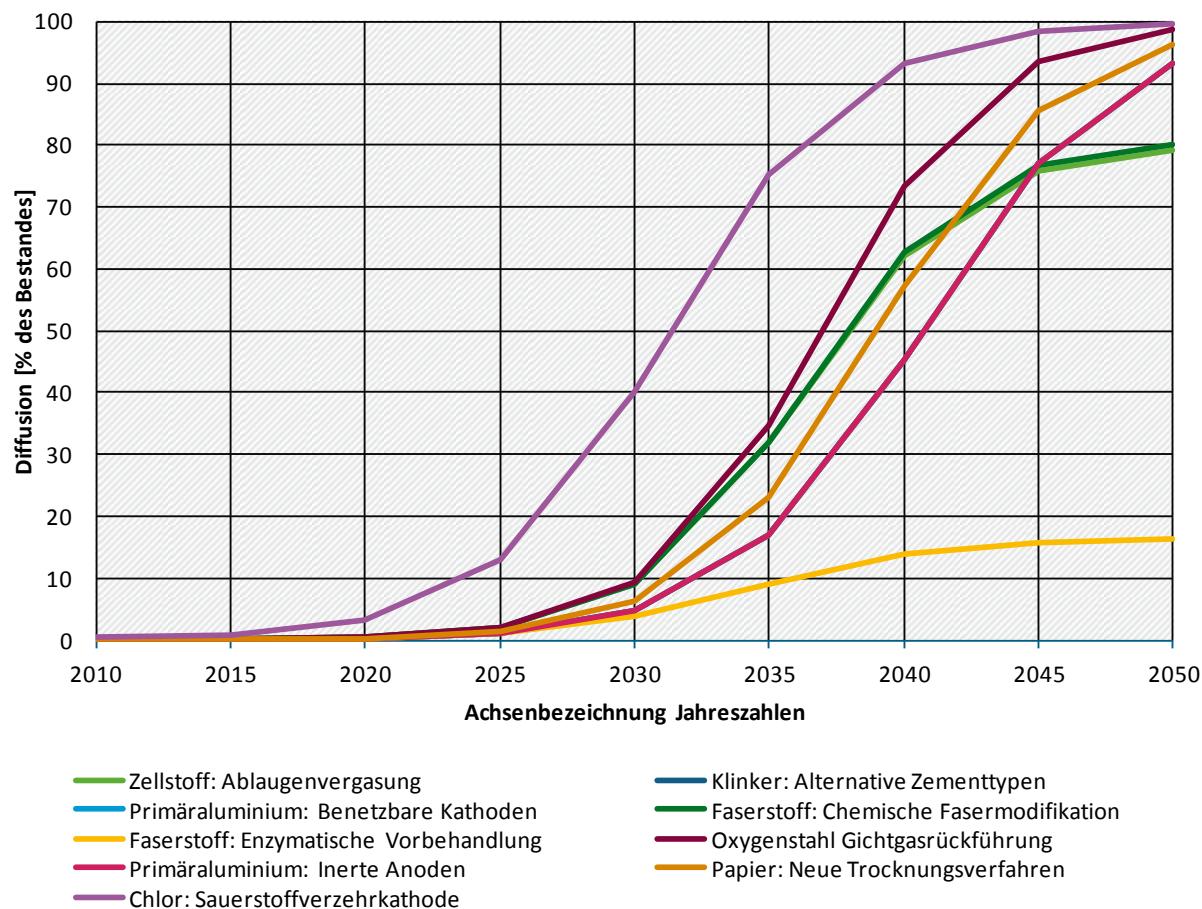
Unsicherheiten bei der Berechnung liegen besonders bei den Überschneidungen mit anderen Programmen (z.B. Energieaudits oder Energiemanagement, bei denen entsprechende Effizienzmaßnahmen identifiziert wurden) sowie der Frage, welche der geförderten Maßnahmen auch ohne den KfW-Kredit umgesetzt worden wären. Besonders zu diesem Punkt sind keine empirischen Informationen verfügbar. Es wird angenommen, dass 30 % der Maßnahmen auch ohne die KfW-Kredite umgesetzt worden wären. Darüber hinaus wird die Wirkung um weitere 30 % reduziert, um Doppelzählungen mit anderen Instrumenten zu vermeiden. Diese treten vorwiegend mit Energieaudit und Energiemanagementprogrammen auf, in denen Maßnahmen identifiziert werden, deren Investition über das KfW Programm finanziert wird.

### **Erweiterung des Innovationsfonds im Rahmen des EU Emissionshandels zur Förderung von innovativen CO<sub>2</sub>-armen Produktionsprozessen**

Per Definition sind die Dauer und der Erfolg des Forschungs- und Entwicklungsprozesses ungewiss. Mit dem genutzten Modell FORECAST kann entsprechend nicht die Innovation, also die Markteinführung modelliert werden. Jedoch kann die Auswirkung der Marktdiffusion auf Energieverbrauch und CO<sub>2</sub> Emissionen berechnet werden. Es wird für die Berechnung davon ausgegangen, dass die Maßnahme, die vor allem auf eine Förderung von Demonstrationsvorhaben abzielt, damit mittelbar zur erfolgreichen Marktdiffusion der neun in Abbildung 3-10 aufgeführten Prozessinnovationen führt. Aufgrund langer Entwicklungsprozesse, gesättigter Märkte, abgeschriebener Anlagen und langer Lebensdauern ist nicht davon auszugehen, dass entsprechende Verfahren vor 2030 deutliche Marktanteile erreichen können. Entsprechend ist die Wirkung bis zum Betrachtungszeitraum im Jahr 2035 vergleichsweise niedrig, steigt danach aber schnell an.

Im MMS wird angenommen, dass bis 2035 keine entsprechenden Prozessinnovationen die Marktreife erlangen werden.

Für die Interpretation der Maßnahmenwirkung ist die hohe Unsicherheit bei Markteinführung und -Diffusion zu berücksichtigen. In der Realität werden sich evtl. andere Verfahren durchsetzen.

Abbildung 3-10: Annahmen zur Diffusion CO<sub>2</sub>-armer Prozessinnovationen im MWMS

Quelle: eigene Darstellung

### Ausweitung EU-Ökodesign- und Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinien

Es wird eine Ausweitung der EU-Ökodesign-Richtlinie auf zusätzliche Lose modelliert, für die noch keine Verordnung (oder andere Durchführungsmaßnahmen) in Kraft getreten ist, die jedoch aufgrund des Standes der Vorstudie eine erste Schätzung zur Wirkung zulassen.

Zusätzlich zum MMS werden die folgenden Lose aufgenommen:

- a) Los 21: Zentralheizungsprodukte (Industrie)
- b) Los 4 (ENTR): Feuerungsanlagen und Öfen (Industrie)
- c) Los 5 (ENTR): Werkzeugmaschinen (Industrie)
- d) ENTR Los 7 Dampfkessel

#### 3.1.5.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Die im Sektor Industrie und GHD quantifizierten Maßnahmen sind in Tabelle 3-39 aufgelistet und beschrieben. Bis auf die Maßnahme „Förderung von Kälte- und Klimaanlagen im Gewerbe“ adressieren alle Maßnahmen (u.a.) den Sektor Industrie.

Tabelle 3-40: Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)

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 der Energiesteuer sind geknüpft an Energiemanagement 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 I	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 Prozesstechniken	F	Finanzielle Förderung von Investitionen in effiziente Prozesstechniken	In Kraft seit 2014
Förderung von Kälte und Klimaanlagen 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
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	F	Finanzielle Förderung von Investitionen in Abwärmevermeidung und -Nutzung	Wirkung berechnet ab 2016

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 CO<sub>2</sub> Emissionen ausgewiesen. Die ausgewiesene Maßnahmenwirkung ist bereits um mögliche Mitnahmeeffekte und Überschneidungen zwischen Instrumenten reduziert (siehe Tabelle 3-36).

Die Stromeinsparungen im MMS (Tabelle 3-41) teilen sich auf insgesamt 12 einzelne Maßnahmen auf. Durch den Emissionshandel verursachte Stromeinsparungen können nicht ausgewiesen werden, da in

der Modellierung indirekte Effekte über einen erhöhten Strompreis und durchgereichte 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 und eine ähnliche Wirkung wie die Energieeffizienznetzwerke entfalten. Empirische Untersuchungen zur Wirkung bei den Instrumenten 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.

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.

Insgesamt zeigt sich bei vielen Instrumenten, dass die Einsparwirkung bis zum Jahr 2025 zügig ansteigt und danach relativ schnell abflacht. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass für die modellierten Maßnahmen im MMS angenommen wurde, dass diese auf dem Niveau von 2016 verbleiben (z.B. bezüglich der jährlich durchgeföhrten Energieberatungen oder der ausgezahlten Fördersumme). Gleichzeitig haben die umgesetzten technischen Maßnahmen (vorwiegend im Bereich Querschnittstechniken) eine vergleichsweise kurze Lebensdauer von rund 10 Jahren (verglichen mit industriellen Anlagen und Prozesstechniken). Da für die Quantifizierung angenommen wurde, dass die Einsparwirkung nur über die Lebensdauer der technischen Maßnahme erhalten bleibt, ergibt sich das beschriebene Abflachen nach 2025.

Tabelle 3-41: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS - Stromeinsparungen

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
Emissionshandel <sup>33</sup>	-	-	-	-	-
Ökologische Steuerreform	0,0	0,3	0,5	0,6	0,7
Spitzenausgleich	2,7	4,9	6,3	7,5	8,6
Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	1,4	2,9	3,7	4,5	5,2
Energieberatung Mittelstand	1,2	2,3	2,7	2,7	2,7
Mindeststandards I	3,2	4,5	4,9	4,3	3,8
Förderung Querschnittstechniken	0,1	1,0	1,8	2,0	2,0
Förderung Prozesstechniken	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2
500 Effizienznetzwerke	0,2	1,1	2,6	3,8	3,8
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Strom)	-	0,6	1,1	1,5	1,5

<sup>33</sup> Eine mögliche Wirkung des Emissionshandels über in den Strompreis eingepreiste CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreise wurde nicht modelliert, würde jedoch auch hier zu Einsparungen führen.

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Energieaudit Nicht-KMU	0,2	1,4	2,5	2,7	2,7
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	0,1	0,1	0,2	0,2
<b>Summe</b>	<b>9,7</b>	<b>20,9</b>	<b>28,4</b>	<b>31,3</b>	<b>32,3</b>

Bei den Brennstoffeinsparungen zeigt sich ein weniger ausgeglichenes Bild (siehe Tabelle 3-42). Hier entfällt ein Großteil der Wirkung auf die Maßnahmen Emissionshandel, Spitzenausgleich, Energieberatung Mittelstand und 100 Effizienznetzwerke, Energieaudit Nicht-KMU und die Richtlinie zur Abwärmevermeidung und -nutzung. Bei den anderen Maßnahmen (außer der Förderung Prozesstechniken) steht der Strombedarf im Mittelpunkt. Beim Emissionshandel ist die im Verhältnis zu den Brennstoffeinsparungen sehr hohe CO<sub>2</sub>-Vermeidung auffällig. Diese ist zum Großteil nicht auf Energieeffizienz, sondern auf Brennstoffwechsel hin zu weniger CO<sub>2</sub>-intensiven Energieträgern zurückzuführen. Für die Einordnung der Werte zum Emissionshandel (wie auch den anderen Instrumenten) sind die o.g. methodischen Beschränkungen zu berücksichtigen.

Tabelle 3-42: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO <sub>2</sub> -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO <sub>2</sub> e/a				
Emissionshandel	0,8	4,7	10,0	14,7	17,2	0,7	1,7	3,0	4,0	4,5
Ökologische Steuerreform	0,3	0,8	1,2	1,5	1,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Spitzenausgleich	6,2	11,8	15,3	18,2	21,0	0,4	0,7	0,9	1,0	1,1
Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieberatung Mittelstand	13,5	26,2	30,4	30,4	30,4	0,8	1,5	1,7	1,7	1,6
Mindeststandards I	0,1	0,8	1,1	1,1	0,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
Förderung Querschnittstechniken	0,3	1,9	3,7	4,1	4,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2
Förderung Prozesstechniken	0,4	2,8	5,3	5,8	5,8	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3
Förderung von Kälte und Klimaanlagen im Gewerbe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 Effizienznetzwerke	1,7	11,8	28,4	40,6	41,3	0,1	0,7	1,6	2,2	2,2
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Strom)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieaudit Nicht-KMU	1,7	10,0	18,3	19,9	19,9	0,1	0,6	1,0	1,1	1,1
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	8,9	20,1	26,8	26,8	-	0,5	1,1	1,5	1,4
<b>Summe</b>	<b>25,1</b>	<b>80,1</b>	<b>134,3</b>	<b>163,6</b>	<b>169,2</b>	<b>2,1</b>	<b>6,1</b>	<b>10,1</b>	<b>12,2</b>	<b>12,6</b>

### 3.1.5.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-43 zeigt die im MWMS zusätzlich zum MMS berücksichtigten Maßnahmen für die Sektoren GHD und Industrie. Sämtliche Maßnahmen beginnen in der Umsetzung im Jahr 2015 und orientieren sich in der Ausgestaltung am NAPE.

Tabelle 3-43: Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD im MWMS

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)
KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	F	Zinsgünstige Darlehen zur Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen: Erhöhung der Fördervolumina	ab 2017
Mindeststandards: Neue Lose	E	Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte: Ausweitung auf weitere Produktgruppen	ab 2017
CO <sub>2</sub> -arme Industrieprozesse	D	Förderung der F&E von Prozessinnovationen (durch den Innovationsfonds des Emissionshandels)	ab 2020
Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“	F	Förderung von energieeffizienten Kälteanlagen im Gewerbe	ab 2017
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	F	Ausschreibungen von Energieeinsparprojekten im Bereich Wärme	ab 2017
Effizienzverpflichtung	E	Zielvorgaben zu Energieeinsparungen	ab 2017

Die Wirkung der Maßnahmen ist für den Sektor Industrie in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Beim Stromverbrauch wird insgesamt durch alle berücksichtigten Maßnahmen eine Reduktion um etwa 5 TWh/a für das Jahr 2035 erreicht. Diese wird vorwiegend durch CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse und die Effizienzverpflichtung erreicht. Auffallend niedrig ist die Wirkung der Mindeststandards (EU-Ökodesign-Richtlinie). Diese lässt sich jedoch erklären durch die im Vergleich zum MMS geringe Anzahl Lose mit Relevanz für den Stromverbrauch.

Tabelle 3-44: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MMS

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	-	0,2	0,4	0,6	0,6
Mindeststandards: Neue Lose	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6
CO <sub>2</sub> -arme Industrieprozesse	0,0	0,0	0,2	0,7	1,4
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	-	-	-	-	-
Effizienzverpflichtung	-	-	0,7	1,8	2,2
Summe	0,7	1,0	2,1	3,7	4,8

Bei den Einsparungen von Brennstoffen sind vor allem die innovativen CO<sub>2</sub>-armen Produktionsprozesse hervorzuheben (Tabelle 3-44). Hier ist zu beachten, dass viele der berücksichtigten Produktionsverfahren erst 2030 Marktreife erlangen und entsprechend im Jahr 2035 zunächst nur geringe Marktanteile erreicht haben. Folglich verbleibt hier ein deutlich größeres Vermeidungspotenzial für den Zeitraum nach 2035. Dennoch müssen die Weichen bereits jetzt gestellt werden, um neue Verfahren aus der Entwicklung in die industrielle Anwendung zu bringen.

Darüber hinaus weist die Effizienzverpflichtung die höchste CO<sub>2</sub>-Vermeidung von über 4 Mt im Jahr 2035 auf. Diese resultiert einzig aus dem Wechsel zu weniger CO<sub>2</sub>-intensiven Brennstoffen, vorwiegend Biomasse.

Tabelle 3-45: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem MMS

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO <sub>2</sub> -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO <sub>2</sub> e/a				
KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	-	2,7	5,4	7,0	7,0	-	0,2	0,3	0,4	0,4
Mindeststandards: Neue Lose	1,4	2,7	3,4	3,7	3,9	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
CO <sub>2</sub> -arme Industrieprozesse	-0,0	0,1	0,9	4,5	16,4	-	0,0	0,1	0,4	1,3
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	-	5,1	10,2	13,3	13,3	-	0,3	0,6	0,7	0,7
Effizienzverpflichtung	-	-	-	-	-	-	1,9	2,8	3,8	4,4
Summe	1,4	10,6	19,9	28,5	40,5	0,1	2,5	4,0	5,4	6,9

### 3.1.5.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Tabelle 3-45 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke, aber einschließlich bauwirtschaftlichem Verkehr<sup>34</sup>) 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. 46 Mt CO<sub>2</sub>e, im MWMS sinken sie um etwa 4 Mt CO<sub>2</sub>e mehr auf ca. 42 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Reduktion von knapp 61 % gegenüber 1990 im MMS und von fast 65 % im MWMS. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 38 % bis 44 %. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen in beiden Szenarien bei rund 63 Mt CO<sub>2</sub>e, was einem Rückgang von 46-47 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass sich die Emissionsreduktionsmaßnahmen auf die Emissionen aller drei relevanten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) zurückzuführen ist. Zwischen 2014 und 2035 ergibt sich für CO<sub>2</sub> ein Rückgang um 37 % im MMS und von 43 % im MWMS, für Methan ergibt sich in diesem Zeitraum ein Rückgang um 19 % im MMS und um 23 % im MWMS und bei Lachgas um 30 % im MMS bzw. 33 % im MWMS. Im Vergleich zum Jahr 1990 ist die Reduktion der N<sub>2</sub>O-Emissionen mit 67 % (MMS) bzw. 69 % (MWMS) in beiden Szenarien am höchsten, gefolgt von der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 61 % im MMS und 65 % im MWMS. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen reduzieren sich zwischen 1990 und 2035 um 52 % (MMS) bzw. 54 % (MWMS) in beiden Szenarien. CO<sub>2</sub> ist und bleibt das mit Abstand dominierende Gas mit 99% an den Gesamtemissionen der Industrie im Jahr 1990 wie auch 2035.

Tabelle 3-46: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke) zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								

<sup>34</sup> Entsprechend CRF-Kategorien der 2006 IPCC Guidelines ist der bauwirtschaftliche Verkehr dem Sektor 1.A.2 Industrie (englisch *manufacturing industries and construction*) zugeordnet.

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	116,6	73,5	77,6	71,9				
MMS					62,7	57,2	50,9	45,6
MWMS					62,2	55,3	48,0	41,3
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,2	0,1	0,1	0,1				
MMS					0,1	0,1	0,1	0,1
MWMS					0,1	0,1	0,1	0,1
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,8	0,4	0,4	0,4				
MMS					0,3	0,3	0,3	0,3
MWMS					0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	117,6	74,0	78,1	72,4				
MMS					63,1	57,6	51,3	46,0
MWMS					62,6	55,7	48,4	41,7
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-37,1	-33,6	-38,4				
MMS					-46,3	-51,0	-56,4	-60,9
MWMS					-46,7	-52,6	-58,8	-64,6
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 1990 – 2014			5,5	-2,2				
MMS					-14,7	-22,2	-30,7	-37,9
MWMS					-15,4	-24,8	-34,6	-43,7

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), 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

### 3.1.6 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

#### 3.1.6.1 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 Ener-

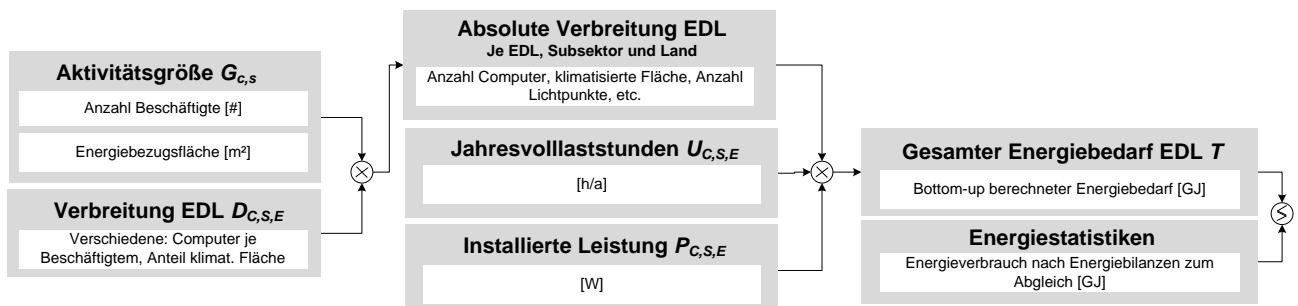
giedienstleistungen zusammen. Die Verbreitung von Effizienzmaßnahmen senkt den spezifischen Energieverbrauch einzelner Energiedienstleistungen und spiegelt so eine unterschiedliche Überwindung von Hemmnissen durch politische Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz wider bzw. variierende Energiepreise. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Unternehmen. Im Folgenden 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 Schloemann et al. 2014) und Statistiken (z.B. Anwendungsbilanz) abgeglichen.

Das Mengengerüst zur Berechnung von Stromverbrauch und Einsparpotenzialen der Energiedienstleistungen ist dabei wie in Abbildung 3-11 dargestellt aufgebaut. Ausgehend von den globalen Aktivitätsgrößen Beschäftigte oder Nutzfläche des Subsektors wird mit Hilfe einer weiteren, der EDL zugeordneten spezifischen Aktivitätsgröße (z.B. Lichtpunkte pro Fläche oder Computer je Beschäftigtem), das absolute Nachfrageniveau nach einer Energiedienstleistung berechnet. Multipliziert mit den jährlichen Vollaststunden und der mittleren installierten Leistung ergibt sich der absolute Energiebedarf der Energiedienstleistung. Die Wirkung von Effizienzmaßnahmen setzt bei der spezifischen installierten Leistung oder den jährlichen Vollaststunden an, die abhängig von der Diffusion der Effizienzmaßnahmen gesenkt werden.

Abbildung 3-11: Vereinfachte Darstellung des „Bottom-up“-Mengengerüsts für den Sektor GHD im Modell FORECAST



Quelle: Eigene Darstellung

Formal ergibt sich für die Bottom-up-Berechnung des Energiebedarfs im Basisjahr folgender Zusammenhang.

$$T_t = \sum_{S=1}^l \sum_{E=1}^k G_{S,t} \cdot D_{S,E,t} \cdot P_{S,E} \cdot U_{S,E} \cdot \prod_{SO=1}^x (1 - DR_{S,E,SO,t} \cdot \Delta_{S,E,SO})$$

mit

$T$	=	Stromverbrauch GHD gesamt
$G_S$	=	globale Aktivitätsgröße
$D_{S,E}$	=	EDL-bezogene Aktivitätsgröße
$U_{S,E}$	=	Nutzungsdauer (jährliche Vollaststunden) [h/a]
$P_{S,E}$	=	Installierte Leistung je "Einheit" EDL [W]
$\Delta_{S,E, SO}$	=	Relatives Einsparpotenzial der Effizienzmaßnahme [%]
$DR_{S,E,SO,t}$	=	Diffusionsrate im Jahr t [Anteil der EDL]

Indizes:

$S$	=	Branche, $l = 8$
$E$	=	Energiedienstleistung, $k = 13$
$SO$	=	Effizienzmaßnahme, $x=1$ bis 5

Für die Diffusionsrate werden dabei im Modell exogen zunächst eine „technisch maximale“ Entwicklung und eine Art „autonome / business as usual“ Entwicklung hinterlegt. Diese stellen den Rahmen für die tatsächliche Entwicklung dar. Abhängig von den Energiepreisen ergibt sich eine Diffusionsgeschwindigkeit, welche zugrunde legt, dass wirtschaftliche Investitionen in Effizienzmaßnahmen durchgeführt werden. Entsprechend können mit einer höheren Wirtschaftlichkeitsanforderung Hemmnisse simuliert werden, z.B. über eine Diskontierungsrate, die deutlich über den typischen Anforderungen von Unternehmen liegt.

### 3.1.6.2 Annahmen und Parameter

Für die meisten Maßnahmen, welche den Sektor GHD adressieren, sind die Annahmen der Quantifizierung im Abschnitt 3.1.5.2 und 3.1.5.3 dargestellt, da diese auch den Industriesektor betreffen. Alleine das Programm zur Förderung der Energieeffizienz in Kälte- und Klimaanlagen adressiert ausschließlich Unternehmen im GHD-Sektor und ist im Folgenden beschrieben.

#### 3.1.6.2.1 EU Ökodesign Richtlinie

Für die Modellierung der EU-Ökodesign-Richtlinie werden im GHD-Sektor eine Reihe einzelne Lose modelliert. Diese sind in Tabelle 2-16 aufgeführt.

#### 3.1.6.2.2 Förderung von Kälte- und Klimaanlagen im Gewerbe im Rahmen der Nationalen Klimaschutziniative

Es wird für die Bewertung der Maßnahmenwirkung mit ähnlichen Kennwerten gerechnet, wie sie für die Energieberatung Mittelstand und das Förderprogramm Querschnittstechniken erhoben wurden. Entsprechend wird von einer mittleren Amortisationszeit der geförderten Maßnahmen von 6 Jahren ausgegangen. Es wird weiterhin angenommen, dass 30 % der Maßnahmen auch ohne Förderung umgesetzt worden wären (Mitnahmeeffekte). Überschneidungen mit anderen Instrumenten werden mit 15 % angesetzt. So können entsprechend geförderte Maßnahmen im Rahmen einer geförderten Energieberatung empfohlen sein. Laut Programmausgestaltung werden Investitionen mit 15-25 % geför-

dert. Es wird hier von einer mittleren Förderquote von 20 % ausgegangen. Für die Projektion wird ein jährliches Programmbudget von 10 Mio. Euro hinterlegt.

### 3.1.6.2.3 Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“ der Nationalen Klimaschutzinitiative

Für die Projektion der Wirkung einer Novellierung des Impulsprogramms gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen wird eine Ausweitung auf die Förderung von Abwärmenutzung angenommen. Im Einzelnen wird davon ausgegangen, dass 20 % der geförderten Anlagen auch ein Konzept zur Abwärmenutzung umsetzen. Die Abwärme wird vermutlich zum Großteil für die Bereitstellung von Raumwärme eingesetzt<sup>35</sup>. Weiterhin wird angenommen, dass etwa 20 % der geförderten Unternehmen auch ohne Förderung eine entsprechende Abwärmenutzung umgesetzt hätten. Diese Mitnahmeeffekte werden von der Programmwicklung abgezogen. Es wird zusätzlich davon ausgegangen, dass eher niedrige Überschneidungen mit anderen Programmen vorliegen. Dennoch wird aufgrund möglicher Überschneidungen die Wirkung um 15 % reduziert, da Maßnahmen z.B. im Rahmen der Energieberatung Mittelstand empfohlen sein können und die Wirkung einzelner Maßnahmen nicht doppelt bilanziert werden kann.

### 3.1.6.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-47: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS - Stromeinsparungen

Maßnahme	Strom-Einsparungen TWh/a				
	2015	2020	2025	2030	2035
Ökologische Steuerreform	4,1	5,8	5,3	5,1	5,0
EEG-Umlage	4,3	6,6	5,6	4,2	2,5
Energieberatung Mittelstand	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5
Mindeststandards I	8,2	11,2	12,6	12,6	12,7
Förderung Querschnittstechniken	0,0	0,3	0,6	0,7	0,7
Förderung Prozesstechniken	-	-	-	-	-
Förderung von Kälte und Klimaanlagen im Gewerbe	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3
500 Effizienznetzwerke	0,0	0,1	0,3	0,4	0,4
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Strom)	-	0,6	1,2	1,6	1,6
Energieaudit Nicht-KMU	0,1	0,6	1,1	1,2	1,2
Richtlinie Abwärmevermeidung und –nutzung	-	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Summe</b>	<b>17,1</b>	<b>25,9</b>	<b>27,5</b>	<b>26,5</b>	<b>24,8</b>

<sup>35</sup> Aufgrund der insgesamt vergleichsweise niedrigen Größenordnung wird der reduzierte Brennstoffbedarf dennoch im Sektor GHD-Geräte und Prozesse bilanziert. In der Realität würde sich ein Teil der Energieeinsparung auch auf die Sektoren Industrie und GHD-Gebäude verteilen.

Tabelle 3-48: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO <sub>2</sub> -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO <sub>2</sub> e/a				
Ökologische Steuerreform	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EEG-Umlage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieberatung Mittelstand*	2,4	4,6	5,4	5,4	5,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Mindeststandards I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Förderung Querschnittstechniken	0,1	0,6	1,2	1,4	1,4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Förderung Prozesstechniken	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Förderung von Kälte und Klimaanlagen im Gewerbe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 Effizienznetzwerke	0,2	1,3	3,2	4,5	4,6	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Strom)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieaudit Nicht-KMU	0,7	4,3	7,8	8,5	8,5	0,0	0,3	0,5	0,5	0,5
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	-	1,0	2,2	3,0	3,0	-	0,1	0,1	0,2	0,2
<b>Summe</b>	<b>3,4</b>	<b>11,9</b>	<b>19,9</b>	<b>22,9</b>	<b>23,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>

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

### 3.1.6.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-49: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MMS

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	-	0,0	0,1	0,1	0,1
Mindeststandards: Neue Lose	0,4	2,1	3,9	4,4	4,5
CO <sub>2</sub> -arme Industrieprozesse	-	-	-	-	-
Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“	-	-	-	-	-
Effizienzverpflichtung	-	-	1,1	2,7	3,3
<b>Summe</b>	<b>0,4</b>	<b>2,2</b>	<b>5,0</b>	<b>7,2</b>	<b>7,9</b>

Tabelle 3-50: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem MMS

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO <sub>2</sub> -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO <sub>2</sub> e/a				

KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	-	0.5	0.9	1.2	1.2	-	0.0	0.1	0.1	0.1
Mindeststandards: Neue Lose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“	-	1.1	2.9	4.8	5.5	-	0.1	0.2	0.3	0.3
Effizienzverpflichtung	-	-	0.4	1.1	1.3	-	-	0.0	0.1	0.1
<b>Summe</b>	<b>-</b>	<b>1.6</b>	<b>4.3</b>	<b>7.1</b>	<b>8.1</b>	<b>-</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>

### 3.1.7 Stromsektor

#### 3.1.7.1 Methodik

Die Modellierung der zu erwartenden Entwicklung für den Kraftwerkspark wird mit Hilfe des Modells ELIAS (Electricity Investment Analysis) sowie dem Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex des Öko-Instituts vorgenommen. Ausgangsjahr der Modellierung ist das Jahr 2014.

##### 3.1.7.1.1 ELIAS

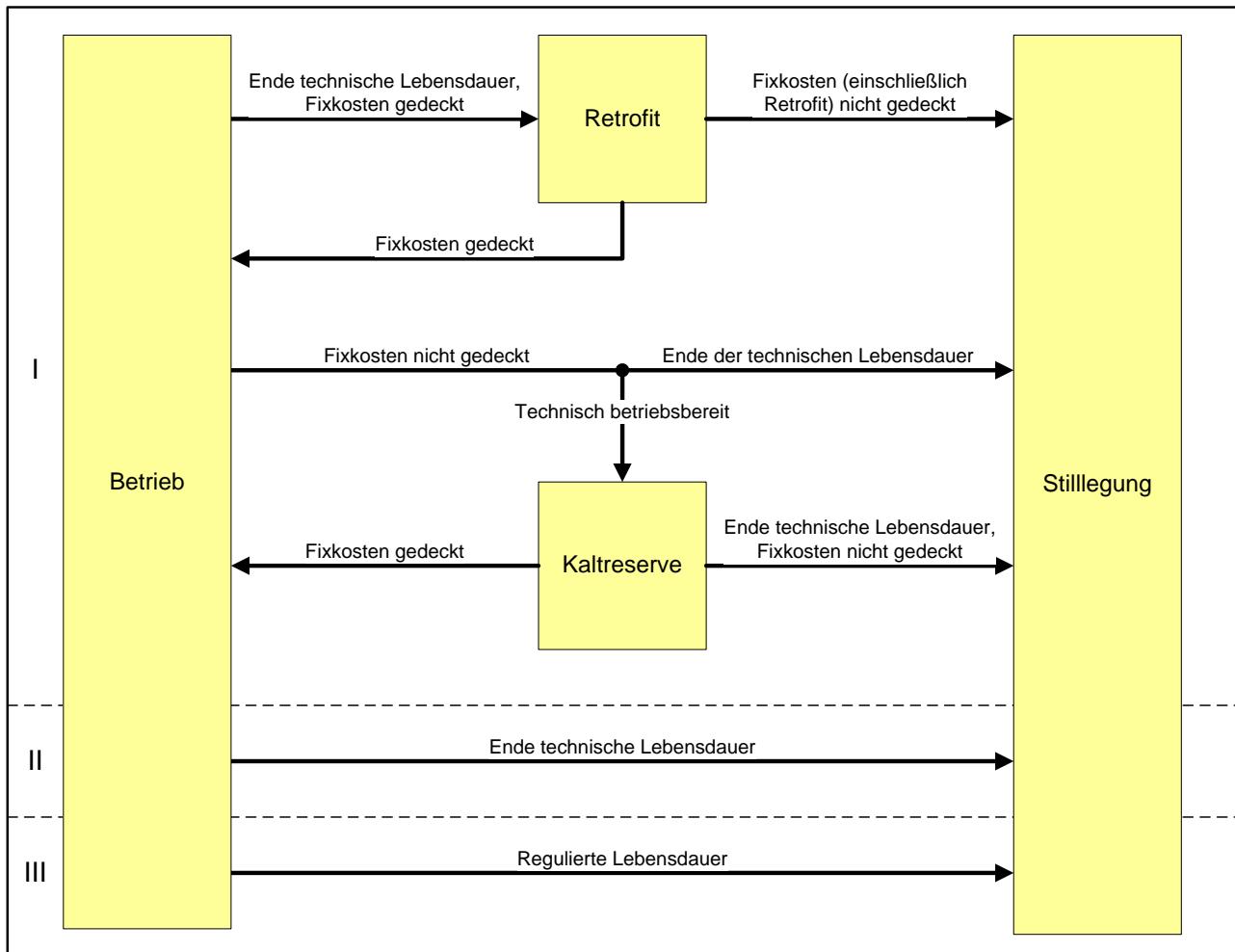
Das Kraftwerksinvestitionsmodell ELIAS (Electricity Investment Analysis<sup>36</sup>) ist ein Bottom-up-Simulationsmodell zur Abbildung von Investitionen und Stilllegungen im Kraftwerkspark. Auf Grundlage der Bestandsstruktur, der Wirtschaftlichkeit von Kraftwerken und den daraus resultierenden Stilllegungen sowie der Entwicklung der Stromnachfrage wird der Investitionsbedarf an neuen Kraftwerken bestimmt. Der Kraftwerksneubau wird im Rahmen dieses Projekts durch Modellrestriktionen vorgegeben.

Bei ELIAS handelt es sich um ein Vintage-Capital-Modell. Es wird die Altersstruktur des Kraftwerksparks mit unterschiedlichen Technologie-Jahrgängen (Vintages) dargestellt. Durch die Abbildung des Ausscheidens alter Technologie-Jahrgänge aus dem System und deren Ersatz durch neue Technologien (Stock-Exchange-Ansatz) kann die zeitliche Entwicklung des Kraftwerksparks verfolgt werden.

Die Stilllegung kann dabei sowohl auf Basis der technischen Lebensdauer, einer definierten Vorgabe (z.B. Atomausstieg) und einem ökonomischen Kalkül (Deckung der jährlichen Fixkosten durch Strommarkterlöse) bestimmt werden. Darüber hinaus können Retrofitmaßnahmen an Stelle von Neubauten modelliert werden (siehe Abbildung 3-12 für eine Übersicht der Stilllegungskalküle in ELIAS). ELIAS verwendet die Ergebnisse des Kraftwerkseinsatzmodells PowerFlex sowohl beim Stilllegungskalkül als auch beim Investitionskalkül nach ökonomischen Kriterien. Gleichermaßen dient die in ELIAS ermittelte Entwicklung des Kraftwerksparks als Input für PowerFlex.

<sup>36</sup> Eine ausführliche Dokumentation ist in der dazugehörigen Dissertationsschrift enthalten (Harthan 2015).

Abbildung 3-12: Stilllegungskalküle in ELIAS



Quelle: ELIAS

### 3.1.7.1.2 PowerFlex

Das am Öko-Institut entwickelte Strommarktmmodell PowerFlex<sup>37</sup> ist ein Fundamentalmodell, welches thermische Kraftwerke, die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, Pumpspeicherkraftwerke und flexible Stromverbraucher kostenminimal einsetzt, um die Strom- und Fernwärmennachfrage 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 Stromer-

<sup>37</sup> Eine detaillierte Modellbeschreibung ist z.B. in UBA (2017a) enthalten.

zeugungsanlagen werden in technologie- und baujahrspezifischen Gruppen zusammengefasst und mit Hilfe von typspezifischen Parametern charakterisiert.

Biomassekraftwerke, die Biogas, Holz oder Pflanzenöl einsetzen, werden über Technologieaggregate als Teil des thermischen Kraftwerksparks im Modell abgebildet. Das Stromangebot aus fluktuierenden Erzeugern (Wasser, Wind, Fotovoltaik) 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.<sup>38</sup>

Die Stromnachfrage wird exogen vorgegeben und ergibt sich aus den Stromnachfragen der anderen Sektoren. Darüber hinaus wird modellendogen Stromexport und -import als Austausch mit den Nachbarstaaten bestimmt.

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

### **3.1.7.1.3 Iteration zwischen ELIAS und PowerFlex**

Investitionsentscheidungen in neue Kraftwerke werden aus der Perspektive eines idealtypischen Investors auf Basis der Vollkosten der Stromerzeugung als wichtigste Entscheidungsvariable sowie aufgrund von Modellvorgaben getroffen (ELIAS).<sup>39</sup> Der Kraftwerkseinsatz wird durch Minimierung der Summe der kurzfristigen Grenzkosten der Kraftwerke bestimmt (PowerFlex). Der Investitionsbedarf in neue Kraftwerke wird durch die Stilllegung von Kraftwerken sowie die Entwicklung der Stromnachfrage bestimmt. Die Struktur des Kraftwerksparks wird an das Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex übergeben, das den Einsatz der Kraftwerke einschließlich der entsprechenden Benutzungsstunden und Stromerlöse bestimmt. Diese Ergebnisse des Strommarktes werden an ELIAS zurückgespeist als ein wesentlicher Input für die Stilllegungs- und Investitionsentscheidung. Iterationen zwischen ELIAS und PowerFlex werden schrittweise durchgeführt, d.h. für jedes Szenarienjahr werden Kraftwerksstilllegung und -investition mit den daraus folgenden Ergebnissen des Strommarkts (Benutzungsstunden, Stromerlöse) iteriert, bis die Ergebnisse in Bezug auf Stilllegung und Investition und somit der Kraftwerkspark stabil sind (Abbildung 3-13).

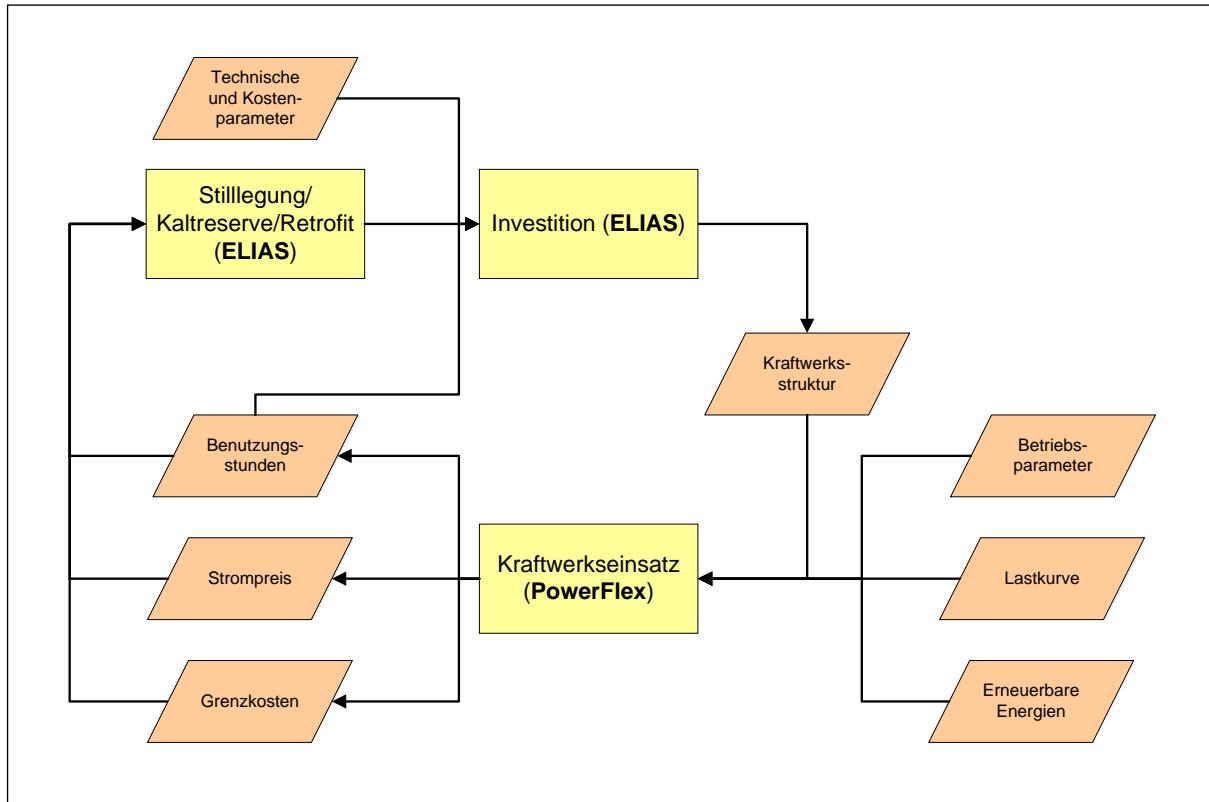
Da der Kraftwerkszubau im Rahmen dieses Projekts im Wesentlichen durch Modellvorgaben<sup>40</sup> bestimmt wird, beziehen sich die Wechselwirkungen zwischen beiden Modellen auf Kraftwerkseinsatz und -stilllegung. Hierbei bestimmen die Marktergebnisse (Benutzungsstunden, Stromerlöse), ob ein bestehendes Kraftwerk wirtschaftlich betrieben werden kann. Kraftwerke können entsprechend in Kaltreserve gehen, stillgelegt werden oder ihre Lebensdauer kann durch Ertüchtigungsmaßnahmen (Retrofit) verlängert werden (Abbildung 3-12).

<sup>38</sup> Zur modelltechnischen Implementierung der gekoppelten und ungekoppelten Fernwärmeverzeugung siehe auch Kapitel 3.1.8.1.

<sup>39</sup> In beiden Modellen werden innerhalb Deutschlands die Standorte von Kraftwerken oder erneuerbaren Energien in der hier eingesetzten Modellvariante nicht spezifiziert.

<sup>40</sup> Z.B. erneuerbare Energien analog zum durch das EEG vorgegebenen Zubaukorridor oder Erdgas-KWK-Anlagen, die durch das KWKG gefördert werden.

Abbildung 3-13: Iteration zwischen Kraftwerksstilllegung und -investition (ELIAS) und Kraftwerkseinsatz (PowerFlex)



Quelle: Eigene Abbildung

### 3.1.7.2 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, so dass Kraftwerke über die vorgegebene technische Lebensdauer hinaus betrieben werden können. KWK-Anlagen werden nach technischer Lebensdauer stillgelegt<sup>41</sup>. Tabelle 3-51 zeigt die angesetzten technischen Lebensdauern.

Im MWMS wird aufgrund der nach 2022 fortgesetzten Neuanlagenförderung im KWKG unterstellt, dass kohlebasierte KWK-Bestandsanlagen bereits nach 40 Jahren außer Betrieb gehen (hier ausgedrückt durch eine reduzierte technische Lebensdauer). Die dann wegfallende Wärmeerzeugungskapazität wird durch einen Zubau von Erdgas-KWK-Neuanlagen ausgeglichen (Tabelle 3-53).

<sup>41</sup> 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 (Anfang 2017) 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.

Tabelle 3-51: Technische Lebensdauern der Bestandskraftwerke<sup>42</sup>

Kraftwerkstyp	Lebensdauer der Kraftwerke in Jahren (MMS)	MWMS
Steinkohle	55	
Steinkohle (KWK)	65	40
Braunkohle	55	
Braunkohle (KWK)	65	40
Erdgas	30 (Dampfturbinen), 35 (andere)	
Erdgas (KWK)	30 (Gasturbinen), 40 (andere)	
Kernenergie	nach AtG 2011	
Öl	30 (Dampfturbinen), 35 (andere)	
Erneuerbare	25 (feste Biomasse), 20 (alle anderen)	

Quelle: Annahmen Öko-Institut

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Kraftwerksparks ist der Kraftwerkspark im Basisjahr 2014. Als Datengrundlage hierfür dienten hauptsächlich Kraftwerkslisten der Bundesnetzagentur (BNetzA 2016).<sup>43</sup> Stillegungsanzeigen der Bundesnetzagentur wurden berücksichtigt.

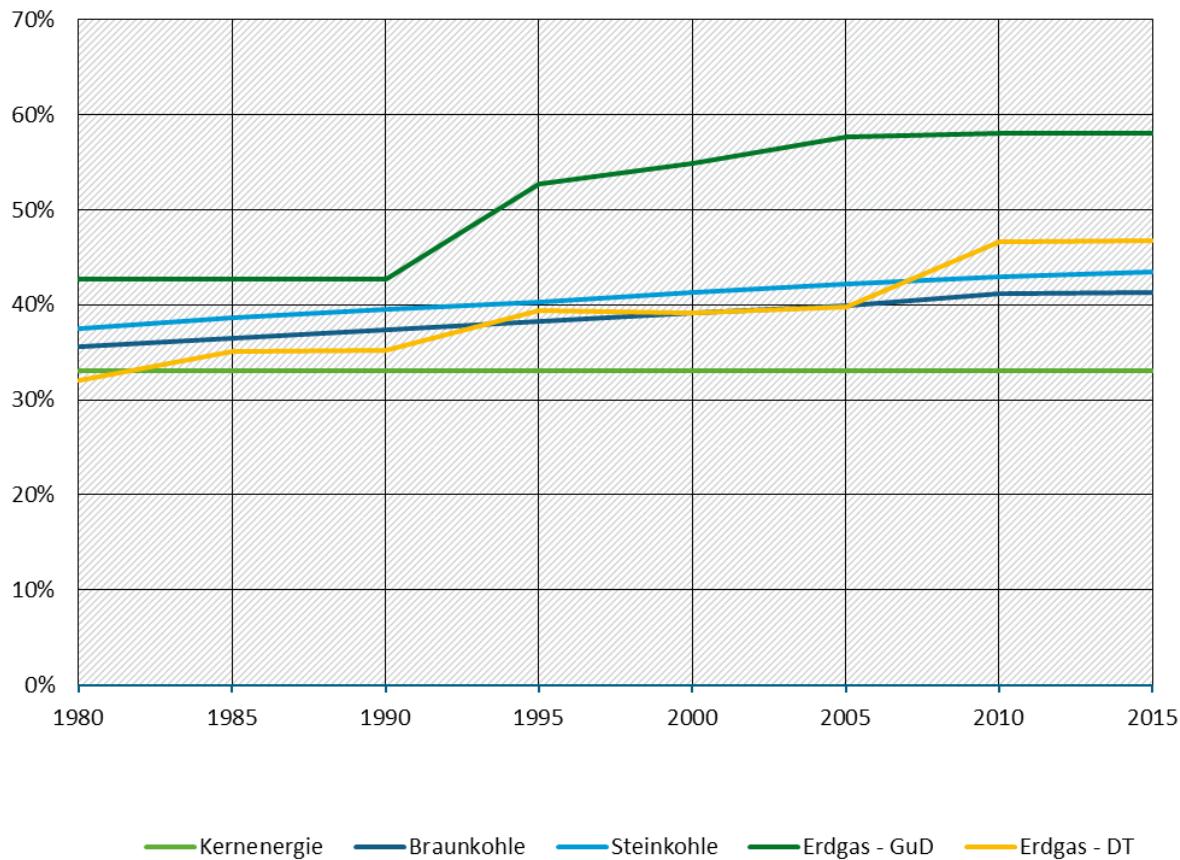
Die Eingangsparameter für das PowerFlex-Modell wurden im Basisjahr derart kalibriert, dass sowohl die Stromerzeugung nach Brennstoffen mit der amtlichen Statistik (StBA 2014d) als auch der Brennstoffeinsatz mit dem deutschen Treibhausgas-Inventar übereinstimmen. Hierzu wurden unter anderem die Wirkungsgrade der Bestandskraftwerke entsprechend angepasst.

Für Kondensationskraftwerke (Abbildung 3-14) 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.

<sup>42</sup> 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 Stillegung jedoch aus ökonomischen Erwägungen (s.o.), sodass die Kraftwerke vor Erreichen der Lebensdauer in Kalteserve gehen können oder bei wirtschaftlichem Betrieb Retrofit durchführen können und somit über die technische Lebensdauer hinaus weiterbetrieben werden können.

<sup>43</sup> Die Annahmen wurden ergänzt durch Kraftwerkslisten des Umweltbundesamtes (UBA 2014) und der Übertragungsnetzbetreiber (NEP 2015). Vom DIW wurden Angaben zu Kraftwerkstechnologien übernommen (DIW 2014). Im Einzelfall wurden einige Angaben aus Wikipedia und Pressemitteilungen im Internet ergänzt. Für kleine KWK-Anlagen wurden die installierten Leistungen durch eigene Auswertungen ergänzt (Öko-Institut 2014a).

Abbildung 3-14: Wirkungsgrade von Bestandskraftwerken (Kondensations-Kraftwerke und Stromscheiben der KWK-Anlagen) nach Inbetriebnahmejahr



Quelle: Annahmen und Berechnungen des Öko-Instituts

Die Abbildung von KWK-Anlagen wurde im Vergleich zum Projektionsbericht 2015 verbessert. In der Vergangenheit wurde die Stromerzeugung und Wärmeauskopplung aus KWK-Anlagen mit Hilfe eines gemittelten Wirkungsgrades ermittelt, der eine Mischung aus KWK- und Kondensations-Betrieb beinhaltete. In diesem Vorhaben wurde eine überarbeitete Version des KWK-Moduls im PowerFlex-Modell verwendet:

- ▶ 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 3-52 aufgeführten Parameter für die KWK-Scheiben der Kraftwerke verwendet. Für die Bestandsanlagen wurden die elektrischen Wirkungsgrade der KWK-Scheiben aus der Statistik abgeleitet.

Für die KWK-Scheiben der Neubaukraftwerke werden höhere elektrische Wirkungsgrade als für die Bestandsanlagen berücksichtigt. Für ab 2013 errichtete Steinkohle-Kraftwerke mit Wärmeauskopplung beträgt der elektrische Wirkungsgrad der KWK-Scheibe 33 %. Für ab 1997 errichtete stromgeführte Braunkohle-Kraftwerke ( $>500 \text{ MW}_{\text{el}}$ ) mit Wärmeauskopplung wurde ein Wirkungsgrad der KWK-Scheibe von 28 % unterstellt. Für die Erdgas-KWK-Anlagen  $> 1 \text{ MW}$ , die ab 2015 errichtet werden, wird im Durchschnitt über alle Anlagen und im Durchschnitt des Anlagenbetriebs (also nicht am

Bestpunkt) ein elektrischer Wirkungsgrad der KWK-Scheibe von 39 % unterstellt.<sup>44</sup> Bezuglich der Wirkungsgrade im Kondensationsbetrieb wurden für nach 2014 errichtete Erdgaskraftwerke folgende Annahmen getroffen: Für GuD-Anlagen wurde ein Wirkungsgrad im Kondensationsbetrieb von 58 % unterstellt (hauptsächlich für im Zeitraum 2015 bis 2019 errichtete Anlagen). Für die ab 2017 zu errichtenden Neubauprojekte, bei denen die Technologie nicht bekannt ist, wird eher von einem Zubau von Gasturbinen oder Motorenkraftwerken ausgegangen. Hintergrund sind die steigenden Flexibilitätsanforderungen für KWK-Anlagen und die niedrigeren Investitionskosten dieser Technologien im Vergleich zu GuD-Anlagen. Vor diesem Hintergrund wird für die ab 2017 neu in Betrieb genommenen Erdgas-KWK-Anlagen ein elektrischer Wirkungsgrad von 45 % im Betrieb zur ausschließlichen Stromerzeugung unterstellt (gilt für den Durchschnitt aller Anlagen > 1 MW). Für den Neubau von Anlagen < 1 MW ab 2015 wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 35 % sowohl für die KWK-Scheibe als auch im Kondensationsbetrieb unterstellt.

Tabelle 3-52: Parameter der KWK-Scheiben

	Elektrischer Wirkungsgrad der KWK-Scheibe (%)	Gesamtnutzungsgrad der KWK-Scheibe (%)
Steinkohle	23 %	80 %
Braunkohle	17 %	80 %
Erdgas – GuD/GT/DT	29 %	80 %
Erdgas – BHKW	29 %	80 %
Biogas	33 %	80 %
Feste Biomasse	20 %	80 %
Sonstige	12 % -28 %	50 % -80 %
Erdgas < 1 MW ab 2015	35 %	80 %
Erdgas > 1 MW ab 2015	39 %	80 %
Steinkohle-Neuanlage ab 2013	33 %	80 %
Braunkohle > 500 MW ab 1997	28 %	80 %

Quelle: Eigene Annahmen, basierend auf StBA 2014d

Die in Tabelle 3-51 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 3.1.7.1.3 beschrieben ist der zentrale Fokus der iterativen Anwendung von ELIAS und PowerFlex die endogene Modellierung der Stilllegungsdynamik der konventionellen Kraftwerke. Der Bau von Kraftwerken im Szenariohorizont wird der Modellierung vorgegeben. Dies sind zum einen Kraftwerke, die sich unabhängig von zusätzlichen Politiken und Maßnahmen bereits heute in einem fortgeschrittenen Planungs- oder Baustadium befinden. Zum anderen sind dies Kraftwerke, von denen

<sup>44</sup> Wenn die zugebauten Anlagen diesen Wert im Durchschnitt nicht erreichen sollten, würden die Emissionen in zukünftigen Szenariojahren höher ausfallen. Bei einem höheren elektrischen Nutzungsgang würde die Emissionsminderung entsprechend höher ausfallen.

davon ausgegangen werden kann, dass diese durch Politikmaßnahmen unterstützt in den kommenden Jahren errichtet (z.B. nach dem KWKG oder dem EEG) werden.

So werden die in den letzten Jahren errichteten Steinkohlekraftwerke in der Modellierung berücksichtigt. Für das Kraftwerk Datteln wurde eine Fertigstellung bis zum Jahr 2020 unterstellt. In Summe werden damit Steinkohle-Kraftwerksblöcke in einem Umfang von 7,2 GW zwischen 2013 und 2020 neu errichtet.<sup>45</sup> Im Basisjahr 2014 ist davon bereits eine Kraftwerksleistung von 3,1 GW in Betrieb.

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 sind Auktionen vorgesehen. Für das Mit-Maßnahmen-Szenario wird von der aktuellen Ausgestaltung des KWKGs ausgegangen. Dies bedeutet, dass über das Jahr 2021/2022 hinaus kein Zubau von KWK-Anlagen stattfindet.

Im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario wird die KWK-Neuanlagenförderung auch nach 2022 fortgesetzt. In der Modellierung wird unterstellt, dass die Neuanlagenförderung insbesondere ältere, ineffiziente Anlagen mit einem Alter von über 40 Jahren ersetzt (Tabelle 3-51).

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

- ▶ Anlagen < 1 MW werden als Aggregate abgebildet. Im Jahr 2014 beträgt die installierte Leistung dieser BHKW ~1.800 MW<sub>el</sub>. Vor dem Hintergrund des dynamischen Zubaus in den letzten Jahren wird angenommen, dass die installierte Leistung der BHKW < 1 MW bis zum Jahr 2020 um 1.000 MW auf 2.800 MW steigt. Im MMS und im MWMS wird nach 2020 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 im Szenarienverlauf ab 2020 also konstant.
- ▶ Für das Segment der Anlagen zwischen 1 und 50 MW 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<sub>el</sub> aus dieser Versteigerung verfügbar ist.<sup>46</sup> 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<sub>el</sub> in diesem Segment ergibt (davon 100 MW im Jahr 2020 und 200 MW im Jahr 2021). Da das weitere Ausschreibungsvolumen erst noch beschlossen werden müssen, wird ein entsprechender Zubau im Segment zwischen 1 und 50 MW nur im MWMS berücksichtigt.

In Bezug auf größere Erdgas-KWK-Anlagen werden in den Jahren 2015 und 2016 bereits errichtete Erdgas-Kraftwerke (z.B. Köln, Düsseldorf) in einem Umfang von insgesamt 1,3 GW berücksichtigt (Tabelle 3-52).<sup>47</sup> Basisjahr für die Modellierung ist 2014. Es wird davon ausgegangen, dass in den Jahren 2017 bis 2019 weitere Kraftwerke mit einer Leistung von 1,6 GW, die sich bereits heute in einem fortgeschrittenen Planungs- oder Baustadium befinden, auch tatsächlich gebaut werden (z.B. Kiel). Außerdem wird für das Jahr 2021 ein weiterer Zubau mit einer Leistung von 0,2 GW berücksichtigt.

<sup>45</sup> RWE hat im Dezember 2015 bekannt gegeben, dass der Kraftwerksblock Westfalen D nicht fertiggestellt wird. Deshalb wird dieser Kraftwerksblock in der Modellierung nicht berücksichtigt.

<sup>46</sup> 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.

<sup>47</sup> Zusätzlich zu den hier aufgeführten KWK-Anlagen wird auch noch die Inbetriebnahme des Erdgas-Kondensationskraftwerks in Bremen (Kraftwerk Mittelsbüren) Ende des Jahres 2016 berücksichtigt.

Im MMS werden so zwischen 2015 und 2020 insgesamt 4,5 GW neuer Erdgas-Anlagen (BHKW und große Erdgas-Kraftwerke) gebaut. Zwischen 2020 und 2025 beträgt der Zubau von Erdgas-Kraftwerken dann nur noch 0,5 GW (davon 0,3 GW aus dem Segment der Auktion zwischen 1 und 50 MW). Nach 2025 wird im MMS kein Zubau von Erdgas-Kraftwerken berücksichtigt.

Tabelle 3-53: Kumulierter Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen im MMS und MWMS ab 2015 (GW<sub>el</sub>)

MMS	2020	2025	2030	2035
Anlagen < 1 MW	1,0	1,0	1,0	1,0
Anlagen 1 MW bis 50 MW	0,6	0,9	0,9	0,9
Anlagen > 50 MW	2,9	3,1	3,1	3,1
davon bereits errichtet	1,3	1,3	1,3	1,3
davon Baubeginn / fortgeschrittene Planung	1,6	1,8	1,8	1,8
<b>Summe</b>	<b>4,5</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>
MWMS	2020	2025	2030	2035
Anlagen < 1 MW	1,0	1,0	1,0	1,0
Anlagen 1 MW bis 50 MW	0,6	1,6	2,6	3,6
Anlagen > 50 MW	2,9	4,6	6,1	7,6
davon bereits errichtet	1,3	1,3	1,3	1,3
davon Baubeginn / fortgeschrittene Planung	1,6	1,8	1,8	1,8
Weiterführung KWKG		1,5	3,0	4,5
<b>Summe</b>	<b>4,5</b>	<b>7,2</b>	<b>9,7</b>	<b>12,2</b>
<b>Zubau im MWMS im Vergleich zum MMS</b>	<b>0,0</b>	<b>2,2</b>	<b>4,7</b>	<b>7,2</b>

Quelle: Eigene Berechnung basierend auf BNetzA 2016

Im MWMS erfolgt ein Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen auch über den Zeitraum 2020 hinaus:

- ▶ Für die Anlagen < 1 MW wird im MWMS kein zusätzlicher Zubau gegenüber dem MMS berücksichtigt.<sup>48</sup>
- ▶ Für das Segment der Anlagen zwischen 1 und 50 MW wird unterstellt, dass die Versteigerung auch über 2020 hinaus mit einem jährlichen Versteigerungsvolumen von 200 MW fortgeführt wird.
- ▶ Im Segment der Anlagen > 50 MW<sub>el</sub> wird unterstellt, dass zwischen 2020 und 2035 ein jährlicher Zubau von 300 MW<sub>el</sub> realisiert werden kann.<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Der Ersatzbedarf an KWK-Anlagen besteht eher für größere Wärmesenken, die bisher von Kohlekraftwerken versorgt wurden. Daher wird im MWMS kein Netto-Zubau im Segment < 1 MW unterstellt. Darüber hinaus sind die Kosten kleiner Anlagen vergleichsweise hoch, was ihre Realisierung unwahrscheinlicher macht.

<sup>49</sup> Abgeleitet aus dem Ersatzbedarf, der sich im Durchschnitt durch die reduzierte technische Lebensdauer der Altanlagen im MWMS ergibt.

Insgesamt beträgt der zusätzliche Zubau im MWMS gegenüber dem MMS damit fast 5 GW Erdgaskraftwerkskapazität bis zum Jahr 2030 (davon 1,7 GW im Segment zwischen 1 und 50 MW und 3 GW im Segment > 50 MW). Die im MWMS zusätzlich errichteten Erdgas-KWK-Anlagen werden errichtet, um den Rückgang der Erzeugungskapazitäten durch die auf 40 Jahre verkürzte technische Lebensdauer von kohlebasierten KWK-Anlagen auszugleichen (vergleiche Tabelle 3-51).

Der Umfang der Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen beträgt im Basisjahr 2014 etwa 230 TWh und bleibt im MMS etwa auf diesem Niveau. Im MMS beträgt die Wärmeerzeugung der KWK-Anlagen im Jahr 2030 noch 223 TWh. Da in den Nachfragesektoren Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden, ist im MWMS die Wärmeerzeugung der KWK-Anlagen geringfügig geringer, bleibt aber mit einem Umfang von 213 TWh mit der Wärmeerzeugung im MMS vergleichbar.

Im Rahmen der im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 vorgesehenen Überführung von **Braunkohlekraftwerken in eine Sicherheitsbereitschaft** wird in beiden Szenarien von einer Bereitschaft der Kraftwerke (Konservierung; kein Betrieb mehr im Strommarkt) für 4 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 2014 konstant bleibt.

**Die Entwicklung der Leistung erneuerbarer Energien** im MMS (Tabelle 3-54) wird auf Basis der Vorgaben des EEG 2017 und weiterer Abschätzungen abgeleitet. So basiert die Entwicklung der installierten Leistung für Windenergie an Land auf einem jährlichen Brutto-Zubau von 2,8 GW für die Jahre 2017-2019 und von 2,9 GW ab dem Jahr 2020. Nach 2020 kommt es aufgrund des Bruttozubaus und dem entsprechenden Ausscheiden von Altanlagen lediglich zu einem geringfügigen 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 2030). Aufgrund von Branchenabschätzungen (BWE 2017) wird der im Jahr 2020 erreichte Ausbauwert jedoch mit 7,5 GW etwas höher abgeschätzt.

Die Entwicklung der PV-Leistung orientiert sich am im EEG 2017 vorgesehenen jährlichen Brutto-Zubau von 2,5 GW. Darüber sieht das EEG 2017 vor, dass eine Vergütung von Strom für Photovoltaikanlagen nach §19 jenseits einer Obergrenze von 52 GW entfällt (§49 (5)). Förderung erhalten damit nur noch Anlagen, welche im Rahmen von Ausschreibungen nach §22 errichtet werden, wobei das Ausschreibungsvolumen nach §28 (2) auf 600MW pro Jahr begrenzt wird. Der Brutto-Zubau von PV-Anlagen, die durch diesen Zubau nicht kompensierte Außerbetriebnahme von Altanlagen sowie die Obergrenze bewirken, dass der Ausbau zwischen 2020 und 2030 im Vergleich zu den Vorjahren geringfügig ausfällt. Zwischen 2030 und 2035 ist darüber hinaus ein Rückgang der installierten Leistung zu verzeichnen, da die Außerbetriebnahmen durch den Zubau nicht kompensiert werden.<sup>50</sup>

Der Zubau von Biomasseanlagen basiert auf einem Brutto-Zubau von 150 MW in den Jahren 2017-2019 sowie von 200 MW in den Jahren 2020 bis 2022. Ab dem Jahr 2023 wird von einem jährlichen Brutto-Zubau von 150 MW ausgegangen<sup>51</sup>. Es wird davon ausgegangen, dass der Zubau in Biogasanlagen erfolgt. Aufgrund des begrenzten Zubaus sowie des Ausscheidens von Altanlagen nimmt die installierte Leistung vor allem bei Biogas-Anlagen deutlich ab<sup>52</sup>, während die Leistung bei Anlagen zur

<sup>50</sup> Sowohl für das MMS als auch das MWMS wird angenommen, dass PV-Anlagen 5 Jahre über die Vergütungsdauer hinaus betrieben werden. Dies ist ebenfalls in den Leistungsgerüsten reflektiert.

<sup>51</sup> Das tatsächliche Ausschreibungsvolumen ist noch festzulegen (§ 28 (3)).

<sup>52</sup> Sofern Biogas-Anlagen länger als ihre vorgegebene Lebensdauer und ohne Vergütung nach dem EEG betrieben werden, so kann die verfügbare Leistung höher als die hier angegebene sein (siehe Abschnitte 3.1.7.3 und 3.1.7.5). Außerdem

Verbrennung fester Biomasse nur geringfügig abnimmt. 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.

Für das MWMS (Tabelle 3-55) wird davon ausgegangen, dass im Vergleich zum MMS die Obergrenze von 52 GW für PV-Anlagen entfällt und zusätzlich der Zubau so ausgestaltet wird, dass ab 2030 die installierte Leistung der PV-Anlagen nicht zurückgeht, sondern auf konstantem Niveau verbleibt. Außerdem steigt im Jahr 2035 im MWMS die installierte Leistung von Wind-Onshore gegenüber dem MMS um gut 3 GW.

---

wird unterstellt, dass die Begrenzung der Vergütung auf eine Auslastung von 50% für neue Anlagen dazu führt, dass bis 2030 alle Anlagen mit einer Auslastung von maximal 50% betrieben werden.

Tabelle 3-54: Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MMS)

Technologie	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Wasser <sup>53</sup>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Windenergie an Land <sup>54</sup>	37,6	52,1	54,0	58,1	61,2
Windenergie auf See	1,0	7,5	10,7	14,9	18,9
Biogas <sup>55</sup>	4,3	6,0	6,2	4,9	2,9
Biomasse <sup>56</sup>	2,7	2,7	2,4	1,7	1,4
Photovoltaik	38,3	51,0	57,4	60,5	49,7
Geothermie	0,03	0,2	0,4	0,6	0,9

Quelle: (BMWi &amp; AGEE-Stat 2016), EEG 2017, (BWE 2017), Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-55: Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MWMS)

Technologie	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Wasser <sup>53</sup>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Windenergie an Land <sup>54</sup>	37,6	52,1	54,0	58,1	64,6
Windenergie auf See	1,0	7,5	10,7	14,9	18,9
Biogas <sup>55</sup>	4,3	6,0	6,2	4,9	2,9
Biomasse <sup>56</sup>	2,7	2,7	2,4	1,7	1,4
Photovoltaik	38,3	51,0	63,4	74,0	74,0
Geothermie	0,03	0,2	0,4	0,6	0,9

Quelle: (BMWi &amp; AGEE-Stat 2016), EEG 2017, BWE 2017, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Im Vergleich zum Projektionsbericht 2015 wurden die Vollaststunden für die Windenergie basierend auf neueren Forschungsergebnissen aktualisiert (Tabelle 3-56). Hierbei wird jedoch angenommen, dass für Wind-Onshore die in Öko-Institut & Forwind (2016) angenommenen Vollaststunden für 2030 erst im Jahr 2035 erreicht werden. 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 3-56: Vollaststunden<sup>57</sup> zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien

	2020	2025	2030	2035
--	------	------	------	------

<sup>53</sup> Ohne Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluss<sup>54</sup> Auf Grundlage nach Abschluss der Modellierungen vorliegenden Daten zu Genehmigungen von Anlagen bis Ende 2016 könnte die installierte Leistung in 2020 ggfs. etwas höher liegen.<sup>55</sup> Einschließlich Deponegas und Klärgas.<sup>56</sup> Feste Biomasse und Pflanzenöl.<sup>57</sup> Es handelt sich um rechnerische Vollaststunden, welche sich auf die installierte Leistung am Ende eines Jahres und die Stromerzeugung dieses Jahres beziehen.

Technologie	h/a			
Wasser	3.690	3.690	3.690	3.690
Windenergie an Land	1.839	1.839	1.936	2.033
Windenergie auf See	4.027	4.027	4.032	4.036
Photovoltaik	843	875	903	918

Quelle: Wasser basierend auf historischer Auslastung im Jahr 2014, 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-Heizkraftwerke zu entsorgende Müllmenge bestimmt. Diese ist in Tabelle 3-57 als Primärenergieeinsatz für das MMS dargestellt. Diese Projektion basiert auf den Annahmen, dass das Aufkommen von Industriemüll und Klärschlamm ab 2012 konstant bleiben, und bis 2025 aufgrund der Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetz zur getrennten Erfassung und Verwertung von Bioabfällen ein leichter Rückgang der biogenen Abfälle bei den Siedlungsabfällen zu erwarten ist.

Für das MWMS (Tabelle 3-58) wird angenommen, dass die Müllmenge, die der Stromerzeugung zugeführt wird, insgesamt langfristig deutlich abnimmt. Grundlage für den Rückgang dieser Müllmenge ist insbesondere eine bessere Getrennterfassung. Dies ermöglicht z.B. mehr Kunststoffrecycling, außerdem können aufbereitete Abfälle zunehmend mit höherer Effizienz in anderen energetisch Sektoren genutzt werden (z.B. in Prozessfeuerungen in der Industrie).

In beiden Szenarien wird angenommen, dass der Anteil des biogenen Abfalls im Industriemüll konstant ca. 20 % beträgt, während er bei den Siedlungsabfällen entsprechend dem Rückgang der biogenen Abfälle leicht sinkt.

Tabelle 3-57: Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MMS

		2014	2020	2025	2030	2035
gesamt	PJ	382	376	373	364	364
Fossil	PJ	246	246	246	246	246
Biogen	PJ	136	130	127	118	118
Anteil biogen	%	35,5 %	34,5 %	33,9 %	32,3 %	32,3 %

Quelle: Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-58: Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MWMS

		2014	2020	2025	2030	2035
gesamt	PJ	382	363	344	328	313
Fossil	PJ	246	237	226	220	210
Biogen	PJ	136	126	118	108	103
Anteil biogen	%	35,5 %	34,8 %	34,3 %	33,0 %	33,0 %

Quelle: Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Bei der Modellierung wurde eine neue Version des Strommarktmödells des Öko-Instituts eingesetzt, welches das europäische Ausland besser abbildet (Power-Flex-EU). Die Annahmen für das europäische Ausland sind in Öko-Institut (2017) dokumentiert (Basisszenario). Bezuglich des Netzausbau mit den europäischen Nachbarländern wurde im Vergleich zu Öko-Institut (2017) ein um 5 Jahre verzögter

Netzausbau unterstellt. **Die Stromimporte oder -exporte** werden entsprechend modellendogen ermittelt.

Die CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise steigen im MMS und MWMS auf 33,5 €/EUA im Jahr 2030 (Abschnitt 2.3). Es wird eine vollständige Auktionierung der für die Stromproduktion benötigten Emissionsberechtigungen berücksichtigt. Für die Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen gibt es eine begrenzte kostenlose Zuteilung von Emissionszertifikaten.<sup>58</sup> Für die Modellierung maßgebliche Betrachtung des Kraftwerkseinsatzes ist der volle CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreis anzusetzen (Opportunitätskosten-Betrachtung).

Die Laufzeit der **Kernkraftwerke** wird gemäß AtG 2011 dem Modell vorgegeben.

### 3.1.7.3 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.

#### 3.1.7.3.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Der Endenergieverbrauch an Strom nimmt zwischen 2008 und 2020 geringfügig ab (um 1,9 %) und sinkt bis zum Jahr 2035 um insgesamt 7,6 %. 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 4,4 % sinkt und um 11,8 % 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. Dabei 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 2014 bereits 36 TWh bzw. 6 %, gemessen an der Bruttostromerzeugung, aus (siehe Tabelle 3-58). Die Bruttostromerzeugung nimmt bis 2020 im Vergleich zu 2014 etwas zu (um 6 TWh), daher steigt der Exportüberschuss bis 2020 auf 41 TWh bzw. 7 %. Bis 2035 sinkt die Bruttostromerzeugung auf 579 TWh bzw. 10 % unterhalb des Niveaus von 2008. Entsprechend nimmt der Exportüberschuss bis 2035 auf 34 TWh ab und macht nur noch 6 % der Bruttostromerzeugung aus. Zusammenfassend gesagt bleibt der Stromexport im MMS etwa auf dem Niveau des Jahres 2014, wobei in einigen Stützjahren auch das höhere Niveau des Jahres 2015 erreicht wird.

---

<sup>58</sup> Die Bedeutung der kostenlosen Zuteilung für die Wärmeleitung nimmt im Zeitverlauf ab. 2020 beträgt sie nur noch 30% der „Grundzuteilungsmenge“ und läuft bis 2027 ganz aus (EU 2009).

Tabelle 3-59: Stromverbrauch im MMS 2008-2035

Sektor	2008	2014	2020	2025	2030	2035
TWh						
Industrie	232,6	228,8	227,6	217,3	206,8	197,9
GHD	135,7	142,8	142,3	140,6	139,1	140,3
Haushalte	139,5	129,7	131,2	121,4	116,8	115,9
Schienenverkehr	16,5	11,5	11,2	11,0	10,6	10,8
Straßenverkehr	0,0	0,1	2,1	6,7	13,5	19,3
<b>Stromverbrauch Endenergie</b>	<b>524,3</b>	<b>512,8</b>	<b>514,4</b>	<b>497,1</b>	<b>486,8</b>	<b>484,2</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-2,2 %	-1,9 %	-5,2 %	-7,1 %	-7,6 %
Raffinerien	6,4	6,2	5,9	5,5	5,2	5,0
Übrige Energiewirtschaft	7,7	6,8	5,8	5,3	4,3	3,8
Leitungsverluste	30,1	24,2	24,1	23,2	22,6	22,3
Pumpstrom <sup>59</sup>	7,9	8,0	8,2	2,6	3,3	4,4
Eigenstromverbrauch Kraftwerke	38,3	35,8	31,8	30,0	27,8	24,9
<b>Stromverbrauch Energiewirtschaft</b>	<b>90,5</b>	<b>81,1</b>	<b>75,9</b>	<b>66,7</b>	<b>63,3</b>	<b>60,5</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-	-	-	-	-33,2 %
		10,4 %	16,2 %	26,3 %	30,1 %	
Statistische Differenz <sup>a</sup>	-3,4	2,9	-1,0	-0,9	-0,8	-0,6
<b>Bruttostromverbrauch</b>	<b>618,2</b>	<b>591,0</b>	<b>591,3</b>	<b>564,7</b>	<b>550,9</b>	<b>545,3</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-0,6 %	-4,4 %	-8,7 %	-	-11,8 %
					10,9 %	
Stromhandelssaldo <sup>b</sup>	-22,5	-35,6	-41,3	-38,6	-50,7	-33,8
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>640,7</b>	<b>626,6</b>	<b>632,6</b>	<b>603,2</b>	<b>601,6</b>	<b>579,2</b>

Quelle: (AGEB 2008a-2016), (AGEB 2016). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen.

<sup>b</sup> Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

### 3.1.7.3.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario

Der Endenergieverbrauch an Strom sinkt gegenüber 2008 bis 2020 nur leicht um 2,7 % und um 8,9 % bis 2035. Er würde deutlich stärker sinken, wenn es nicht zu einer deutlichen Steigerung des Stromverbrauchs im Straßenverkehr durch Elektrofahrzeuge kommen würde, der im MWMS ungefähr doppelt so hoch ist wie im MMS. Mehrere unterschiedliche Effekte in der Energiewirtschaft führen dazu,

<sup>59</sup> 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.

dass der Bruttostromverbrauch gegenüber 2008 deutlich um 5,1 % bis 2020 und um 13,5 % bis 2035 sinkt. Insbesondere ist hier die Reduktion des Eigenbedarfs von Kraftwerken 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, auch im MWMS deutlich um fünf Prozentpunkte verfehlt. Wie bereits erwähnt ist jedoch die Rolle der Sektorkopplung zu berücksichtigen. Je nachdem welche Entwicklung – Sektorkopplung oder Stromeffizienz – 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 2014 bereits 36 TWh bzw. 6 %, gemessen an der Bruttostromerzeugung, aus (siehe Tabelle 3-60). Die Bruttostromerzeugung bleibt bis 2020 im Wesentlichen konstant, daher steigt der Exportüberschuss bis zum Jahr 2020 auf 40 TWh (6 %). Bis 2035 sinkt die Bruttostromerzeugung auf 574 TWh bzw. 10 % unterhalb des Niveaus von 2008 ab. Der Exportüberschuss nimmt bis 2030 zunächst deutlich zu (auf 58 TWh) und sinkt dann bis 2035 auf 39 TWh (7 % der Bruttostromerzeugung).

Tabelle 3-60: Stromverbrauch im MWMS 2008-2035

Sektor	2008	2014	2020	2025	2030	2035
TWh						
Industrie	232,6	228,8	226,6	215,4	203,9	193,5
GHD	135,7	142,8	140,1	135,6	131,8	132,4
Haushalte	139,5	129,7	130,1	113,9	106,2	103,5
Schienenverkehr	16,5	11,5	11,4	11,2	10,9	11,1
Straßenverkehr	0,0	0,1	2,1	8,7	24,0	37,2
<b>Stromverbrauch Endenergie</b>	<b>524,3</b>	<b>512,8</b>	<b>510,3</b>	<b>484,7</b>	<b>476,7</b>	<b>477,8</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-2,2 %	-2,7 %	-7,6 %	-9,1 %	-8,9 %
Raffinerien	6,4	6,2	5,9	5,4	4,9	4,4
Übrige Energiewirtschaft	7,7	6,8	5,8	5,3	4,3	3,8
Leitungsverluste	30,1	24,2	24,0	22,6	21,9	21,7
Pumpstrom <sup>60</sup>	7,9	8,0	8,5	2,9	3,6	5,4
Eigenstromverbrauch Kraftwerke	38,3	35,8	31,1	28,0	24,9	21,1
<b>Stromverbrauch Energiewirtschaft</b>	<b>90,5</b>	<b>81,1</b>	<b>75,3</b>	<b>64,2</b>	<b>59,7</b>	<b>56,3</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-10,4 %	-16,8 %	-29,1 %	-34,1 %	-37,8 %
Statistische Differenz <sup>a</sup>	-3,4	2,9	-1,0	-1,0	-0,8	-0,6
<b>Bruttostromverbrauch</b>	<b>618,2</b>	<b>591,0</b>	<b>586,5</b>	<b>549,8</b>	<b>537,2</b>	<b>534,7</b>

<sup>60</sup> 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	2014	2020	2025	2030	2035
TWh						
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-4,4 %	-5,1 %	-11,1 %	-13,1 %	-13,5 %
Stromhandelssaldo <sup>b</sup>	-22,5	-35,6	-39,7	-43,9	-58,2	-39,2
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>640,7</b>	<b>626,6</b>	<b>626,2</b>	<b>593,7</b>	<b>595,4</b>	<b>574,0</b>

Quelle: (AGEB 2008a-2016), (AGEB 2016). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen.

<sup>b</sup> Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

### 3.1.7.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

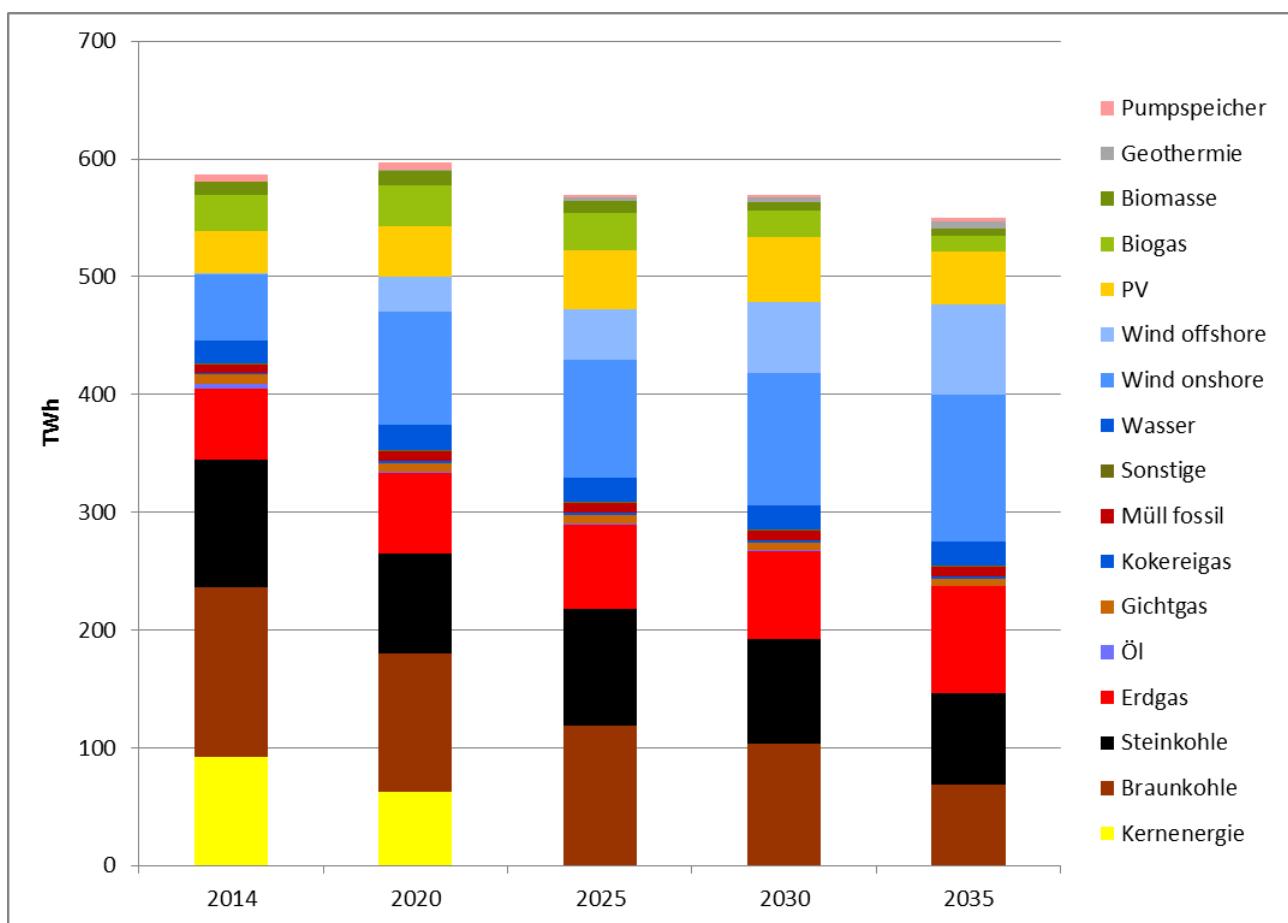
Abbildung 3-15 und Tabelle 3-61 stellen die Entwicklung der Netto-Stromerzeugung<sup>61</sup> dar sowie Tabelle 3-62 die Nettoleistung für das MMS bis 2035. Der Stromverbrauch nimmt im Szenariohorizont um ca. 10 % ab (Tabelle 3-58). Durch den zum Teil sehr signifikanten Stromexport (zwischen 34 und 51 TWh), bleibt die Netto-Stromerzeugung jedoch bis 2020 auf einem Niveau von ca. 600 TWh und nimmt danach auf 574 TWh im Jahr 2030 ab.

Die Kernenergie-Stromerzeugung nimmt dann 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.

Die Braunkohle-Stromerzeugung geht durch die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft bis 2020 um ca. 20 % zurück und beträgt im Jahr 2020 noch 117 TWh. Im Jahr 2025 bleibt die Braunkohle-Stromerzeugung auf diesem Niveau (118 TWh). Bis 2030 reduziert sich so die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke durch Stilllegungen auf 15,5 GW. In der Folge geht auch die Stromerzeugung der Braunkohlekraftwerke bis 2030 auf 103 TWh zurück.

<sup>61</sup> Die Brutto-Stromerzeugung ist in Tabelle A-5-5 in Anhang 3 enthalten.

Abbildung 3-15: Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Die Steinkohle-Verstromung nimmt bis zum Jahr 2020 um 22 % ab und beträgt im Jahr 2020 noch 85 TWh. Bedingt durch den Kernenergieausstieg und eine hohe Nachfrage aus dem Ausland steigt die Stromproduktion aus Steinkohle bis 2025 wieder auf 100 TWh, sinkt dann aber im Jahr 2030 wieder auf 90 TWh und ist damit leicht höher als im Jahr 2020. Die installierte Leistung ist mit 20 GW im Jahr 2030 nur geringfügig niedriger als im Jahr 2020. Auch bedingt durch die vergleichsweise gute Wirtschaftlichkeit werden nur wenige Steinkohle-Kraftwerke in die Kaltreserve überführt oder stillgelegt.

Die Erdgas-Verstromung steigt bis zum Jahr 2020 leicht an (um etwa 10 % gegenüber dem Jahr 2014). Hintergrund ist der Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen bis 2020. Die Erdgasverstromung wird dann durch KWK-Anlagen dominiert. Bis zum Jahr 2030 nimmt die Erdgas-Verstromung weiter leicht zu. Dies ist vor allem durch die zunehmende Stromproduktion der in KWK-Anlagen zu erklären, welche vermehrt stromgetrieben gefahren werden.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nimmt im Szenario deutlich zu (auf ca. 286 TWh im Jahr 2030 von ca. 160 TWh im Jahr 2014). Diese Entwicklung wird vor allem durch starken Zubau von Windenergie an Land und auf See getrieben. Die PV-Erzeugung nimmt ebenfalls zu (Anstieg um ca. 25 % bis zum Jahr 2035), wobei es hier zu einer Sättigung im Zeitverlauf kommt. Die Biomasse-Verstromung (Biogas und Biomasse) nimmt deutlich von ca. 47 TWh auf ca. 24 TWh ab. Dies ist durch den starken Rückgang der Biogas-Verstromung zu erklären. Hier wirkt sich vor allem die Begrenzung des Biomasse-Zubaus auf 150-200 MW (brutto) mittelfristig also deutlich aus (Tabelle 3-53).

Tabelle 3-61: Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Kernenergie	92	63	0	0	0
Braunkohle	144	117	118	103	69
Steinkohle	109	85	100	90	78
Erdgas	60	68	71	74	91
Sonstige	22	19	19	18	17
Öl	4	1	1	1	0
Gichtgas	7	7	7	7	6
Kokereigas	2	2	2	2	2
Müll fossil	7	7	7	7	7
Sonstige	1	1	1	1	1
Erneuerbare	160	243	263	286	297
Wasser	19	21	21	20	20
Wind	57	126	142	173	201
Wind onshore	56	96	99	113	124
Wind offshore	1	30	43	60	76
PV	36	43	50	55	46
Biogas	30	35	32	22	13
Biomasse	11	12	11	8	6
Geothermie	0	1	3	4	6
Müll biogen	6	5	5	5	5
<b>Pumpspeicher</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Summe	592	601	573	574	554
<b>Export-Import-Saldo (Import positiv)</b>	<b>-36</b>	<b>-41</b>	<b>-39</b>	<b>-51</b>	<b>-34</b>
<b>Summe abzüglich Exporte</b>	<b>556</b>	<b>559</b>	<b>535</b>	<b>523</b>	<b>520</b>

Quelle: Daten für 2014 basierend auf (AGEB 2016), (StBA 2014d), Modellrechnungen Öko-Institut

Die Stromerzeugung aus sonstigen Brennstoffen (Öl, Hochofengas usw.) nimmt im Szenario etwas ab. Dies liegt insbesondere am Rückbau der Ölkarftwerke im Zeitverlauf, während die Stromerzeugung aus den anderen „sonstigen“ Brennstoffen auf dem Niveau von 2014 verbleibt.

Tabelle 3-62: Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Kernenergie	12	8	0	0	0
Braunkohle	21	18	17	16	11
Steinkohle	27	22	21	20	18
Erdgas	26	18	19	18	20

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
GW					
Sonstige	9	6	6	5	5
Öl	4	1	1	1	0
Gichtgas	1	1	1	1	1
Kokereigas	1	1	1	1	1
Müll	3	3	3	3	3
Sonstige	0	0	0	0	0
Erneuerbare	88	123	135	145	140
Wasser	4	4	4	4	4
Wind	39	60	65	73	80
Wind onshore	38	52	54	58	61
Wind offshore	1	7	11	15	19
PV	38	51	57	60	50
Biogas	4	6	6	5	3
Biomasse	3	3	2	2	1
Geothermie	0,0	0,2	0,4	0,6	0,9
Pumpspeicher	9	9	9	9	9
<b>Summe</b>	<b>192</b>	<b>205</b>	<b>207</b>	<b>213</b>	<b>204</b>

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Daten für 2014 basierend auf (BNetzA 2016), (BNetzA 2014), (DIW 2014), (NEP 2015), (Öko-Institut 2014a), (UBA 2016b), (AtG vom 26.7.2016), (Strommarktgesetz vom 26.07.2016)

Bezogen auf den Bruttostromverbrauch (Tabelle A-5-5) nimmt der Anteil der erneuerbaren Energien von 27,3 % im Jahr 2014 auf 46,6 % im Jahr 2025 und 54,5 % im Jahr 2035 zu, wobei der größte Zuwachs zwischen 2014 und 2020 erfolgt. Der EE-Anteil liegt damit im MMS im Jahr 2025 nur ganz leicht oberhalb des Korridors nach dem EEG 2017 (40-45 %). Im Falle eines höheren als in dieser Studie angenommenen Bruttostromverbrauchs kann der Ausbaukorridor auch eingehalten oder ggf. leicht unterschritten werden. Im Jahr 2035 wird der im EEG 2017 vorgesehene Korridor (55-60 %) leicht unterschritten, was unter anderem auf den in späteren Jahren nur noch geringfügigen Zuwachs (geringer Nettozubau aufgrund der Stilllegung älterer Anlagen) von Wind Onshore sowie dem absehbaren Rückgang der PV-Verstromung nach dem Ausscheiden der zubaustarken Jahrgänge 2009 bis 2012 in den Jahren nach 2030 zurückzuführen ist. Maßgeblich sind hier unter anderem der im EEG 2017 angelegte Brutto-Zubau sowie die Obergrenze des PV-Zubaus.

### 3.1.7.4.1 Emissionsentwicklung

Die THG-Emissionen des Stromsektors (einschließlich der Emissionen von KWK-Anlagen für Strom- und Wärmeerzeugung) sinken im Mit-Maßnahmen-Szenario von 364 Mt CO<sub>2</sub>e (2014) auf 286 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2030 (Tabelle 3-63), dabei entfallen ca. 60 Mt CO<sub>2</sub>e der Minderung auf den Zeitraum bis 2020, während im Zeitraum 2020 bis 2030 nur weitere 15 Mt CO<sub>2</sub>e gemindert werden. Zwischen 1990 und 2035 gehen die Emissionen des Stromsektors um knapp 50 % zurück. Im Vergleich zu 2005 ist dies ein Rückgang um fast 40 %. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen dominieren mit fast 99 % der Gesamtemissionen des Stromsektors deutlich.

Tabelle 3-63: THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MMS, 1990–2035

	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
--	------	------	------	------	------	------	------

	Mt CO <sub>2</sub> e						
CO <sub>2</sub> -Emissionen	455,5	382,8	358,9	295,2	307,9	281,5	235,6
<i>Öffentliche Kraftwerke<sup>a</sup></i>	323,7	322,8	303,4	240,3	252,6	227,0	180,6
<i>Raffineriekraftwerke</i>	9,6	5,7	4,7	2,3	2,2	2,2	2,1
<i>Übrige KW der Energiewirtschaft</i>	53,7	13,5	4,0	3,2	3,2	2,9	2,0
<i>Industriekraftwerke</i>	68,5	40,8	46,8	49,4	49,9	49,4	50,9
CH <sub>4</sub> -Emissionen	0,3	1,0	2,4	3,6	3,4	2,6	1,8
N <sub>2</sub> O-Emissionen	3,5	2,8	2,8	2,5	2,5	2,2	1,8
<b>Emissionen der Kraftwerke</b>	<b>459,3</b>	<b>386,5</b>	<b>364,2</b>	<b>301,3</b>	<b>313,7</b>	<b>286,3</b>	<b>239,1</b>
<i>ggü. 2005</i>	18,8 %	0,0 %	-5,8 %	-22,1 %	-18,8 %	-25,9 %	-38,1 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-15,8 %	-20,7 %	-34,4 %	-31,7 %	-37,7 %	-47,9 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkung: a Inklusive CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA)

Für das Jahr 2014 betragen die THG-Emissionen des Stromsektors 364 Mt CO<sub>2</sub>e (mit REA, Tabelle 3-64). Die Braunkohlekraftwerke tragen mit 168 Mt CO<sub>2</sub>e den größten Emissionsanteil bei, gefolgt von den Steinkohlekraftwerken mit Emissionen in Höhe von 128 Mt CO<sub>2</sub>e (hier inkl. Kuppelgase). Die Emissionen aus fossilen Gasen (v.a. Erdgas) liegen bei ca. 39 Mt CO<sub>2</sub>e.

Tabelle 3-64: THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e							
Braunkohlen	246,8	169,6	167,7	132,2	132,5	115,3	76,2
Steinkohlen	152,1	142,7	127,6	99,6	111,9	102,0	90,7
Mineralöl	19,4	12,5	7,4	2,1	1,9	1,7	0,9
Fossile Gase	33,8	49,7	38,5	45,3	45,4	46,4	51,5
Müll	6,6	10,4	19,8	17,9	18,0	18,0	18,0
Biomasse	0,1	0,5	2,2	3,4	3,1	2,3	1,4
<b>Summe</b>	<b>458,7</b>	<b>385,4</b>	<b>363,2</b>	<b>300,5</b>	<b>312,9</b>	<b>285,6</b>	<b>238,6</b>
REA	0,6	1,1	1,0	0,8	0,8	0,7	0,5
<b>Summe mit REA</b>	<b>459,3</b>	<b>386,5</b>	<b>364,2</b>	<b>301,3</b>	<b>313,7</b>	<b>286,3</b>	<b>239,1</b>

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Öko-Institut

Bis zum Jahr 2020 gehen die Emissionen aus der Kohleverstromung um ca. 60 Mt CO<sub>2</sub>e zurück. Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke tragen zu gleichen Anteilen zu dieser Emissionsreduktion bei. Der Emissionsrückgang ist vor allem auf Kraftwerksstilllegungen zurückzuführen. Bei der Braunkohle durch die schrittweise Überführung von Kraftwerken in die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft. Bei der Steinkohle durch die bei der Bundesnetzagentur angekündigten Kraftwerksstilllegungen. Nach 2020 steigen die Emissionen aus der Steinkohle wieder um ca. 12 Mt CO<sub>2</sub>e an, während die Emissionen aus Braunkohle annähernd konstant bleiben. Dies ist vor allem durch den Ausstieg aus der Kernenergie und eine konstant hohe Nachfrage im Ausland bedingt, welche durch den nur moderaten Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland nicht kompensiert werden können.

Ab dem Jahr 2025 führen eine leicht sinkende inländische Stromnachfrage sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien dazu, dass die Auslastung und die installierte Leistung der Braunkohle- und Steinkohleanlagen leicht sinken und sich somit auch die Emissionen verringern. Somit betragen die Emissionen aus Braunkohlen im Jahr 2030 noch 115 Mt CO<sub>2</sub>e, was nur noch etwa zwei Drittel des Werts von 2014 ausmacht. Die Emissionen aus Steinkohle sinken zwischen 2025 und 2030 um ca. 10 Mt CO<sub>2</sub>e auf 102 Mt CO<sub>2</sub>e.

Im Jahr 2035 verschlechtert sich dann jedoch die Wirtschaftlichkeit der alten Braunkohlekraftwerke und die installierte Leistung geht bis 2035 um fast 50 % im Vergleich zum Jahr 2014 zurück (Tabelle 3-62). Da stillgelegte Kraftwerke über vergleichsweise niedrige Wirkungsgrade verfügen, gehen die THG-Emissionen bis 2035 um mehr als 50 % gegenüber 2014 zurück.

Die Stromerzeugung aus fossilen Gasen ist im MMS über den Projektionshorizont leicht ansteigend, wobei sich dieser Effekt nach dem Jahr 2030 verstärkt. Die erklärt den leichten Emissionsanstieg zwischen 2025 und 2035 um 5 Mt CO<sub>2</sub>e auf 51,5 Mt CO<sub>2</sub>e.

Darüber hinaus kommt es zu einem kleinen Emissionsbeitrag durch die Rauchgasreinigung (ca. 0,5 bis 1 Mt CO<sub>2</sub>). Der Rückgang im Zeitverlauf entspricht dem Rückgang der Kohleverstromung.

### **3.1.7.4.2 Bewertung der Einzelmaßnahmen**

Das MMS zeichnet sich im Stromsektor durch die folgenden vier Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel aus:

- a) Ausbau der erneuerbaren Energien auf Basis des EEG,
- b) EU-Emissionshandel,
- c) Sicherheitsbereitschaft für Braunkohlekraftwerke und
- d) Förderung der KWK.

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 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 Instrumenten 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Modelllaufs bei ausgeschalteter Maßnahme werden jeweils mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen des MMS verglichen, um die Minderungswirkung der jeweiligen Maßnahme zu quantifizieren.

Im Projektionsbericht (PB) 2015 (BMUB 2016b) wurde die Emissionsminderung für das EEG ermittelt, indem ein alternativer Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien im OMS angenommen wurde, der dazu führte, dass signifikante Erzeugungsmengen zu ersetzen waren. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser zusätzlichen Stromproduktion hängen dabei davon ab, welche fossilen Brennstoffe hierfür in einem OMS zum Einsatz kommen würden. Die Minderungswirkung betrug je nach Emissionsfaktor des zusätzlichen Stroms und je nach Szenariojahr zwischen 100 und 200 Mt CO<sub>2</sub>. Im vorliegenden Projektionsbericht wurde auf eine erneute Quantifizierung dieser Maßnahme verzichtet, da ähnliche Ergebnisse zu erwarten sind. Vielmehr wird auf die Ergebnisse des PB 2015 verwiesen. Diese sind in Tabelle 3-65 nachrichtlich ergänzt und in die Gesamtbewertung mit aufgenommen worden.

Für die **Bewertung der Wirkung des EU-Emissionshandels in Deutschland** wurde der CO<sub>2</sub>-Preis in der Modellierung auf 0 €/t CO<sub>2</sub> variiert, unter der Annahme, dass es im OMS keinen Emissionshandel

gegeben hätte.<sup>62</sup> Damit ergibt sich je nach Szenariojahr eine Emissionsminderung zwischen 2 und 10 Mt CO<sub>2</sub>. Diese Emissionsminderungen ergeben sich aus dem veränderten Kraftwerksdispatch.<sup>63</sup> Es erfolgt vor allem ein verstärkter Einsatz von Braunkohle bei gleichzeitig geringerem Verbrauch von Erdgas. Die Steinkohleverfeuerung steigt leicht an. 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 CO<sub>2</sub> gering.

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 mit Inbetriebnahme nach 2017, 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 2,6 GW im Jahr 2020.

Die Maßnahmenbewertung im MMS des Projektionsberichts 2017 wird zwar mit reduzierter Erdgas-KWK-Leistung, aber mit ansonsten unverändertem Kraftwerkspark durchgeführt.<sup>64</sup> Insgesamt wurden durch diesen Modelllauf Emissionsminderungseffekte von 2 Mt CO<sub>2</sub> ermittelt. Eine Emissionsminderung von bis zu 4 Mt CO<sub>2</sub> könnte sich einstellen, wenn im größeren Umfang Emissionen außerhalb des Stromsektors vermieden werden (z.B. durch die Erschließung neuer Wärmesenken).<sup>65</sup> Wichtig ist aber, dass die geringe Minderung von 2 bis 4 Mt CO<sub>2</sub> nur im Vergleich zu einem unveränderten Kraftwerkspark im MMS des Projektionsberichts im Jahr 2020 auftritt. Die KWK trägt schon zu Emissionsminderungen bei. Von 2014 bis 2020 sinken die THG-Emissionen im MMS um 63 Mt CO<sub>2</sub>, daran hat die KWK natürlich einen Anteil. Das Problem ist hier die Abgrenzung der „Zusätzlichkeit“ im Vergleich zum MMS des Projektionsberichts 2015.

Für spätere Szenariojahre ist eine Quantifizierung der KWK-Maßnahme nicht mehr sinnvoll möglich, da die Substitutionseffekte bezüglich des Ersatzes von Kohlekraftwerken genauer analysiert werden müssten.

Für die **Bewertung der Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft** wurden Braunkohlekraftwerksblöcke mit einer Netto-Leistung von 2,16 GW im Modell wieder in Betrieb genommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass 0,6 GW Braunkohle-Kondensationskraftwerke bereits im MMS des Projektionsberichts 2015 stillgelegt wurden. Auf eine Quantifizierung der **Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft** für die Stützjahre nach 2020 wird verzichtet, weil hier hypothetische Annahmen bezüglich des Weiterbetriebs der betreffenden Kraftwerksblöcke notwendig wären.

So vermindert die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft für sich genommen deutlich die Emissionen aus Braunkohle-Kraftwerken. Die wegfallende Stromproduktion muss jedoch unter den Bedingungen des MMS durch andere Kraftwerke ersetzt werden, gleichzeitig sinken die Exporte. Inländisch wird die wegfallende Produktion hauptsächlich von Steinkohlekraftwerken übernommen, deren Emissionen in

---

<sup>62</sup> Im Jahr 2020 wird durch den EU-Emissionshandel eine größere Emissionsminderung erbracht als im Jahr 2025, weil sich im Jahr 2020 im Modelllauf ohne CO<sub>2</sub>-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).

<sup>63</sup> Wenn zusätzlich noch die Auswirkungen des ETS auf Anlagenstilllegungen modelliert worden wäre, ergäben sich höhere Minderungen.

<sup>64</sup> Da in substantiellem Umfang Altanlagen im MMS des Projektionsberichts 2015 bereits abgeschaltet waren, konnte in der Maßnahmenbewertung der KWK-Maßnahmenbewertung des MWMS des Projektionsberichts 2015 nur eine vergleichsweise kleine Emissionsminderung von 4 Mio. t CO<sub>2</sub> ermittelt werden. Wegen der Vergleichbarkeit wird auch im Projektionsbericht 2017 ein bis auf die Erdgas-KWK unveränderter Kraftwerkspark unterstellt.

<sup>65</sup> Höhere Emissionsminderungen könnten auftreten, wenn mehr Wärme außerhalb des Stromsektors substituiert wird. Eine zusätzliche Wärmeproduktion von 9 TWh bewertet mit einem Emissionsfaktor von 0,226 t CO<sub>2</sub>/MWh führt zu einer zusätzlichen Emissionsminderung von 2 Mio. t CO<sub>2</sub>.

der Maßnahmenbewertung gegenüber dem MMS steigen. Die Einführung einer Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft trägt im Jahr 2020 zu einer Einsparung von 10 Mt CO<sub>2</sub> bei. Die Ergebnisse legen nahe, dass die im Paket vom 1. Juli 2015 vorgesehenen zusätzlichen Emissionsminderungsmaßnahmen der Braunkohlewirtschaft im Umfang von bis zu 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2020 erforderlich werden könnten.

Die Ergebnisse der Maßnahmenbewertung sind in Tabelle 3-65 dargestellt.

Tabelle 3-65: CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> e]	Instru-menten-typ	Wirkungs-beginn	2020	2025	2030	2035
Emissionshandel	E	2005	7	2	9	10
Braunkohle-Sicherheitsreserve	V	2016	10			
KWK-Förderung	E	2015	2-4			
<b>Summe der Einzelmaßnahmen</b>			<b>19-21</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<i>Nachrichtlich: Einführung des EEG (Berechnungen basierend auf (BMUB 2016b))</i>	R,E	2000	147	176	200	202
<b>Summe der Einzelmaßnahmen inklusive EEG</b>			<b>166-168</b>	<b>178</b>	<b>209</b>	<b>212</b>

Quelle: Eigene Berechnungen des Öko-Instituts

Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang A1

### 3.1.7.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-16 und Tabelle 3-66 stellen die Entwicklung der Netto-Stromerzeugung<sup>66</sup> dar sowie Tabelle 3-67 die Nettoleistung für das MWMS bis 2035.

Die Stromnachfrage nimmt im Szenariohorizont deutlich ab (Tabelle 3-60). Durch den zum Teil sehr signifikanten Stromexport (zwischen 36 und 58 TWh), bleibt die Netto-Stromerzeugung jedoch bis 2020 auf dem Niveau des Jahres 2014 und nimmt danach um gut 50 TWh bis 2035 ab.

Die Kernenergie-Stromerzeugung im MWMS ist zum MMS unverändert.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nimmt im Szenario deutlich zu (auf ca. 299 TWh im Jahr 2030 von 160 TWh im Jahr 2014). Im Vergleich zum MMS nimmt die PV-Stromerzeugung um in Summe 22 TWh im Jahr 2035 zu. Die Stromerzeugung aus Biomasse und Windenergie ist im Vergleich zum MMS bis zum Jahr 2030 unverändert (Tabelle 3-67). Im Jahr 2035 steigt die Stromerzeugung aus onshore Windenergie um 7 TWh im Vergleich zum MWMS.

Die installierte Leistung der Erdgas-Kraftwerke steigt aufgrund des unterstellten Neubaus von Erdgas-KWK-Anlagen im Jahr 2030 um 4 GW gegenüber dem MMS. Insgesamt steigt die Erdgas-Verstromung auf 99 TWh im Jahr 2030 (entspricht einem Anstieg von 25 TWh gegenüber dem MMS).

Im Jahr 2030 entspricht die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke im MWMS ca. dem MMS. Die Stromerzeugung ist mit 98 TWh ebenfalls auf hohem Niveau. Erst mit Blick auf das Jahr 2035 sinkt die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke auf 11 GW. Erst ab 2035 führen die Maßnahmen zu

<sup>66</sup> Die Bruttostromerzeugung ist in Anhang A3 enthalten.

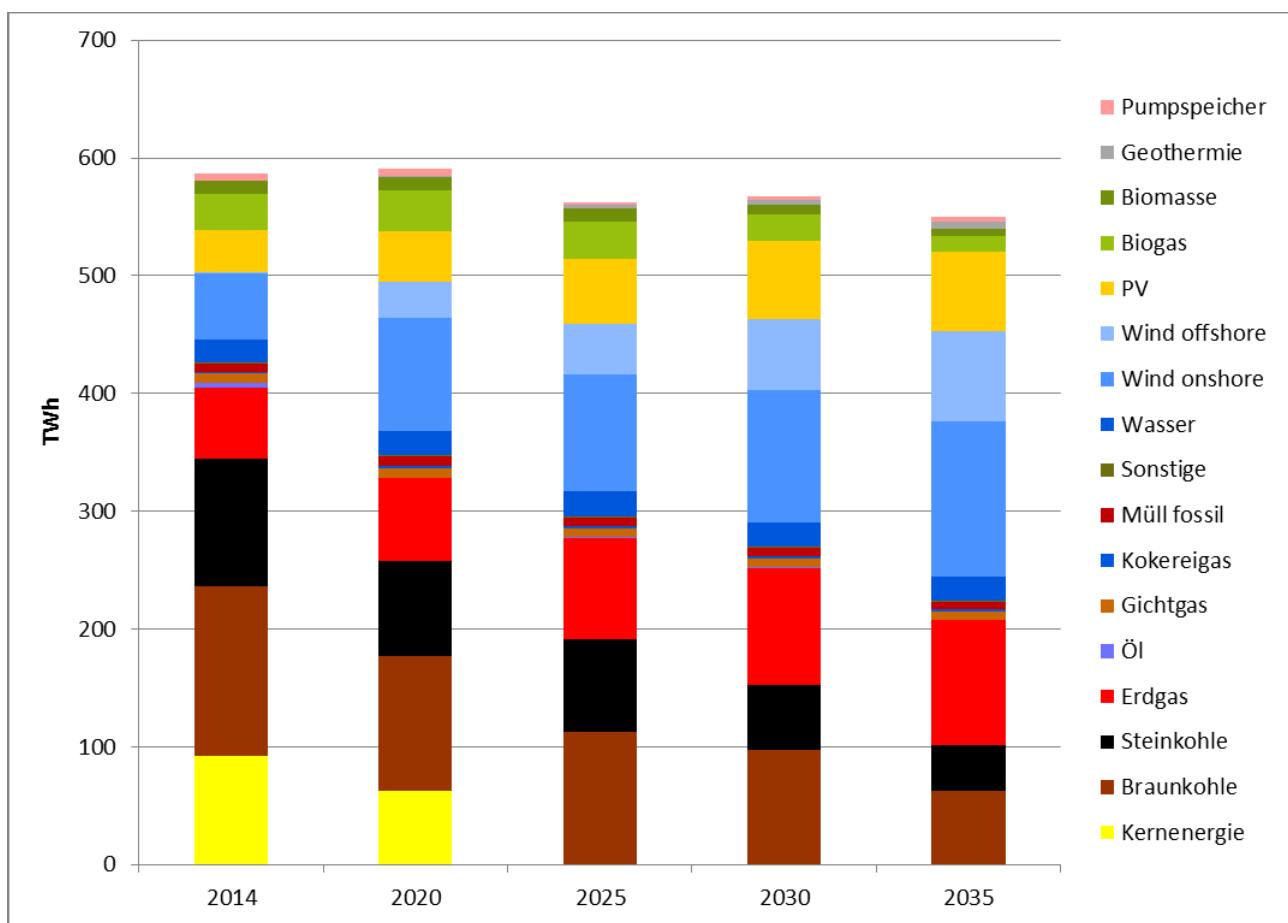
einer solchen Reduktion der Strompreise, dass zusätzlich Braunkohlekraftwerke aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt werden. Damit einher geht ein deutlicher Rückgang der Braunkohleverstromung von 98 TWh im Jahr 2030 auf 63 TWh im Jahr 2035.

Im MWMS reduziert sich die installierte Leistung der Steinkohlekraftwerke deutlich auf noch 13 GW im Jahr 2030 und 9,3 GW im Jahr 2035. Hier wirken zwei Faktoren: zum einen reduziert sich die installierte Leistung der Steinkohlekraftwerke direkt, weil ältere Steinkohle-KWK-Anlagen durch neuere Erdgas-KWK-Anlagen ersetzt werden. Zum anderen sinken die Strompreise im MWMS durch den Zuwachs der KWK-Anlagen und der höheren EE-Einspeisung, so dass mehr Steinkohle-Kondensationskraftwerke aus ökonomischen Gründen stillgelegt werden als im MMS. Die Steinkohle-Verstromung nimmt im Zeitverlauf deutlich ab und liegt im Jahr 2030 nur noch bei rund der Hälfte der Erzeugung von 2014. Im Vergleich zum MMS sinkt die Erzeugung aus Steinkohle im Jahr 2030 um 35 TWh.

Die Summe der Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle betrug im Jahr 2014 ~ 250 TWh und war damit um den Faktor 4 größer als die Erdgas-Stromerzeugung (60 TWh). Im Jahr 2035 entspricht die Summe der Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle mit ~ 100 TWh etwa der Erdgas-Stromerzeugung.

Die Stromerzeugung aus sonstigen Brennstoffen (Öl, Hochofengas usw.) zeigt im Szenariohorizont keine signifikante Veränderung zum MMS.

Abbildung 3-16: Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-66: Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035

	2014	2020	2025	2030	2035
--	------	------	------	------	------

Energieträger	TWh				
Kernenergie	92	63	0	0	0
Braunkohle	144	113	113	98	63
Steinkohle	109	81	79	55	38
Erdgas	60	70	86	99	107
Sonstige	22	19	18	17	16
Öl	4	1	1	1	0
Gichtgas	7	7	7	7	6
Kokereigas	2	2	2	2	2
Müll fossil	7	7	7	7	6
Sonstige	1	1	1	1	1
Erneuerbare	160	242	268	299	325
Wasser	19	21	21	20	20
Wind	57	126	142	173	208
Wind onshore	56	96	99	113	131
Wind offshore	1	30	43	60	76
PV	36	43	55	67	68
Biogas	30	35	32	22	13
Biomasse	11	12	11	8	6
Geothermie	0	1	3	4	6
Müll biogen	6	5	5	4	4
Pumpspeicher	6	6	2	3	4
<b>Summe</b>	<b>592</b>	<b>595</b>	<b>566</b>	<b>570</b>	<b>553</b>
Export-Import-Saldo (Import positiv)	-36	-40	-44	-58	-39
<b>Summe abzüglich Exporte</b>	<b>556</b>	<b>555</b>	<b>522</b>	<b>512</b>	<b>514</b>

Quelle: Daten für 2014 basierend auf (AGEB 2016), (StBA 2014d), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-67: Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Kernenergie	12	8	0	0	0
Braunkohle	21	17	16	15	11
Steinkohle	27	20	17	13	9
Erdgas	26	18	21	22	23
Sonstige	9	6	6	5	5
Öl	4	1	1	1	0
Gichtgas	1	1	1	1	1
Kokereigas	1	1	1	1	1
Müll	3	3	3	3	3
Sonstige	0	0	0	0	0
Erneuerbare	88	123	141	158	167
Wasser	4	4	4	4	4
Wind	39	60	65	73	83
Wind onshore	8	52	54	58	65

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
Wind offshore	1	7	11	15	19
PV	38	51	63	74	74
Biogas	4	6	6	5	3
Biomasse	3	3	2	2	1
Geothermie	0,0	0,2	0,4	0,6	0,9
Pumpspeicher	9	9	9	9	9
<b>Summe</b>	<b>192</b>	<b>202</b>	<b>210</b>	<b>223</b>	<b>224</b>

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Daten für 2014 basierend auf (BNetzA 2016), (BNetzA 2014), (DIW 2014), (NEP 2015), (Öko-Institut 2014a), (UBA 2014), (AtG vom 26.7.2016), (Strommarktgesetz vom 26.07.2016)

Bezogen auf den Bruttostromverbrauch nimmt der Anteil der erneuerbaren Energien von 27,3 % im Jahr 2014 auf 61,0 % im Jahr 2035 zu, wobei der größte Zuwachs zwischen 2014 und 2020 erfolgt (Anhang A3). Der EE-Anteil im MWMS liegt mit 48,8 % im Jahr 2025 und 61 % im Jahr 2035 etwas oberhalb des Korridors nach dem EEG 2017 (40-45 % im Jahr 2025 und 55-60 % im Jahr 2035). Der Bruttostromverbrauch, welcher sich aus der Nachfrage der verschiedenen Sektoren ergibt, ist rückläufig, während angenommen wird, dass der EE-Ausbau oberhalb des Niveaus des EEG 2017 liegt. Im Falle eines weniger stark sinkenden Stromverbrauchs könnte der Ausbaukorridor beispielsweise eingehalten werden.

### Emissionsentwicklung

Die THG-Emissionen des Stromsektors (einschließlich der Emissionen von KWK-Anlagen für Strom- und Wärmeerzeugung) sinken im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario von rund 364 Mt CO<sub>2</sub>e (2014) auf 200 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2035 (Tabelle 3-68). Dabei entfallen ca. 70 Mt CO<sub>2</sub>e der Minderung auf den Zeitraum bis 2020 und weitere ca. 93 Mt CO<sub>2</sub>e auf den Zeitraum bis 2035. Zwischen 1990 und 2035 gehen die Emissionen des Stromsektors um 56 % zurück. Im Vergleich zu 2005 ist dies ein Rückgang um 48 %. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen dominieren mit knapp 99 % der Gesamtemissionen des Stromsektors deutlich.

Tabelle 3-68: THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im 1990–2035

	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e							
CO <sub>2</sub> -Emissionen	455,5	382,8	358,9	287,8	287,4	251,5	197,0
<i>Öffentliche Kraftwerke<sup>a</sup></i>	323,7	322,8	303,4	234,6	231,8	195,3	143,1
<i>Raffineriekraftwerke</i>	9,6	5,7	4,7	2,4	2,4	2,3	2,1
<i>Übrige KW der Energiewirtschaft</i>	53,7	13,5	4,0	3,1	3,1	2,8	1,9
<i>Industriekraftwerke</i>	68,5	40,8	46,8	47,6	50,0	51,2	49,9
CH <sub>4</sub> -Emissionen	0,3	1,0	2,4	3,6	3,5	2,8	1,9
N <sub>2</sub> O-Emissionen	3,5	2,8	2,8	2,4	2,4	2,1	1,6
<b>Emissionen der Kraftwerke</b>	<b>459,3</b>	<b>386,5</b>	<b>364,2</b>	<b>293,8</b>	<b>293,2</b>	<b>256,3</b>	<b>200,5</b>
ggü. 2005	18,8 %	0,0 %	-5,8 %	-24,0 %	-24,1 %	-33,7 %	-48,1 %
ggü. 1990	0,0 %	-15,8 %	-20,7 %	-36,0 %	-36,2 %	-44,2 %	-56,3 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Inklusive CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA)

Tabelle 3-69 stellt die gesamten THG-Emissionen des Stromsektors (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>e) dar, ebenso wie die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA). Für das Jahr 2014 betragen die THG-Emissionen des Stromsektors 363 Mt CO<sub>2</sub>e. Die Braunkohlekraftwerke tragen mit 168 Mt CO<sub>2</sub>e den größten Emissionsanteil bei, gefolgt von den Steinkohlekraftwerken mit Emissionen in Höhe von 128 Mt CO<sub>2</sub>e. Die Emissionen der Erdgas-Kraftwerke (inkl. übrige fossile Gase) liegen bei 38,5 Mt CO<sub>2</sub>e. Bis zum Jahr 2020 gehen die Emissionen aus der Kohleverstromung deutlich zurück. Die Emissionen aus Braunkohlekraftwerken sinken bis 2020 im Vergleich zum Jahr 2014 um 40 Mt CO<sub>2</sub>e auf 127 Mio. CO<sub>2</sub>e. Die Emissionsreduktionen in den Braunkohlekraftwerken bis 2020 sind in erster Linie mit der Überführung von Braunkohle-Kraftwerken in die Sicherheitsbereitschaft zu erklären, welche auch schon im MMS abgebildet werden.

Die Emissionen der Steinkohlekraftwerke (inkl. Kuppelgase) gehen bis zum Jahr 2020 um ca. 33 Mt CO<sub>2</sub>e gegenüber dem Niveau von 2014 zurück, analog zum Rückgang der Steinkohle-Verstromung. Dies ist unter anderem auf die erweiterte KWK-Förderung zurückzuführen. Darüber hinaus ergeben sich Emissionsminderungen durch die Inbetriebnahme neuer Steinkohlekraftwerke und die Stilllegung älterer Kapazitäten.

Die Emissionen aus der Erdgas-Verstromung (inkl. übrige fossile Gase) steigen im Zeitverlauf bedingt durch den Ausbau der Erdgas-KWK kontinuierlich an und erreichen im Jahr 2030 ein Niveau von 60 Mt CO<sub>2</sub>e.

Insgesamt sinken die Emissionen der Kraftwerke auf 294 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2020. Bis zum Jahr 2030 gehen die Emissionen der Kraftwerke auf 256 Mt CO<sub>2</sub>e zurück. Den größten Anteil an der Emissionsminderung bis zum Jahr 2030 leisten die Steinkohlekraftwerke, deren Emissionen sich gegenüber 2014 beinahe halbieren. Dies ist unter anderem auf den Rückgang der Steinkohleleistung um 7 GW zwischen 2020 und 2030 zurückzuführen, sodass die installierte Leistung der Steinkohlekraftwerke im Jahr 2030 bei nur ca. 52 % der Leistung des Jahres 2014 liegt (Tabelle 3-67).

Ein ähnlicher Rückgang ist bei der Braunkohle zu beobachten, wo die Emissionen bis 2030 um 36 % gegenüber 2014 auf ca. 108 t CO<sub>2</sub>e sinken. Die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke sinkt im gleichen Zeitraum um 6 GW.

Darüber hinaus kommt es zu einem kleinen Emissionsbeitrag durch die Rauchgasreinigung (ca. 0,5 bis 1 Mt CO<sub>2</sub>e). Der Rückgang im Zeitverlauf entspricht dem Rückgang der Kohleverstromung.

Tabelle 3-69: THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e						
Braunkohlen	246,8	169,6	167,7	127,0	125,3	107,8	68,3
Steinkohlen	152,1	142,7	127,6	94,7	89,8	65,8	49,6
Mineralöl	19,4	12,5	7,4	2,2	2,1	1,7	0,9
Fossile Gase	33,8	49,7	38,5	46,7	54,0	60,5	63,1
Müll	6,6	10,4	19,8	19,0	18,2	17,8	16,9
Biomasse	0,1	0,5	2,2	3,4	3,1	2,2	1,3
<b>Summe</b>	<b>458,7</b>	<b>385,4</b>	<b>363,2</b>	<b>293,0</b>	<b>292,5</b>	<b>255,7</b>	<b>200,1</b>
REA	0,6	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,4
<b>Summe mit REA</b>	<b>459,3</b>	<b>386,5</b>	<b>364,2</b>	<b>293,8</b>	<b>293,2</b>	<b>256,3</b>	<b>200,5</b>

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Öko-Institut

### 3.1.7.5.1 Bewertung der Einzelmaßnahmen

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Bewertung der einzelnen Maßnahmen im MWMS dargestellt. Das MWMS zeichnet sich im Stromsektor durch die folgenden Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel aus:

- a) diverse Maßnahmen die in den Endverbrauchssektoren zu Stromeinsparung führen (22 TWh im Jahr 2030, 26 TWh im Jahr 2035). Gleichzeitig steigt der Stromverbrauch z.B. durch einen Ausbau der Elektromobilität. Im Gesamtergebnis sinkt die Summe der Stromnachfrage um 11 TWh im Jahr 2030 und um 7 TWh im Jahr 2035.
- b) weitgehende Dekarbonisierung der Stromerzeugung. Diese wird im MWMS abgebildet durch:
  - eine Erhöhung der EE-Stromerzeugung um 12 TWh im Jahr 2030 und 29 TWh im Jahr 2035 durch einen weiteren Förderung des Ausbaus der Erzeugungskapazitäten.
  - eine Fortführung der KWK-Förderung auch über 2021/2022 hinaus mit einem Fokus auf den Ersatz älterer Anlagen, welche bereits länger als 40 Jahre in Betrieb sind.

Tabelle 3-70 beziffert die betreffenden Veränderungen der Maßnahmentreiber.

Tabelle 3-70: Veränderung im MWMS gegenüber dem MMS (Einfluß der Maßnahmen auf die Entwicklung der fossilen Stromerzeugung)

	2020	2025	2030	2035
	TWh			
Stromeinsparungen in den Nachfragesektoren	4	15	22	26
Erhöhte Stromerzeugung aus EE-Anlagen		5	12	29
Zunahme der Erdgas-KWK-Erzeugung	2	15	26	34
<b>Summe der Maßnahmentreiber</b>	<b>6</b>	<b>33</b>	<b>49</b>	<b>70</b>

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-71 zeigt die CO<sub>2</sub>-Minderungswirkungen aller Maßnahmen im Überblick. In der letzten Zeile werden die Gesamteffekte der Maßnahmen ausgewiesen, durch die sich beide Szenarien unterscheiden. In Summe führen die Maßnahmen im MWMS zu Einsparungen gegenüber dem MMS von 32 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2030.

Für die Maßnahmenbewertung werden die für die jeweilige Maßnahme relevanten Inputparameter isoliert variiert, während jedoch alle anderen Größen weiterhin dem MMS entsprechen. Weil die Maßnahmenbewertung nur mit dem Dispatchmodell durchgeführt wurde, werden Kraftwerksstilllegungen von Kondensationskraftwerken, die eventuell durch einzelne Maßnahmen getriggert würden, hier nicht berücksichtigt, so dass der Kraftwerkspark dem MMS entspricht. Eine Ausnahme bildet hier die KWK-Maßnahme. Hier ändert sich der Kraftwerkspark, weil ältere KWK-Kraftwerke stillgelegt werden und durch Erdgas-KWK-Anlagen ersetzt werden. Durch die endogene Bestimmung des Stromaus tauschs mit den Nachbarländern wird der Import-Export-Saldo jeweils neu bestimmt, was sich durch die insgesamt zu erzeugende Strommenge auch auf die erreichbaren Minderungen auswirkt.

Ein zentrales Ergebnis der Modellierung des MWMS ist, dass im Stützjahr 2030 gegenüber dem MMS Steinkohlekraftwerke mit knapp 7 GW stillgelegt werden. Davon sind 5,3 GW KWK-Anlagen mit einem Alter von mehr als 40 Jahren und 2,5 GW Kondensationskraftwerke, die durch das Stilllegungskalkül

des Modells stillgelegt werden. In der Maßnahmenbewertung für Stromeinsparungen und der Weiterentwicklung des EEGs mit dem Modell-PowerFlex stehen diese Kraftwerke dem Modell aber noch zur Verfügung.

Die Maßnahmen zur **Stromeinsparung** erreichen im Jahr 2030 eine Emissionsminderung von 8 Mt CO<sub>2</sub>.

Durch die bei der **KWK** verfolgte Substitutionsstrategie von älteren ineffizienten Kohle-KWK-Anlagen durch moderne, flexible Erdgas-KWK-Anlagen findet die hauptsächliche Emissionsminderung innerhalb des Stromsektors statt. Die Neuanlagen verfügen über deutlich niedrigere spezifische Emissionen als die ersetzen Altanlagen. Im Vergleich zum MMS erhöht sich das Stromerzeugungsangebot von KWK-Anlagen moderat, weil die neu errichteten KWK-Anlagen über höhere Stromkennzahlen verfügen. Da der KWK-Ausbau an eine Substitution von ineffizienten Altkraftwerken gekoppelt ist, lassen sich im Zeitverlauf beträchtliche Emissionsminderungen erreichen. Im Jahr 2030 beträgt die zusätzliche Emissionsminderung 19 Mt CO<sub>2</sub>.

Beide Effekte sind darauf zurück zu führen, dass im Rahmen der Dekarbonisierung des Stromsektors KWK-Anlagen, welche länger als 40 Jahre im Betrieb sind, durch effiziente Erdgas-KWK-Anlagen ersetzt werden. Entsprechend steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Erdgas-Kraftwerken bis zum Jahr 2035 deutlich an.

Der moderat stärkere Ausbau der **erneuerbaren Energien** führt im Jahr 2030 zu einer Emissionsreduktion von 5 Mt CO<sub>2</sub> und 12 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2035.

Tabelle 3-71: CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MWMS gegenüber dem MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO <sub>2</sub> ]	Instrumen-tentyp	2020	2025	2030	2035
Stromeinsparungen durch Maßnahmen in anderen Sektoren	O	3	5	8	8
Weiterentwicklung des EEG	E		2	5	12
KWK-Förderung	E	6	16	19	21
<b>Summe</b> der Einzelmaßnahmen		<b>10</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>41</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts, rundungsbedingte Differenzen

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang A1

Die untersuchten Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Stromsektors führen jeweils durch ihre Wirkung innerhalb der Erzeugungsstruktur zu Verschiebungen in der Merit Order und damit zu stärkeren Stromexporten. Die Emissionsminderungen könnten deutlich stärker ausfallen, wenn die untersuchten Maßnahmen auch die Exporte adressieren würden.

### 3.1.7.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Im MMS sinken die THG-Emissionen des Stromsektors auf etwa 301 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2020. Im Vergleich zum Jahr 2014 als die Emissionen noch 364 Mt CO<sub>2</sub>e betragen, wird somit eine deutliche Emissionsminderung erreicht. Im MMS steigen die Emissionen bis 2025 leicht an und erreichen im Jahr 2030 mit 286 Mt CO<sub>2</sub>e ein Niveau, das leicht unter dem des Jahres 2020 liegt.

Im Vergleich zum MMS werden im MWMS ab 2025 substantielle Emissionsminderungen erreicht. Im Jahr 2030 betragen die THG-Emissionen im MWMS etwa 256 Mt CO<sub>2</sub>e und sind damit gut 30 Mt CO<sub>2</sub>e niedriger als im MMS. Hintergrund sind die im MWMS unterstellten Maßnahmen wie Stromeinsparun-

gen, Weiterentwicklung der KWK-Förderung und der etwas höhere Ausbau der erneuerbaren Energien.

Im MWMS des Projektionsberichts 2015 betragen die THG-Emissionen des Stromsektors im Jahr 2030 nur 226 Mt CO<sub>2</sub>e. Das um 30 Mt CO<sub>2</sub>e höhere Emissionsniveau im MWMS des Projektionsberichts 2017 ist insbesondere durch den geringeren Ausbau der erneuerbaren Energien zu erklären. Im MWMS des Projektionsberichts 2017 ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien um 26 TWh geringer als noch im MWMS des Projektionsberichts 2015 (vergleiche Tabelle 3-21 des Projektionsberichts 2015).

CO<sub>2</sub> macht in allen Jahren mehr als 98 % der THG-Emissionen aus. Im Vergleich dazu sind die Anteile von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O gering. Daher ist die relative Emissionsänderung von CO<sub>2</sub> mit einem Rückgang bis 2035 um 48 % (MMS) bzw. 57 % (MWMS) gegenüber 1990 sehr ähnlich zur Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stromerzeugung. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen haben eine ähnliche Entwicklung, hier liegen die Emissionen 2035 um 49 % bzw. 58 % niedriger als 1990. Ganz anders hingegen entwickeln sich CH<sub>4</sub>-Emissionen: Diese haben sich zwischen 1990 und 2014 vervielfacht und werden noch bis etwa 2020 weiter ansteigen, um anschließend langsam abzusinken. Größte Quelle von CH<sub>4</sub>-Emissionen sind Biogasanlagen, gefolgt von Erdgaskraftwerken.

Tabelle 3-72: Entwicklung der THG-Emissionen im Stromsektor zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	455,5	382,8	365,2	358,9				
MMS					295,2	307,9	281,5	235,6
MWMS					287,8	287,4	251,5	197,0
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,3	1,0	2,0	2,4				
MMS					3,6	3,4	2,6	1,8
MWMS					3,6	3,5	2,8	1,9
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	3,5	2,8	2,9	2,8				
MMS					2,5	2,5	2,2	1,8
MWMS					2,4	2,4	2,1	1,6
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	459,3	386,5	370,0	364,2				
MMS					301,3	313,7	286,3	239,1
MWMS					293,8	293,2	256,3	200,5
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-15,8	-19,4	-20,7				
MMS					-34,4	-31,7	-37,7	-47,9
MWMS					-36,0	-36,2	-44,2	-56,3
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 2005 in %			

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Entwicklung 1990 – 2014			-4,3	-5,8				
MMS					-22,1	-18,8	-25,9	-38,1
MWMS					-24,0	-24,1	-33,7	-48,1

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), 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

### 3.1.8 Übrige Energiewirtschaft

#### 3.1.8.1 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 Pipelinennetz<sup>67</sup>.

Die Entwicklung der fossilen Brennstoffeinsätze (außer Erdgas) der Heizwerke orientiert sich an den Entwicklungen der Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in öffentlichen Kraftwerken. Die Einsätze erneuerbarer Energieträger sowie von Abfall wurden auf dem Niveau des Jahres 2014 fortgeschrieben.

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.

#### 3.1.8.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Die Nachfrage nach netzgebundener Wärme (Fernwärme sowie industrielle KWK-Wärme) in den Endverbrauchssektoren ist in Summe ansteigend. Ein Teil des Nachfrageanstiegs wird durch die ungekoppelte Fernwärmeerzeugung in öffentlichen Heizwerken abgedeckt: Gegenüber dem Jahr 2014 (das allerdings auch ein besonders warmes Jahr mit entsprechend geringer Nachfrage nach Fernwärme war) nimmt dieser bis 2030 um etwa 50 % zu, siehe Tabelle 3-75. Dieser zusätzliche Energiebedarf

<sup>67</sup> 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.

wird im Wesentlichen durch zusätzliches Erdgas gedeckt. Der Verbrauch an anderen fossilen Energieträgern ändert sich im Vergleich dazu nur wenig. Die größte Steigerung des Energieeinsatzes der öffentlichen Heizkraftwerke findet dabei nach 2030 statt. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass bei der Modellierung der KWK-Anlagen im Stromsektor keine Ersatzinvestitionen nach 2021/2022 berücksichtigt wurden. Bedingt durch die vorgegebene technische Lebensdauer geht dadurch die installierte Leistung der KWK-Kraftwerke im Zeitverlauf zurück.

Bedingt durch einen Rückgang des Mineralölverbrauchs insgesamt sinkt auch 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 22 % gegenüber dem Jahr 2014.

Im Bereich des übrigen Umwandlungssektors zeigt sich ein diverses Bild: Im Bereich der Kokereien und sonstigen Kohleumwandlung sinken die Energieverbräuche bedingt durch eine sinkende Nachfrage nach Koks (in der Stahlherstellung) und Briketts. Zumindest kurzfristig hingegen steigt bis 2020 der Eigenverbrauch der Biogasanlagen<sup>68</sup> deutlich an, um in Folge der rückläufigen Anzahl an Biogasanlagen (siehe Stromsektor) anschließend bis 2035 wieder abzusinken und unterhalb des Niveaus von 2014 zu liegen. Auch 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 35 % gegenüber 2014.

Der Energieverbrauch der Erdgasverdichterstationen liegt in allen Szenarienjahren oberhalb des Verbrauchs im Jahr 2014, allerdings war auch hier das Jahr 2014 aufgrund des niedrigen Heizwärmebedarfs und somit niedrigen Erdgasverbrauchs außergewöhnlich.

Insgesamt steigt der Energieverbrauch der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS bis 2035 um etwa 10 % gegenüber dem Jahr 2014.

---

<sup>68</sup> 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).

Tabelle 3-73: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 2014-2035

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
<b>Heizwerke</b>					
Braunkohlen	3	6	5	5	6
Steinkohlen	14	28	28	29	30
Öl	5	11	10	5	2
Erdgas	93	115	143	164	216
Kokerei-/Stadtgas	1	0	0	0	0
Müll	30	30	30	30	30
Biogas	3	3	3	3	3
(Feste) Biomasse	32	32	32	32	32
Geothermie	1	1	1	1	1
<b>Heizwerke gesamt</b>	<b>181</b>	<b>225</b>	<b>251</b>	<b>267</b>	<b>319</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	24,0 %	38,6 %	47,7 %	76,2 %
<b>Raffinerien</b>					
Öl	31	29	26	25	24
Raffinerieegas	137	127	117	112	107
Erdgas	32	29	27	26	25
Kokerei-/Stadtgas	2	1	1	1	1
Fern- und Nahwärme	6	5	5	5	4
Strom	22	21	20	19	18
<b>Raffinerien gesamt</b>	<b>230</b>	<b>213</b>	<b>197</b>	<b>187</b>	<b>180</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	-7,2 %	-14,1 %	-18,4 %	-21,6 %
<b>Übriger Umwandlungssektor</b>					
Braunkohlen	8	5	2	1	1
Öl	4	4	4	4	4
Erdgas	4	4	4	4	4
Gichtgas	18	18	18	17	16
Kokerei-/Stadtgas	7	7	7	7	6
Biogas	19	26	24	17	10
(Feste) Biomasse	6	6	6	6	6
Fern- und Nahwärme	6	4	4	3	2
Strom	25	21	19	16	14
<b>Übriger Umwandlungssektor gesamt</b>	<b>97</b>	<b>97</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>63</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	0,1 %	-8,8 %	-23,0 %	-34,5 %
<b>Pipelineverdichter</b>					
Erdgas	21	23	23	23	23
<b>Pipelineverdichter gesamt</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
PJ					
Änderung ggü. 2014	0,0 %	9,8 %	7,9 %	6,2 %	7,9 %
<b>Übrige Energiewirtschaft gesamt</b>	<b>529</b>	<b>558</b>	<b>559</b>	<b>552</b>	<b>585</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	5,5 %	5,8 %	4,4 %	10,7 %

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellrechnungen des Öko-Institut

### 3.1.8.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Die Nachfrage nach netzgebundener Wärme (Fernwärme sowie industrielle KWK-Wärme) steigt auch im MWMS an, allerdings langsamer als im MMS. Außerdem findet im MWMS ein kontinuierlicher Zuwachs von Erdgas-KWK-Anlagen statt. In der Folge steigt der Energieeinsatz der ungekoppelten Fernwärmeerzeugung in öffentlichen Heizwerken weniger stark als im MMS: Gegenüber dem Jahr 2014 nimmt dieser um etwa 29 % zu, siehe Tabelle 3-75. Dieser zusätzliche Energiebedarf wird auch im MWMS im Wesentlichen durch zusätzliches Erdgas gedeckt. Der Verbrauch an anderen fossilen Energieträgern ist rückläufig.

Bedingt durch einen im MWMS stärkeren Rückgang des Mineralölverbrauchs insgesamt sinkt auch die Aktivität der Raffinerien und somit zeigt sich ein stärkerer Rückgang aller in Raffinerieunterfeuerungen eingesetzten fossilen Brennstoffe wie auch des Strombedarfs der Raffinerien. Insgesamt sinkt der Energieverbrauch der Raffinerien (ohne Raffineriekraftwerke) bis 2035 um 30 % gegenüber dem Jahr 2014.

Im Bereich des übrigen Umwandlungssektors zeigt sich im MWMS ein gegenüber dem MMS quasi unverändertes Bild. Insgesamt sinkt der Energieverbrauch der übrigen Energiewirtschaft bis 2035 um etwa 35 % gegenüber 2014.

Der Energieverbrauch der Erdgasverdichterstationen liegt in allen Szenarienjahren oberhalb des Verbrauchs im Jahr 2014, allerdings war auch hier das Jahr 2014 aufgrund des niedrigen Heizwärmebedarfs und somit niedrigen Erdgasverbrauchs außergewöhnlich. Aufgrund des im MWMS großen Bedeutung von Erdgas gegenüber dem MMS ist auch der Energieverbrauch der Erdgasverdichterstationen etwas höher.

Gegenüber dem MMS mit steigenden Energieverbräuchen der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) ist im MWMS eine Trendumkehr zu beobachten: Insgesamt sinkt der Energieverbrauch im MWMS bis 2035 um etwa 9 % gegenüber dem Jahr 2014.

Tabelle 3-74: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MWMS 2014-2035

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
<b>Heizwerke</b>					
Braunkohlen	3	5	4	4	5
Steinkohlen	14	24	18	9	7
Öl	5	11	11	9	2
Erdgas	93	126	128	140	154
Kokerei-/Stadtgas	1	0	0	0	0
Müll	30	30	30	30	30
Biogas	3	3	3	3	3
(Feste) Biomasse	32	32	32	32	32
Geothermie	1	1	1	1	1
<b>Heizwerke gesamt</b>	<b>181</b>	<b>231</b>	<b>227</b>	<b>228</b>	<b>233</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	27,3 %	25,3 %	25,7 %	28,6 %
<b>Raffinerien</b>					
Öl	31	29	26	24	22
Raffinerieegas	137	127	116	105	96
Erdgas	32	29	27	24	22
Kokerei-/Stadtgas	2	1	1	1	1
Fern- und Nahwärme	6	5	5	4	4
Strom	22	21	19	18	16
<b>Raffinerien gesamt</b>	<b>230</b>	<b>212</b>	<b>194</b>	<b>177</b>	<b>160</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	-7,5 %	-15,5 %	-23,1 %	-30,3 %
<b>Übriger Umwandlungssektor</b>					
Braunkohlen	8	5	2	1	1
Öl	4	4	4	4	4
Erdgas	4	4	4	4	4
Gichtgas	18	18	18	17	16
Kokerei-/Stadtgas	7	7	7	7	6
Biogas	19	26	24	17	10
(Feste) Biomasse	6	6	6	6	6
Fern- und Nahwärme	6	4	4	3	2
Strom	25	21	19	16	14
<b>Übriger Umwandlungssektor gesamt</b>	<b>97</b>	<b>97</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>63</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	0,2 %	-8,8 %	-23,0 %	-34,6 %
<b>Pipelineverdichter</b>					
Erdgas	21	24	24	24	24
<b>Pipelineverdichter gesamt</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
PJ					
Änderung ggü. 2014	0,0 %	11,2 %	12,0 %	12,7 %	10,3 %
<b>Übrige Energiewirtschaft gesamt</b>	<b>529</b>	<b>564</b>	<b>533</b>	<b>503</b>	<b>480</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	6,6 %	0,8 %	-4,9 %	-9,3 %

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellrechnungen des Öko- Institut

### 3.1.8.4 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Die Treibhausgasemissionen aus der übrigen Energiewirtschaft sind zwischen 1990 und 2014 um etwa 21 % zurückgegangen, liegen aber in beiden Szenarien (vor allem witterungsbedingt) 2020 höher als 2014. Aufgrund des bis 2035 in öffentlichen Heizwerken stark steigenden Erdgaseinsatzes liegen die Emissionen im Jahr 2035 des MMS nur etwa 9 % unterhalb von 1990. Im Vergleich zu 2005 bedeutet dies sogar einen Anstieg um 1 %. Im MWMS hingegen steigen die Erdgaseinsätze in öffentlichen Heizwerken weniger stark und andere Energieverbräuche sind niedriger als im MMS. Daher sinken im MWMS die Emissionen gegenüber 2014 und liegen schließlich im Jahr 2035 etwa 28 % niedriger als 1990 bzw. etwa 20 % niedriger als 2005. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen dominieren mit etwa 99 % der Gesamtemissionen die übrige Energiewirtschaft deutlich, siehe Tabelle 3-75.

Tabelle 3-75: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der übrigen Energiewirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	36,9	33,2	33,0	29,1				
MMS					31,2	31,2	31,2	33,4
MWMS					31,3	29,3	27,6	26,5
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,1	0,1	0,0	0,2				
MMS					0,3	0,2	0,2	0,1
MWMS					0,3	0,2	0,2	0,1
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,2	0,2	0,3	0,2				
MMS					0,3	0,2	0,2	0,2
MWMS					0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	37,1	33,5	33,3	29,5				
MMS					31,7	31,7	31,6	33,8
MWMS					31,8	29,8	28,0	26,8
Veränderung ab 1990 in %								
Entwicklung 1990 – 2014		-9,9	-10,4	-20,7				

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
MMS					-14,7	-14,7	-14,9	-9,1
MWMS					-14,4	-19,8	-24,6	-27,8
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O								
Veränderung ab 2005 in %								
Entwicklung 1990 – 2014			-0,6	-12,0				
MMS					-5,3	-5,3	-5,6	0,9
MWMS					-5,0	-11,0	-16,3	-19,9

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), 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.

### 3.1.9 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.

#### 3.1.9.1 Methodik

Die Modellierung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen erfolgt in möglichst enger Anlehnung an die Berechnungsmethoden des Nationalen Inventarberichts (UBA 2016a). In der Modellierung wird versucht, für jede relevante Quellgruppe eine Aktivitätsrate aus der Modellierung der Energiesektoren abzuleiten. Ist dies nicht möglich, so werden Aktivitätsraten auf konstantem Niveau fortgeschrieben. Tabelle 3-78 gibt einen Überblick über die verwendeten Aktivitätsraten.

Tabelle 3-76: Relevante Quellgruppen für diffuse Emissionen aus Brennstoffen und in der Modellierung verwendete Aktivitätsraten

CRF	Beschreibung	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	Förderprognose Erdöl und Erdgas
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

CRF	Beschreibung	Verwendete Aktivitätsrate
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 von Erdgas

Quelle: Darstellung Öko-Institut

### 3.1.9.2 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 bis zum Jahr 2018 aufgrund des Endes der Subventionierung entsprechend § 1 Abs. 1 Steinkohlefinanzierungsgesetz (SteinkohleFinG) (SteinkohleFinG vom 31.8.2015) vollständig eingestellt wird.
- b) Für die Förderung von Erdöl in Deutschland wurde auf die Energierreferenzprognose (Prognos AG, EWI, GWS 2014) zurückgegriffen. Für die inländische Erdgasförderung wurden auf die bis zum Jahr 2026 reichende Prognose im Entwurf zum Netzentwicklungsplan Gas 2016 (FNB Gas 2016) 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) Das Erdgasnetz wurde im Wesentlichen auf dem Stand von 2014 fortgeschrieben wobei die im Entwurf zum Netzentwicklungsplan Gas 2016 (FNB Gas 2016) 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. Es gibt im MWMS keine Maßnahmen im Bereich der diffusen Emissionen. Da sämtliche Methoden, Annahmen und Parameter für die beiden Szenarien identisch sind, ergeben sich alle Unterschiede zwischen MMS und MWMS hinsichtlich der diffusen Emissionen aus Brennstoffen ausschließlich aus unterschiedlichen Energieverbräuchen.

### 3.1.9.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-77 zeigt die Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen. Im Zeitraum von 1990 bis 2014 sanken diese Emissionen um 72 % von 38,0 Mt CO<sub>2</sub>e auf 10,5 Mt CO<sub>2</sub>e. Durch weitere deutliche Emissionsminderungen verbleiben im Jahr 2035 noch 6,5 Mt CO<sub>2</sub>e, was einer Reduktion von 83 % gegenüber dem 1990 entspricht.

Im Jahr 1990 war die bedeutendste Emissionsquelle der Kohlenbergbau mit 25,5 Mt CO<sub>2</sub>e. Bis zum Jahr 2014 sind diese Emissionen bereits um 89 % auf nur noch 2,7 Mt CO<sub>2</sub>e zurückgeführt worden. Aufgrund der kompletten Rückführung des deutschen Steinkohlenbergbaus bis zum Ende des Jahres 2018 betragen die Emissionen im Jahr 2035 nur noch 0,1 Mt CO<sub>2</sub>e, 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 9,4 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 1990 zunächst auf ein Maximum von 10,1 Mt CO<sub>2</sub>e in den Jahren 1995/1996 an und fielen anschließend auf 6,1 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2014. Bis zum Jahr 2035 ist ein Rückgang auf 4,9 Mt CO<sub>2</sub>e 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 (CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) von 0,7 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 1990 auf 0,5 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2014 und werden auf 0,4 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2035 sinken. Ähnliches gilt für die Emissionen aus Abfackelung und Belüftung: Hier sanken die Emissionen von 0,5 Mt CO<sub>2</sub>e (1990) auf 0,4 Mt CO<sub>2</sub>e (2014) und werden etwa auf diesem Niveau bleiben.

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 verursacht, sank dieser Anteil bis 2014 auf 33 % und im Jahr 2035 wird er bei nur noch 13 % liegen. Erdgas steigerte seinen Anteil hingegen von 25 % im Jahr 1990 auf 58 % im Jahr 2014 und wird im Jahr 2035 mit einem Anteil von 75 % die diffusen Emissionen dominieren. Der Anteil von Öl an den diffusen Emissionen stieg von unter 2 % (1990) auf 5 % (2014) 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 6 % (2035) steigen.

Tabelle 3-77: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS (1990-2035)

	1990 Mt CO <sub>2</sub> e	2014	2020	2025	2030	2035
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>						
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	0,7	0,7	0,7	0,6
Ölförderung, -verarbeitung & -transport (1.B.2.a)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Gasförderung-, -verarbeitung & -transport (1.B.2.b)	1,4	1,3	0,9	0,5	0,2	0,0
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen gesamt</b>	<b>4,1</b>	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	25,5	2,7	0,2	0,2	0,2	0,1
Koksproduktion (1.B.1.b)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
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	4,9	4,9	4,9	4,9
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen gesamt</b>	<b>33,9</b>	<b>7,9</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>						

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen gesamt</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>	<b>38,0</b>	<b>10,5</b>	<b>7,6</b>	<b>7,2</b>	<b>6,8</b>	<b>6,5</b>
ggü. 2005	130,8 %	-36,1 %	-53,7 %	-56,5 %	-58,9 %	-60,7 %
ggü. 1990	0,0 %	-72,3 %	-79,9 %	-81,1 %	-82,2 %	-83,0 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

### 3.1.9.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-80 zeigt die Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen. Im Zeitraum von 1990 bis 2014 sanken diese Emissionen um 72 % von 38,0 Mt CO<sub>2</sub>e auf 10,5 Mt CO<sub>2</sub>e. Durch weitere deutliche Emissionsminderungen verbleiben im Jahr 2035 noch 6,4 Mt CO<sub>2</sub>e, was 83 % niedriger als 1990 ist. Der Unterschied gegenüber dem MWMS beträgt weniger als 0,1 Mt CO<sub>2</sub>e, daher gelten die Aussagen für das MMS auch im Wesentlichen für das MMS. Die Emissionen aus der Ölverarbeitung sind im MWMS aufgrund der niedrigeren Ölnachfrage etwas geringer und die Emissionen aus Gas aufgrund der höheren Erdgasnachfrage etwas höher.

Tabelle 3-78: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MWMS (1990-2035)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>						
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	0,7	0,7	0,7	0,6
Ölförderung, -verarbeitung & -transport (1.B.2.a)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Gasförderung-, -verarbeitung & -transport (1.B.2.b)	1,4	1,3	0,9	0,5	0,2	0,0
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen gesamt</b>	<b>4,1</b>	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	25,5	2,7	0,2	0,2	0,1	0,1
Koksproduktion (1.B.1.b)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ölförderung, -verarbeitung & -transport (1.B.2.a)	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Gasförderung-, -verarbeitung & -transport (1.B.2.b)	7,9	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen gesamt</b>	<b>33,9</b>	<b>7,9</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>						
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen gesamt</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
<b>CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>						
<b>Diffuse Emissionen gesamt</b>	<b>38,0</b>	<b>10,5</b>	<b>7,6</b>	<b>7,2</b>	<b>6,8</b>	<b>6,4</b>
ggü. 2005	130,8 %	-36,1 %	-53,6 %	-56,3 %	-58,8 %	-60,9 %
ggü. 1990	0,0 %	-72,3 %	-79,9 %	-81,1 %	-82,2 %	-83,0 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

### 3.1.9.5 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien sind nur marginal. Bis 2014 sind die diffusen Kohlendioxidemissionen aus Brennstoffen bereits um 35 % gegenüber 1990 gesunken und werden bis 2035 noch einmal auf 70 % gegenüber 1990 halbieren. Die diffusen Methanemissionen sind bis 2014 bereits um 77 % gegenüber 1990 gesunken und werden bis 2035 weiter auf -87 % sinken. Die diffusen Lachgasemissionen waren nahezu irrelevant und werden dies auch weiter bleiben.

Tabelle 3-79: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen der diffusen Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	4,1	3,2	2,8	2,6				
MMS					2,3	1,9	1,5	1,2
MWMS					2,3	1,9	1,5	1,2
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	33,9	13,2	8,4	7,9				
MMS					5,3	5,3	5,3	5,2
MWMS					5,3	5,3	5,3	5,2
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	0,0	0,0	0,0	0,0				
MMS					0,0	0,0	0,0	0,0
MWMS					0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	38,0	16,4	11,3	10,5				
MMS					7,6	7,2	6,8	6,5
MWMS					7,6	7,2	6,8	6,4
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-56,7	-70,2	-72,3				
MMS					-79,9	-81,1	-82,2	-83,0
MWMS					-79,9	-81,1	-82,2	-83,0
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					Veränderung ab 2005 in %			

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Entwicklung 1990 – 2014			-31,3	-36,1				
MMS					-53,7	-56,5	-58,9	-60,7
MWMS					-53,6	-56,3	-58,8	-60,9

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Öko-Institut

### 3.1.10 Industrieprozesse und Produktverwendung (CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen)

#### 3.1.10.1 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 Prozessemisionen 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 2016a) 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 des im Mit-Maßnahmen- und des im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios über Annahmen zur Entwicklung der Produktionsniveaus entsprechend Tabelle 2-13 für eindeutig identifizierbare Produkte bzw. Produktruppen unter der Annahme konstanter Emissionsfaktoren möglich. Für nicht in Tabelle 2-13 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 2014 konstant gehalten.

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen ergeben sich damit stets aus den zu Grunde gelegten Produktionsmengen, die entweder exogen vorgegeben sind oder konstant gehalten werden bzw. über die modellendogenen ermittelten Produktionsniveaus ermittelt werden.

Für die Ermittlung der indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus NMVOC-Emissionen im Bereich der Lösemittel und anderer Produktverwendung wurden NMVOC-Emissionsprojektionen aus dem Projekt *Luft 2030* (Aktuelle-Politik-Szenario für das MMS und Energiewende-Szenario für das MWMS) (IER et al. 2014) übernommen und bis zum Jahr 2035 fortgeschrieben.

Die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Produktverwendung wurden auf dem Niveau des Jahres 2014 fortgeschrieben.

#### 3.1.10.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

In der Vergangenheit sanken die Kohlendioxid-, Methan- und Lachgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung bereits um 44 % von 83,2 Mt CO<sub>2</sub>e auf 46,4 Mt CO<sub>2</sub>e. Bis zum Jahr 2035 werden diese Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario auf 40,4 Mt CO<sub>2</sub>e und somit um 52 % gegenüber dem Jahr 1990 sinken.

Die mineralische Industrie (CRF 2.A) konnte ihre Emissionen in der Vergangenheit um 16 % von 22,8 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 1990 auf 19,1 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2014 senken. Mit Abstand wichtigste Emissionsquelle ist hier die Zementklinkerproduktion gefolgt von der Kalkherstellung. Glas-, Keramik- und So-daherstellung haben im Vergleich dazu eine untergeordnete Bedeutung. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen der mineralischen Industrie auf 17,8 Mt CO<sub>2</sub>e 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 ansteigend sind.

Im Jahr 1990 hatte die chemische Industrie (CRF 2.B) die Branche mit 30,0 Mt CO<sub>2</sub>e den größten Anteil an den CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung. Bis zum Jahr 2014 konnten diese Emissionen um 75 % auf 7,5 Mt CO<sub>2</sub>e reduziert werden. Besonders bedeutsam waren hier die Rückgänge der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Salpetersäure- und Adipinsäureproduktion. Hier wird unterstellt, dass die im Jahr 2014 erreichte spezifische Emissionsminderung auch in der Zukunft erreicht wird. Durch Ausweitung der Produktionsmengen ist ein leichter Anstieg der Emissionen aus der chemischen Industrie auf 7,6 Mt CO<sub>2</sub> zu erwarten. Bezuglich der Maßnahmenbewertung (Einbeziehung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Salpetersäure- und Adipinsäureproduktion in den EU-Emissionshandel) wird auf den Projektionsbericht 2015 verwiesen. Da keine relevante Veränderung bezüglich der Quantifizierung zu erwarten ist, wird auf eine erneute Berechnung der Maßnahmenwirkung verzichtet.

Die zweitbedeutendste Branche in Bezug auf CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Jahr 1990 war die Metallproduktion (CRF 2.C) mit 25,1 Mt CO<sub>2</sub>e. Hier sanken die Emissionen bis zum Jahr 2014 um 32 % auf 17,0 Mt CO<sub>2</sub>e. 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 11,1 Mt CO<sub>2</sub>e und damit um 63 % 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 CO<sub>2</sub>e im Jahr 1990 um 24 % auf 2,5 Mt CO<sub>2</sub>e. 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 3,4 Mt CO<sub>2</sub>e und damit oberhalb des Niveaus von 1990 ansteigen. Ursache ist hierfür vor allem das Fortschreiben des Trends zu steigenden Emissionen aus Paraffinwachsen.

Die CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus sonstiger Produktherstellung und -verwendung (CRF 2.G) sanken von 2,0 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 1990 um 80 % auf 0,4 Mt CO<sub>2</sub>e; dieses Emissionsniveau wurde auch bis 2035 fortgeschrieben. Wichtigste verbleibende Emissionsquelle in diesem Bereich ist das Lachgas in medizinischen Anwendungen.

Tabelle 3-80: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e					
CO <sub>2</sub> -Emissionen						
Mineralische Industrie (2.A)	22,8	19,1	19,8	19,4	18,6	17,8
Zement (2.A.1)	15,1	12,7	13,3	13,0	12,6	12,0
Kalk (2.A.2)	6,0	5,0	4,9	4,8	4,5	4,2
Glas (2.A.3)	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
<i>Keramik (2.A.4.a)</i>	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>Sonstige Sodaeverwendung (2.A.4.b)</i>	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Chemische Industrie (2.B)	8,1	6,2	6,6	6,6	6,4	6,3
<i>Ammoniak (2.B.1)</i>	6,0	4,8	5,1	5,1	5,0	4,8
<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	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>Industrieruß (2.B.8)</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Metallproduktion (2.C)</i>	25,1	17,0	15,3	13,2	12,0	11,3
<i>Eisen &amp; Stahl (2.C.1)</i>	22,8	15,9	14,1	12,1	10,9	10,3
<i>Ferrolegierungen (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	0,7	0,7	0,6
<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	2,8	2,9	3,1	3,1
<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	0,8	0,9	0,9	1,0
<i>Lösemittel (2.D.3.a)</i>	2,6	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5
CO <sub>2</sub> -Emissionen gesamt	59,3	44,8	44,5	42,1	40,1	38,6
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>						
CH <sub>4</sub> -Emissionen gesamt	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>						
Chemische Industrie (2.B)	21,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>Salpetersäure (2.B.2)</i>	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>Adipinsäure (2.B.3)</i>	18,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
<i>Caprolactam, Glyoxal- &amp; Glyoxalsäure (2.B.4)</i>	0,2	NA,IE	NA,IE	NA,IE	NA,IE	NA,IE
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 <sub>2</sub> O-Emissionen gesamt	23,6	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>						
<b>Industrieprozesse gesamt</b>	<b>83,2</b>	<b>46,4</b>	<b>46,2</b>	<b>43,9</b>	<b>41,9</b>	<b>40,4</b>
ggü. 2005	35,5 %	-24,4 %	-24,8 %	-28,6 %	-31,9 %	-34,3 %
ggü. 1990	0,0 %	-44,2 %	-45,5 %	-47,3 %	-49,7 %	-51,5 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

### 3.1.10.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Da es im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario keine expliziten Maßnahmen zur Reduktion der Kohlenstoffdioxid-, Methan- und Lachgasemissionen gibt, bleiben hier die Emissionen im Wesentlichen unverändert. Einziger merklicher Unterschied sind etwas niedrigere Emissionen durch eine effizientere Stahlherstellung, die sich nicht nur auf die energiebedingten sondern auch auf die prozessbedingten Emissionen auswirken. Hier liegen im MWMS die Emissionen im Jahr 2035 um 0,3 Mt CO<sub>2</sub>e niedriger als im MMS.

Tabelle 3-81: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MWMS

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>						
Mineralische Industrie (2.A)	22,8	19,1	19,8	19,4	18,6	17,8
<i>Zement (2.A.1)</i>	15,1	12,7	13,3	13,0	12,6	12,0
<i>Kalk (2.A.2)</i>	6,0	5,0	4,9	4,8	4,5	4,2
<i>Glas (2.A.3)</i>	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Keramik (2.A.4.a)</i>	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>Sonstige Sodaeverwendung (2.A.4.b)</i>	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Chemische Industrie (2.B)	8,1	6,2	6,6	6,6	6,4	6,3
<i>Ammoniak (2.B.1)</i>	6,0	4,8	5,1	5,1	5,0	4,8
<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	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>Industrieruß (2.B.8)</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Metallproduktion (2.C)	25,1	17,0	15,3	13,2	11,9	11,0
<i>Eisen &amp; Stahl (2.C.1)</i>	22,8	15,9	14,1	12,1	10,8	10,0
<i>Ferrolegierungen (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	0,7	0,7	0,6
<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	2,8	2,9	3,1	3,1
<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	0,8	0,9	0,9	1,0
<i>Lösemittel (2.D.3.a)</i>	2,6	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5
CO <sub>2</sub> -Emissionen gesamt	59,3	44,8	44,5	42,1	40,0	38,3
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>						
CH <sub>4</sub> -Emissionen gesamt	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>						
Chemische Industrie (2.B)	21,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
Salpetersäure (2.B.2)	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
Adipinsäure (2.B.3)	18,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Caprolactam, Glyoxal- & Glyoxalsäure (2.B.4)	0,2	NA,IE	NA,IE	NA,IE	NA,IE	NA,IE
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 <sub>2</sub> O-Emissionen gesamt	23,6	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>	<b>83,2</b>	<b>46,4</b>	<b>46,2</b>	<b>43,8</b>	<b>41,8</b>	<b>40,0</b>
ggü. 2005	35,5 %	-24,4 %	-24,8 %	-28,7 %	-32,0 %	-34,8 %
ggü. 1990	0,0 %	-44,2 %	-45,5 %	-47,3 %	-49,8 %	-51,9 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

### 3.1.10.4 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Tabelle 3-81 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O 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 und MWMS auf ca. 40 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Reduktion von knapp 52 % gegenüber 1990. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 34 % bis 35 %.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass sich die Emissionsreduktionsmaßnahmen ab 2014 hauptsächlich auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen auswirken. Zwischen 2014 und 2035 ergibt sich für CO<sub>2</sub> ein Rückgang um 14 % in beiden Szenarien, zwischen 1990 und 2035 ergibt sich ein Rückgang von 35 %. Da die Lachgasemissionen im Jahr 1990 sehr hoch lagen, beträgt die Emissionsreduktion bis 2035 95 % in beiden Szenarien. CO<sub>2</sub> ist das mit Abstand dominierende Gas im Jahr 2035 mit 96 % an den Gesamtemissionen des Sektors Industrieprozesse und Produktverwendung (ohne fluorierte Treibhausgase). Zwischen 2014 und 2035 bleiben die Emissionen aus N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> auf niedrigem Niveau.

Tabelle 3-82: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990–2014	59,3	52,2	45,8	44,8				
MMS					44,5	42,1	40,1	38,6
MWMS					44,5	42,1	40,0	38,3
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990–2014	0,3	0,6	0,5	0,5				

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
MMS					0,6	0,6	0,6	0,6
MWMS					0,6	0,6	0,6	0,6
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990–2014	23,6	8,6	1,9	1,1				
MMS					1,1	1,2	1,2	1,2
MWMS					1,1	1,2	1,2	1,2
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990–2014	83,2	61,4	48,2	46,4				
MMS					46,2	43,9	41,9	40,4
MWMS					46,2	43,8	41,7	40,0
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-26,2	-42,1	-44,2				
MMS					-44,4	-47,3	-49,7	-51,5
MWMS					-44,5	-47,4	-49,9	-51,9
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 1990 – 2014			-21,5	-24,4				
MMS					-24,7	-28,6	-31,8	-34,3
MWMS					-24,8	-28,7	-32,1	-34,9

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkungen: nur prozessbedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung

### 3.1.11 Industrieprozesse und Produktverwendung (Emissionen fluorierter Treibhausgase)

#### 3.1.11.1 Methodik sowie Annahmen und Parameter

Die Projektionen der Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gase) setzen auf dem aktuellen deutschen Emissionsinventar aus dem Jahr 2016 auf, welches die Emissionen von 1990 bis 2014 umfasst. Mit der Umstellung der Emissionsinventare auf die 2006 IPCC Guidelines im Jahr 2015 wurde die Menge der für die gesamte Zeitreihe ab 1990 zu berücksichtigenden fluorierten Treibhausgase erweitert und umfasst jetzt

- teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW, 19 verschiedene Substanzen, davon 6 neu);
- perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW, 9 verschiedene Substanzen, davon 2 neu);
- Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) sowie
- neu auch Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>).

Um vertrauliche Daten zu schützen, kann in den Inventaren gemäß den IPCC Guidelines auch eine „nicht spezifizierte Mischung von HFKW und FKW“ berichtet werden<sup>69</sup>. Für die Umrechnung der Emissionen der verschiedenen Substanzen in CO<sub>2</sub>euvalente werden seitdem die Treibhausgaspotenziale (GWP<sub>s</sub>) aus dem 4. IPCC Assessment Report (AR4) verwendet<sup>70</sup>.

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 und MWMS bis 2020 werden die Annahmen aus Öko-Institut (2014c) übernommen. Mit den Maßnahmen des MWMS wird darin eine schnellere Erschließung der in UBA (2015) berechneten Emissionsminderungspotenziale des Phase-down abgeschätzt. 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.

Für die Effekte im MMS der MAC-Richtlinie, welche das GWP von Kältemitteln in Klimaanlagen 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 Klimaanlagen, 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 Klimaanlagen* 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 Biogasanlagen)* 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.

---

<sup>69</sup> Im Fall des dieser Projektion zu Grunde liegenden deutschen Inventars von 2016, sind in dieser „nicht spezifizierten Mischung“ auch vertrauliche SF<sub>6</sub>-Emissionen enthalten.

<sup>70</sup> Bis 2014 waren in der Inventarerstellung die GWPs des 2. IPCC Assessment Report (SAR) benutzt worden.

HFKW-Emissionen aus der *Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen* liegen nicht im Anwendungsbereich des HFKW-Phase-down und werden wie auch entsprechende FKW- und SF<sub>6</sub>-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 SF<sub>6</sub>-Emissionen aus *Magnesiumgießereien* werden angesichts des ab 2018 geltenden spezifischen Verwendungsverbots von SF<sub>6</sub> gemäß EU-Verordnung (EU) Nr. 517/2014 ab 2020 keine Emissionen mehr angenommen. Ein zumindest teilweise zu erwartender Ersatz von SF<sub>6</sub> (GWP 22 800) durch HFKW-134a (GWP 1 430) ist in der HFKW-Projektion berücksichtigt: Für die HFKW-Emissionen aus *Magnesium-Gießereien*<sup>71</sup> und die Anwendung von SF<sub>6</sub> als Reinigungsgas in Aluminiumgießereien wird hier in Anlehnung an UBA (2011) eine jährliche Produktions- und Emissionssteigerung von 1 % angenommen.

Die SF<sub>6</sub>-Emissionen aus *elektrischen Anlagen*, aus *Tracergasanwendungen*, aus der Produktion von *optischen Glasfasern* und aus der *Fotovoltaikproduktion* werden konstant von 2014 fortgeschrieben. Ebenfalls werden die SF<sub>6</sub>-, FKW-, NF<sub>3</sub>- und HFKW-Emissionen aus der *Halbleiterproduktion*<sup>72</sup> konstant fortgeschrieben, wie auch die FKW- und NF<sub>3</sub>-Emissionen aus der Photovoltaik-Industrie.

Für Emission aus mit SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> aus *Schallschutzfenstern* wurde aus UBA (2011) übernommen, der Effekt des in der EU-F-Gas-Verordnung erlassenen Verwendungsverbotes 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-Lösemittelemissionen FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen aus Radaranlagen, Schweißen, medizinische und kosmetische Anwendungen sowie in der Vergangenheit Sportschuhen. Diese Emissionen wurden konstant fortgeschrieben.

### 3.1.11.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

#### Bewertung der Einzelmaßnahmen

Die unter den oben dargestellten Annahmen errechneten Wirkungen der auf F-Gase orientierten Einzelmaßnahmen des MMS sind in Tabelle 3-82 zusammengefasst. Die erwarteten Wirkungen steigen in der Summe von 5 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2020 auf 16 Mt CO<sub>2</sub>e 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-SF<sub>6</sub>-Verbote unter der EU-F-Gase-Verordnung zu je etwa 4 bis 6 Mt CO<sub>2</sub>e pro Jahr bei.

Tabelle 3-83: Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS

Wirkung von Minderungsmaßnahmen im MMS	Instrumen-tentyp	Wir-kungs-beginn	2015	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e							
Beschränkung von HFKW in Pkw-Klimaanlagen gemäß EU MAC-Richtlinie 2006/40/EG	R	2007	1,7	3,2	4,7	6,1	6,5

<sup>71</sup> Hier dient das Gas HFKW-134a als emissionsmindernder Ersatz für das ca. 15-fach stärker treibhausgaswirksame Gas SF<sub>6</sub>, welches laut Verordnung (EU) Nr. 517/2014 ab 2018 für diesen Anwendungsbereich verboten ist.

<sup>72</sup> Der Einsatz von HFKW in der Halbleiterproduktion ist gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 vom HFKW-Phase-down ausgenommen.

Wirkung von Minderungsmaßnahmen im MMS	Instru- menten- typ	Wir- kungs- beginn	2015	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e							
HFKW-Phase-Down nach EU F-Gas Verordnung 517/2014 (inkl. Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung & NKI-Förderung)	E (inkl. R/F)	2010 / 2015	0,2	0,6	2,2	5,7	5,8
Berücksichtigung von FKW aus Primär-Aluminium im EU ETS	E	2013	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
SF6-Verbote gemäß EU F-Gas Verordnung 517/2014 inkl. Vorgänger-Verordnung 842/2006)	R	2006 / 2018	0,6	0,6	2,1	3,7	3,9
<b>Summe der betrachteten Maßnahmen</b>			<b>2,7</b>	<b>4,7</b>	<b>9,2</b>	<b>15,7</b>	<b>16,4</b>

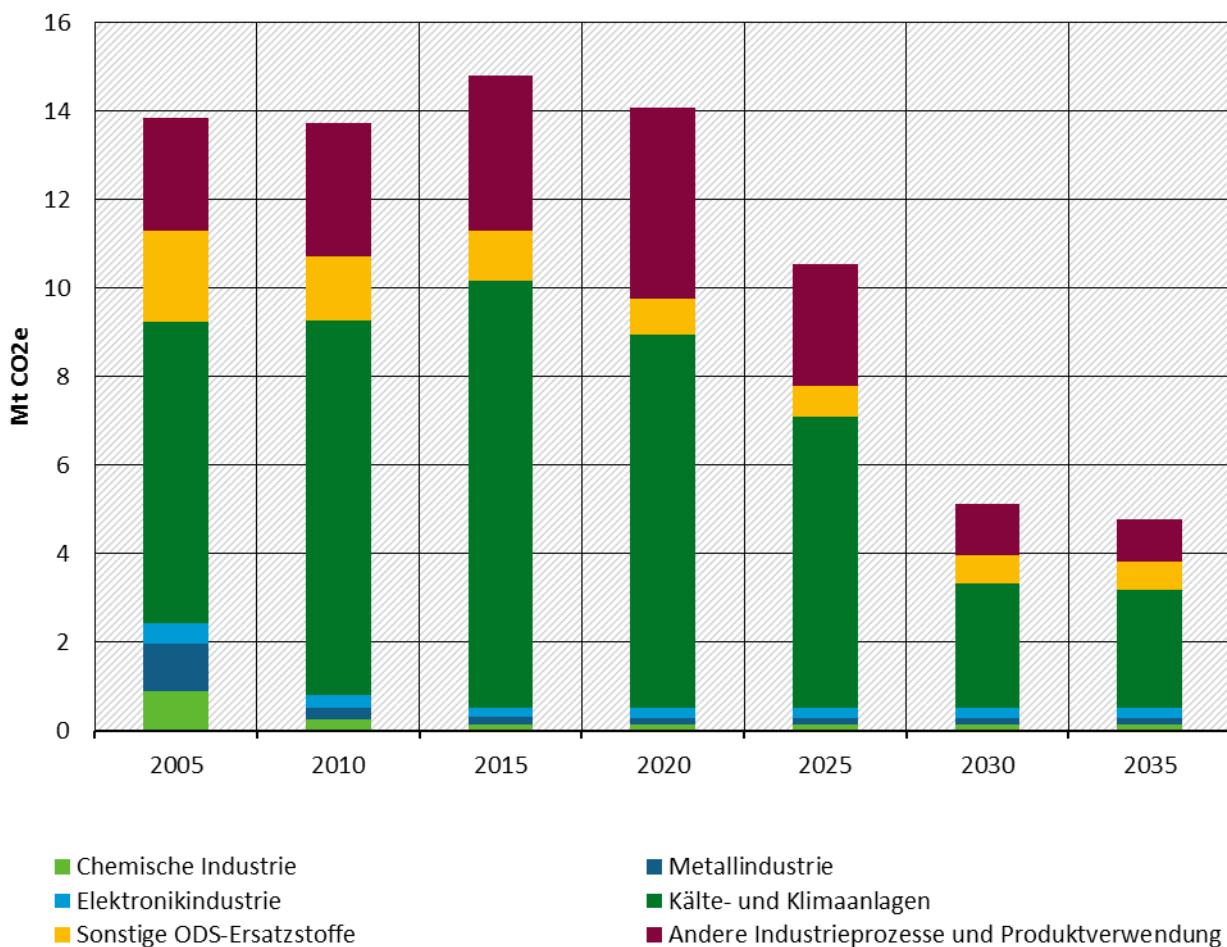
Quelle: Berechnung Öko-Institut

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

## Emissionsentwicklung

Mit dem beschriebenen methodischen Ansatz ergibt sich für das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) die in Abbildung 3-17 und Tabelle 3-82 gezeigte Emissionsentwicklung für fluorierte Treibhausgase (F-Gase).

Abbildung 3-17: Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)



Anmerkung: ODS: unter dem Montreal-Protokoll adressierte ozonabbauende Stoffe (ozone depleting substances). Einsatzfelder von HFKW als „sonstige“ (d.h. über Kälte- und Klimaanlagen hinaus) ODS-Ersatzstoffe sind vor allem Schaumproduktion, Feuerlöschanlagen, medizinische Inhalationssprays und andere Aerosole.  
Emissionen aus „anderen“ Industrieprozessen und Produktanwendung sind bis 2025 dominiert von SF<sub>6</sub>-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern

Quelle: 2005 - 2010: (UBA 2016a); 2015 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

Die Summe der Emissionen der fluorierten Treibhausgase (F-Gase) ist von 2005 bis 2010 um 1 % gesunken, dann aber bis 2014 auf 5 % über das Niveau von 2005 angestiegen. Ursache waren stetig steigende HFKW-Emissionen Kälte- und Klimaanlagen sowie SF<sub>6</sub>-Emissionen aus alten Schallschutzfenstern bei sinkenden SF<sub>6</sub>- und FKW-Emissionen aus der Produktion von fluorierten Chemikalien und der Metallindustrie (Magnesium und Aluminium) sowie sinkenden HFKW-Emissionen aus der Schaumproduktion. Nach 2015 fallen die F-Gas-Emissionen im MWMS bis 2030 deutlich auf 37 % 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 Klimaanlagen sowie das Auslaufen der SF<sub>6</sub>-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern, deren Neuinstallation schon seit 2008 verboten ist.

Tabelle 3-84: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MMS 2005-2035

Quellgruppe und Gase		2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035
		Mt CO <sub>2</sub> e							
Chemische Industrie	HFKW, FKW und SF6 aus fluorchemischer Produktion	0,9	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Metallindustrie	FKW aus Primär-Aluminiumproduktion, Einsatz von HFKW und SF6 in Aluminium- und Magnesium-Gießereien	1,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Elektronikindustrie	FKW, SF6, NF3 und HFKW aus Halbleiter- und Photovoltaikproduktion	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kälte- und Klimaanlagen	HFKW und geringe Mengen FKW aus stationären und mobilen Kälte- und Klimaanlagen, inklusive Wärmepumpen	6,8	8,4	9,5	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	1,2	1,1	0,8	0,7	0,6	0,6
Andere Industrieprozesse und Produktverwendung	SF6, HFKW und FKW aus Schallschutzfenstern, Teilchenbeschleunigern, Produktion optischer Glasfasern, Spürgas, Reifenbefüllung, Radaranlagen, ORC-Anlagen, Schweißen, Sportschuhen, Lösemittelanwendungen und sonstigen medizinischen und kosmetischen Anwendungen	2,6	3,0	3,3	3,5	4,3	2,7	1,2	1,0
<b>Summe fluorierte Treibhausgase</b>		<b>13,9</b>	<b>13,7</b>	<b>14,6</b>	<b>14,8</b>	<b>14,1</b>	<b>10,5</b>	<b>5,1</b>	<b>4,8</b>

Quelle: 2005 - 2014: (UBA 2016a); 2015 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

### 3.1.11.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

#### Bewertung der Einzelmaßnahmen

Für eine Novelle der NKI-Förderung für gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen wird angenommen, dass diese ihre zusätzlichen Minderungswirkungen in erster Linie über die Förderung von Abwärmenutzung und damit der Verdrängung von fossiler Wärmebereitstellung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD, siehe Abschnitt 3.1.6) entfaltet. Eine gesonderte zusätzliche Vermeidung von F-Gas-Emissionen wird nicht ausgewiesen.

Basierend auf den Annahmen aus Öko-Institut (2014c) wird mit den Begleitmaßnahmen zur EU F-Gase-Verordnung aus dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 das in UBA (2015) berechnete Emissionsminderungspotenzial des EU-HFKW-Phase-down schneller erreicht als im MMS. Deshalb werden hierfür lediglich für die Jahre 2020 und 2025 über das MMS hinausgehende Minderungspotenziale berechnet (Tabelle 3-83).

Tabelle 3-85: Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MWMS im Vergleich zum MMS

Wirkung von Minde- rungsmaßnahmen in MWMS		Instru- men- tentyp	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
Begleitmaßnahmen zur F-Gas VO aus dem Aktionsprogramm Klimaschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Kompetenz- und Beratungsstelle für natürliche Kältemittel</li> <li>o Unterstützung von Handwerk/KMU beim Einstieg in natürliche Kältemittel</li> <li>o Handlungsleitfaden zum Einsatz von Kohlenwasserstoffen in Wärmepumpen</li> <li>o Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Fahrzeugklimatisierung (Busse, LKW, Bahnfahrzeuge), Förderung von Busklimaanlagen mit CO<sub>2</sub> als alternativem Kältemittel</li> <li>o Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Transportkälte und in stationären Kälte- und Klimaanlagen</li> </ul>	F, I, ET, O	0,2	2,0	-	-
Novellierung des „Im- pulsprogramm ge- werbliche Kälte- und Klimaanlagen“ der Nationalen Klima- schutzinitiative (NKI)	Minderungswirkung wird im Sektor GHD bilanziert	F	-	-	-	-
<b>Summe der betrach- teten Maßnahmen</b>			<b>0,2</b>	<b>2,0</b>	-	-

Quelle: Berechnung Öko-Institut

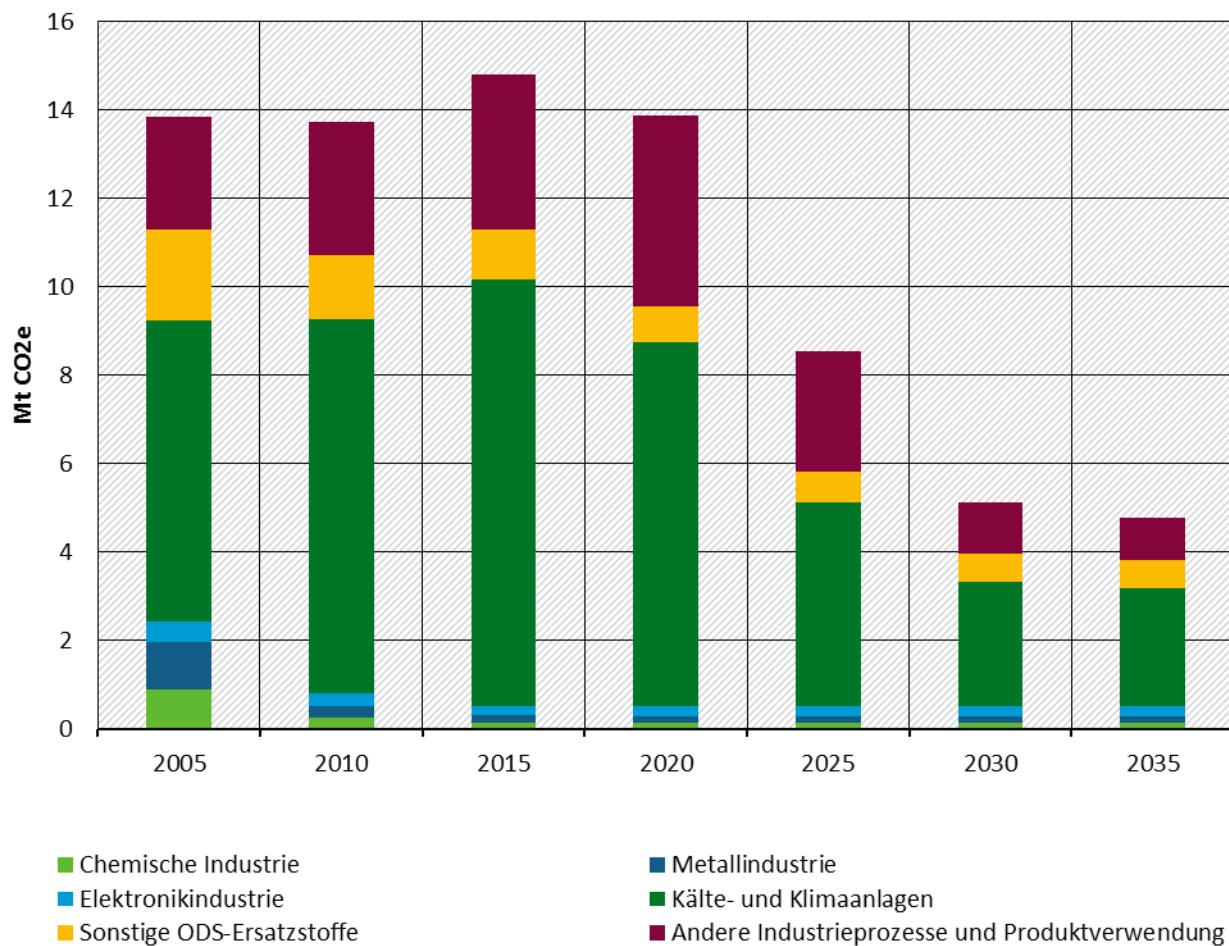
Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Die zusätzlichen Minderungen von 0,2 Mt CO<sub>2</sub>e (2020) bzw. 2 Mt CO<sub>2</sub>e (2025) entsprechen etwa 1 % (2020) bzw. 19 % (2025) der gesamten für das MMS modellierten F-Gas-Emissionen (vgl. Tabelle 3-83, Seite 220).

## Emissionsentwicklung

Mit dem beschriebenen methodischen Ansatz ergibt sich für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) die in Abbildung 3-18 und Tabelle 3-84 (Seite 223) dargestellte Emissionsentwicklung für die fluorierten Treibhausgase.

Abbildung 3-18: Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)



█ Chemische Industrie      █ Metallindustrie  
█ Elektronikindustrie      █ Kälte- und Klimaanlagen  
█ Sonstige ODS-Ersatzstoffe      █ Andere Industrieprozesse und Produktverwendung

- Anmerkung: ODS: unter dem Montreal-Protokoll adressierte Ozon abbauende Stoffe (ozone depleting substances). Einsatzfelder von HFKW als „sonstige“ (d.h. über Kälte- und Klimaanlagen hinaus) ODS-Ersatzstoffe sind vor allem Schaumproduktion, Feuerlöschanlagen, medizinische Inhalationssprays und andere Aerosole.  
 Emissionen aus „anderen“ Industrieprozessen und Produktanwendung sind bis 2025 dominiert von SF<sub>6</sub>-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern
- Quelle: 2005 - 2010: (UBA 2016a); 2015 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

Die Emissionstrends im MWMS entsprechen denen im MMS mit der Ausnahme, dass die Reduktion der HFKW-Emissionen zwischen 2020 und 2030 im MWMS schneller stattfindet als im MMS. Für eine detailliertere Interpretation der Emissionstrends wird deshalb auf Abschnitt 3.1.11.2 verwiesen.

Tabelle 3-86: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MWMS 2005-2035

Quellgruppe und Gase		2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035
		Mt CO <sub>2</sub> e							
Chemische Industrie	HFKW, FKW und SF <sub>6</sub> aus fluor-chemischer Produktion	0,9	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Metallindustrie	FKW aus Primär-Aluminium-Produktion, Einsatz von HFKW und SF <sub>6</sub> in Aluminium- und Magnesium-Gießereien	1,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Elektronikindustrie	FKW, SF <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub> und HFKW aus Halbleiter- und Photovoltaikproduktion	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kälte- und Klimaanlagen	HFKW und geringe Mengen FKW aus stationären und mobilen Kälte- und Klimaanlagen, inklusive Wärmepumpen	6,8	8,4	9,5	9,6	8,2	4,6	2,8	2,7
Sonstige ODS-Ersatzstoffe	HFKW aus Schaumherstellung, Feuerlöschern, Aerosolen und medizinischen Dosiersprays	2,0	1,5	1,2	1,1	0,8	0,7	0,6	0,6
Andere Industrieprozesse und Produktverwendung	SF <sub>6</sub> , HFKW und FKW aus Schallschutzfenstern, Teilchenbeschleunigern, Produktion optischer Glasfasern, Spürgas, Reifenbefüllung, Radaranlagen, ORC-Anlagen, Schweißen, Sportschuhen, Lösemittelwendungen und sonstigen medizinischen und kosmetischen Anwendungen	2,6	3,0	3,3	3,5	4,3	2,7	1,2	1,0
<b>Summe fluorierte Treibhausgase</b>		<b>13,9</b>	<b>13,7</b>	<b>14,6</b>	<b>14,8</b>	<b>13,9</b>	<b>8,6</b>	<b>5,1</b>	<b>4,8</b>

Quelle: 2005 - 2014: (UBA 2016a); 2015 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

### 3.1.11.4 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Tabelle 3-85 zeigt die Emissionsentwicklungen der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung von 1995 bis 2035 sowie die seit 1995 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS und MWMS auf ca. 5 Mt CO<sub>2</sub>e. Dies entspricht einer Reduktion von knapp 72 % gegenüber 1995. Gegenüber dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 66 %. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen im MMS und MWMS bei rund 14 Mt CO<sub>2</sub>e, was einem Rückgang von ca. 17 %-18 % im Vergleich zum Jahr 1995 entspricht. Durch die verabschiedeten Maßnahmen sinken die Emissionen im MMS und MWMS zwischen 2020 und 2035 um 7 % bis 51 % in den betrachteten Fünfjahreszeiträumen. Im MWMS ergeben sich sowohl zwischen 2020 und 2025 große Emissionsreduktionen von jeweils etwa 40 %, im MMS liegt die Emissionsreduktion zwischen 2025 und 2030 mit 51 % deutlich über der der anderen Fünfjahreszeiträume.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass sich die Emissionsreduktionen zwischen 1995 und 2035 nur auf die Gase FKW, SF<sub>6</sub> und den nicht spezifizierten Mix beschränken. Jedoch ist nur bei SF<sub>6</sub> ein kontinuierlich abnehmender Emissionstrend zu beobachten. Die HFKW-Emissionen nahmen mit der zunehmenden Verwendung der HFKW bis 2014 stark zu und nehmen bis 2035 wieder ab.

Zwischen den Jahren 2014 und 2035 reduzieren sich diese Emissionen so um fast 70 % in beiden Szenarien. Die FKW-Emissionen verharren seit 2014 auf einem fast konstanten Niveau, genauso wie die Emissionen des nicht spezifizierten Mixes. Bei den NF<sub>3</sub>-Emissionen ergeben sich ebenfalls nur leichte Schwankungen in der Zeitreihe seit 1995. Die HFKW-Emissionen machen seit 2005 den Großteil an den Gesamtemissionen aus, im Jahr 2035 liegt ihr Anteil bei über 70 %.

Tabelle 3-87: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung zwischen 1995 und 2035 im MMS und MWMS

	1995	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
HFKW-Emissionen								
Entwicklung 1995 – 2014	2,6	8,8	9,9	10,8				
MMS					9,4	7,4	3,6	3,4
MWMS					9,1	5,4	3,6	3,4
FKW-Emissionen								
Entwicklung 1995 – 2014	2,1	0,8	0,3	0,2				
MMS					0,2	0,2	0,2	0,2
MWMS					0,2	0,2	0,2	0,2
SF <sub>6</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1995 – 2014	6,5	3,3	3,0	3,4				
MMS					4,3	2,7	1,2	1,0
MWMS					4,3	2,7	1,2	1,0
NF <sub>3</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1995 – 2014	0,0	0,0	0,1	0,0				
MMS					0,0	0,0	0,0	0,0
MWMS					0,0	0,0	0,0	0,0
Nicht spezifizierter Mix								
Entwicklung 1995 – 2014	5,8	0,9	0,4	0,2				
MMS					0,2	0,2	0,2	0,2
MWMS					0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Summe F-Gase</b>								
Entwicklung 1995 – 2014	16,9	13,9	13,7	14,6				
MMS					14,1	10,5	5,1	4,8
MWMS					13,9	8,6	5,1	4,8
Summe F-Gase					Veränderung ab 1995 <sup>a</sup> in %			
Entwicklung 1995 – 2014		-18,2	-18,9	-14,1				
MMS					-16,8	-37,8	-69,8	-71,8
MWMS					-18,0	-49,5	-69,8	-71,8
Summe F-Gase					Veränderung ab 2005 in %			

	1995	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Entwicklung 1995 – 2014			-0,9	5,0				
MMS					1,7	-24,0	-63,0	-65,5
MWMS					0,2	-38,3	-63,0	-65,5

Anmerkung: <sup>a</sup> Für die F-Gase HFKW, FKW, SF6, NF3 sowie nicht spezifizierter Mix ist das Basisjahr im Rahmen der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls 1995.

Quelle: UBA (ZSE, NIR), Modellrechnungen Öko-Institut

### 3.1.12 Landwirtschaft

#### 3.1.12.1 Methodik

Die Projektion für die Umfänge der Flächennutzung, Tierhaltung und der Erträge erfolgt auf Basis der Thünen-Baselineprojektion (Offermann 2016). 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 Projektionen beruhen auf den im Juli 2015 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 2015 – 2025 bedeutet dies im Wesentlichen, dass das mit der EU-Verordnung Nr. 1307/2013 beschlossene neue Direktzahlungssystem sowie dessen nationale Umsetzung bis zum Jahr 2025 fortgeführt wird. Dies beinhaltet u. a. das sogenannte „Greening“ der Direktzahlungen sowie 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 Offermann et al. (2016) und für die Emissionsberechnungen durch GAS-EM in Rösemann et al. (voraußichtlich 2017) beschrieben.

Das Zieljahr der Baselineprojektion ist das Jahr 2025. Die Aktivitätsumfänge werden für die Jahre 2030 und 2035 statisch fortgeschrieben, mit Ausnahme des Energiepflanzeneinsatzes für die Biogasproduktion, der mit den Annahmen zum Anlagenbestand für die Berechnungen des Energiesektors abgestimmt wurden. Für die in den Szenarien MMS und MWMS 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 modelliert.

Die Angaben der historischen Aktivitätsdaten und Emissionen für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 stammen aus der Resubmission 2016 vom November 2016. Das ist erforderlich um die Konsistenz der Gesamtergebnisse zu gewährleisten, da in anderen Sektoren die Resubmission vom November 2016 für die historischen Emissionen verwendet wurde. Die Unterschiede zwischen der Resubmissionen vom November 2016 und der Submission 2017 liegen für das Jahr 1990 bei 0,2 % und für das Jahr 2014 bei 0,4 % für die Gesamtemissionen des Landwirtschaftssektors.

### 3.1.12.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre 2020, 2025, 2030 und 2035 abgeleitet. Tabelle 3-88 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 verändert sich gegenüber heute nicht wesentlich, der Geflügelbestand nimmt dagegen etwas zu.

Der Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen erreicht im Jahr 2020 ein Maximum und halbiert sich danach bis zum Jahr 2035 aufgrund des Auslaufens der EEG-Förderung für Biogasanlagen auf NaWaRo-Basis (Tabelle 3-89).

Tabelle 3-88: Entwicklung der Tierbestände 1990-2035, Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 belegte Stallplätze

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 Stallplätze							
Milchkühe	6.355	4.236	4.183	4.296	4.327	4.399	4.399	4.399
andere Rinder	13.133	8.800	8.629	8.447	8.390	8.271	8.271	8.271
Schweine	26.502	22.743	22.244	23.667	22.619	22.677	22.677	22.677
Geflügel	113.879	120.560	128.900	180.421	187.737	192.162	192.162	192.162
Pferde	499	508	462	461	478	485	485	485
Schafe und Ziegen	3.356	2.813	2.395	2.016	2.315	2.291	2.291	2.291

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-89: Entwicklung des Einsatzes von Energiepflanzen in Biogasanlagen 1990 – 2035 in kt Trockenmasse

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	kt Trockenmasse							
Entwicklung der Trockenmasse der zu vergärenden Energiepflanzen	3,4	3.175	11.461	20.382	22.613	21.689	14.851	11.035

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-90 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. Dabei werden die leicht steigenden Emissionen aus der tierischen Verdauung (Fermentation) durch leicht sinkende Emissionen aus der Düngerwirtschaft aufgrund eines erhöhten Anteils, der in Biogasanlagen genutzt wird, kompensiert. Nach 2020 kommt der Rückgang der Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen hinzu.

Tabelle 3-90: Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990 – 2035 in kt CH<sub>4</sub>

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Fermentation	1.386,6	997,3	986,2	995,3	1.007,0	1.017,7	1.017,7	1.017,7
Düngerwirtschaft	322,9	275,2	253,7	249,8	234,2	225,5	225,5	225,5
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	9,8	32,4	54,0	58,9	56,5	38,7	28,7
<b>Gesamte Methan-emissionen</b>	<b>1.709,5</b>	<b>1.282,2</b>	<b>1.272,3</b>	<b>1.299,1</b>	<b>1.300,0</b>	<b>1.299,7</b>	<b>1.281,9</b>	<b>1.272,0</b>
ggü. 1990 in %					-24,0 %	-24,0 %	-25,0 %	-25,6 %
ggü. 2005 in %					1 %	1 %	0 %	-1 %

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-91: Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mineraldüngereinsatz	2.164	1.778	1.569	1.675	1.613	1.613	1.613	1.613
Wirtschaftsdüngerausbringung	1.152	943	945	997	1.014	1.040	1.040	1.040
Ernterückstände	484	586	571	688	613	618	618	618

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016. Wirtschaftsdünger aus tierischen Ausscheidungen ohne Gärreste aus pflanzlichen Gärsubstraten.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Seit 1990 hat der N-Mineraldüngereinsatz trotz steigender Erträge und zurückgehender Wirtschaftsdüngermenge deutlich um 20 bis 25 % abgenommen. Dabei ist der N-Mineraldüngereinsatz erheblichen Schwankungen unterworfen: Von 1990 bis 1994 ist er stark gefallen (auf 1.612 kt), im Jahr 2000 wurden 2.014 kt erreicht, danach kam es wieder zu einem Rückgang mit erheblichen jährlichen Schwankungen. Neben dem Rückgang der Landwirtschaftsfläche um 7 % zwischen 1990 und 2014 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 etwas unter dem Niveau von 2014. 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, aber unter dem Wert für 2014. Im Jahr 2014 wurden deutlich überdurchschnittliche Erntemengen erzielt, entsprechend hoch lag die N-Menge in Ernteresten.

Tabelle 3-92: Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N<sub>2</sub>O

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Düngerwirtschaft	17,1	13,4	13,2	13,0	12,6	12,3	12,3	12,3
Landwirtschaftliche Böden	96,5	84,4	82,9	91,5	89,8	90,3	88,1	86,9

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	0,3	0,8	1,0	0,9	0,9	0,6	0,5
<b>Gesamte Lachgasemissionen</b>	<b>113,6</b>	<b>98,2</b>	<b>96,9</b>	<b>105,5</b>	<b>103,4</b>	<b>103,5</b>	<b>101,0</b>	<b>99,6</b>
ggü. 1990 in %					-9,0 %	-8,9 %	-11,1 %	-12,3 %
ggü. 2005 in %					5,3 %	5,4 %	2,9 %	1,5 %

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Die gesamten Lachgas-Emissionen aus der Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Böden und der Düngerwirtschaft gehen den Annahmen zufolge von 2020 bis 2035 gegenüber dem Jahr 1990 um zwischen 9,0 und 12,3 % zurück. Gegenüber dem Jahr 2005 liegen die Emissionen in diesem Zeitraum etwas höher. Die Zunahme der Lachgasemissionen im Vergleich zu 2005 ist vor allem auf den leichten Anstieg der Wirtschaftsdüngermengen und den Anstieg der N-Menge in Ernteresten zurückzuführen.

Tabelle 3-93: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO<sub>2</sub>

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Kalkung	2.704	1.727	1.738	2.242	2.164	2.164	2.164	2.164
Harnstoffanwendung	480	598	587	698	811	811	811	811
<b>Gesamte CO<sub>2</sub> Emissionen</b>	<b>3.184</b>	<b>2.325</b>	<b>2.325</b>	<b>2.940</b>	<b>2.975</b>	<b>2.975</b>	<b>2.975</b>	<b>2.975</b>
ggü. 1990 in %					-6,6 %	-6,6 %	-6,6 %	-6,6 %
ggü. 2005 in %					27,9 %	27,9 %	27,9 %	27,9 %

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), 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 2014 zu beobachten. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Harnstoffanwendung und Kalkung sinken gegenüber 1990 um knapp 7 %, gegenüber 2005 ergibt sich ein Anstieg um etwa 28 %.

Tabelle 3-94: Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO<sub>2</sub>Äquivalenten

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	kt CO <sub>2</sub> e							
CH <sub>4</sub> Emissionen	42.737	32.055	31.807	32.479	32.500	32.494	32.049	31.800
N <sub>2</sub> O Emissionen	33.849	29.250	28.882	31.445	30.800	30.833	30.091	29.677
CO <sub>2</sub> Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.975	2.975	2.975	2.975
<b>Gesamtemissionen</b>	<b>79.770</b>	<b>63.631</b>	<b>63.015</b>	<b>66.836</b>	<b>66.276</b>	<b>66.302</b>	<b>65.115</b>	<b>64.453</b>

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	kt CO <sub>2</sub> e							
<b>onnen</b>								
ggü. 1990 in %					-16,9 %	-16,9 %	-18,4 %	-19,2 %
ggü. 2005 in %					4,2 %	4,2 %	2,3 %	1,3 %

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Die Gesamtemissionen der Landwirtschaft sinken gegenüber 1990 bis zum Jahr 2035 um 19,2 %. Im Vergleich zu 2005 ergibt sich ein Anstieg um 1,3 %.

### 3.1.12.2.1 Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Im MMS Szenario wird für die Landwirtschaft mit einer Zunahme der Güllevergärung in Biogasanlagen gerechnet und ein Ausbau des Ökolandbaus angenommen. 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 3-95 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 3-95: 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 2014.
Ausbau Ökolandbau	Statt eines weiteren Aufbaus des Flächenanteils des ökologischen Landbaus stagniert der Flächenanteil auf dem Niveau von 2014.

Tabelle 3-96 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 3-96: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO <sub>2</sub> e			
Mehr Gülle in Biogasanlagen	Anreiz	0	531	531	531
Ausbau Ökolandbau	Anreiz	34	68	102	136
<b>Summe der Einzelmaßnahmen</b>		<b>34</b>	<b>599</b>	<b>633</b>	<b>666</b>

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

### 3.1.12.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Im MWMS geht die Mineraldüngereinsatzmenge unter der Annahme, dass die Novelle der Düngeverordnung zu einer deutlichen Erhöhung der N-Ausnutzung in der landwirtschaftlichen Produktion und

einer Reduzierung von Verlusten führt, gegenüber dem MMS um 20 % zurück (Tabelle 3-97). Die angenommene Erhöhung der N-Ausnutzung impliziert es, dass weiterhin hohe Erträge erzielt werden. Daher geht die N-Menge aus Ernteresten gegenüber dem MMS nicht zurück.

Tabelle 3-97: Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mineraldüngereinsatz	2.164	1.778	1.569	1.675	1.290	1.290	1.290	1.290
Wirtschaftsdüngerausbringung	1.152	943	945	998	1.014	1.040	1.040	1.040
Ernterückstände	484	586	571	688	613	618	618	618

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Durch den angenommenen, reduzierten N-Mineraldüngereinsatz gehen die Lachgasemissionen bis 2035 gegenüber 1990 um 17,6 % zurück, gegenüber 2005 liegt der Rückgang bei 4,6 % (Tabelle 3-98). Der Rückgang des N-Mineraldüngereinsatzes hat auch Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus der Harnstoffanwendung. Da mit dem Mineraldünger z.B. im Fall von Kalkammonalsalpeter, auch Kalk ausgebracht wird, geht auch die CO<sub>2</sub>-Emission aus der Kalkanwendung etwas zurück (Tabelle 3-99).

Tabelle 3-98: Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N<sub>2</sub>O

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Düngerwirtschaft	17,1	13,4	13,2	13,0	12,6	12,3	12,3	12,3
Landwirtschaftliche Böden	96,5	84,4	82,9	91,5	83,5	84,4	82,1	80,9
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	0,3	0,8	1,0	0,9	0,9	0,6	0,5
<b>Gesamte Lachgasemissionen</b>	<b>113,6</b>	<b>98,2</b>	<b>96,9</b>	<b>105,5</b>	<b>97,1</b>	<b>97,6</b>	<b>95,0</b>	<b>93,6</b>
ggü. 1990 in %					-14,5 %	-14,1 %	-16,3 %	-17,6 %
ggü. 2005 in %					-1,1 %	-0,6 %	-3,2 %	-4,6 %

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-99: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO<sub>2</sub>

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Kalkung	2.704	1.727	1.738	2.242	2.126	2.126	2.126	2.126
Harnstoffanwendung	480	598	587	698	649	649	649	649
<b>Gesamte CO<sub>2</sub> Emissionen</b>	<b>3.184</b>	<b>2.325</b>	<b>2.325</b>	<b>2.940</b>	<b>2.775</b>	<b>2.775</b>	<b>2.775</b>	<b>2.775</b>
ggü. 1990 in %					-12,8 %	-12,8 %	-12,8 %	-12,8 %
ggü. 2005 in %					19,3 %	19,3 %	19,3 %	19,3 %

- Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.
- Quelle: UBA (ZSE, NIR), Berechnungen des Thünen-Instituts

Die Gesamtemissionen der Landwirtschaft sinken gegenüber 1990 bis zum Jahr 2035 um 21,7 %. Im Vergleich zu 2005 ergibt sich ein Rückgang um 1,8 %.

Tabelle 3-100: Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO<sub>2</sub>e

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
kt CO <sub>2</sub> e								
CH <sub>4</sub> Emissionen	42.737	32.055	31.807	32.479	32.500	32.494	32.049	31.800
N <sub>2</sub> O Emissionen	33.849	29.250	28.882	31.445	28.927	29.072	28.319	27.899
CO <sub>2</sub> Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.775	2.775	2.775	2.775
<b>Gesamtemissionen</b>	<b>79.770</b>	<b>63.631</b>	<b>63.015</b>	<b>66.863</b>	<b>64.202</b>	<b>64.340</b>	<b>63.142</b>	<b>62.474</b>
ggü. 1990 in %					-19,5 %	-19,3 %	-20,8 %	-21,7 %
ggü. 2005 in %					0,9 %	1,1 %	-0,8 %	-1,8 %

- Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

- Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

### 3.1.12.3.1 Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Im MWMS Szenario wird für die Landwirtschaft die Umsetzung der Novelle der Düngeverordnung und die Umsetzung der NERC-Richtlinie angenommen. Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des MWMS erfolgt gegenüber einem Ohne-Maßnahmen-Szenarios (OMS) (OMS entspricht MMS ohne die jeweils genannte Maßnahme. Im Rahmen des OMS wird unterstellt, dass die betroffene Einzelmaßnahme nicht existiert und somit keine Wirkung entfalten kann. Die folgende Tabelle 3-101 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 3-101: Ausgestaltung des Vergleichszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario ( <i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i> )
Novelle der Düngeverordnung	Ohne die Änderung des Düngerechts kommt es zu keiner Verbesserung der N-Ausnutzung und Senkung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse. Derer N-Mineraldüngereinsatz in der Landwirtschaft bleibt daher auf dem Niveau von 2014 bestehen.
Umsetzung NERC-Richtlinie	Die Ammoniakemissionen der Landwirtschaft bleiben auf dem Niveau von 2014 bestehen.

Tabelle 3-102 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 3-102: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO <sub>2</sub> e			
Novelle der Düngeverordnung	Ordnungsrecht	2.192	2.192	2.192	2.192
Umsetzung NERC-Richtlinie	Ordnungsrecht	433	546	788	705
<b>Summe der Einzelmaßnahmen</b>		<b>2.625</b>	<b>2.738</b>	<b>2.980</b>	<b>2.897</b>

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

### 3.1.12.4 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Bis zum Jahr 2014 wurden die Emissionen der Landwirtschaft um gut 16 % gegenüber 1990 reduziert, waren allerding 5 % höher als 2005. Bis zum Jahr 2020 sinken die Emissionen im MMS um fast 17 % und im MWMS um knapp 20 % gegenüber 1990. Bis zum Jahr 2035 werden Emissionsminderungen von 19 % im MMS und 22 % im MWMS gegenüber 1990 erwartet. Die Emissionen sind 2035 im MMS gut 1 % höher als im Jahr 2005, im MWMS hingegen knapp 2 % niedriger. Die Emissionsänderungen wirken sich recht gleichmäßig auf alle Treibhausgase aus, sodass es nur zu geringen Verschiebungen in den Anteilen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O an den Emissionen der Landwirtschaft kommt.

Tabelle 3-103: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	3,2	2,3	2,3	2,9				
MMS					3,0	3,0	3,0	3,0
MWMS					2,8	2,8	2,8	2,8
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	42,7	32,1	31,8	32,5				
MMS					32,5	32,5	32,0	31,8
MWMS					32,5	32,5	32,0	31,8
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	33,8	29,3	28,9	31,4				
MMS					30,8	30,8	30,1	29,7
MWMS					28,9	29,1	28,3	27,9
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	79,8	63,6	63,0	66,9				
MMS					66,3	66,3	65,1	64,5
MWMS					64,2	64,3	63,1	62,5
<b>Veränderung ab 1990 in %</b>								
Entwicklung 1990 – 2014		-20,2	-21,0	-16,2				
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O								

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
MMS					-16,9	-16,9	-18,4	-19,2
MWMS					-19,5	-19,3	-20,8	-21,7
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O								
Veränderung ab 2005 in %								
Entwicklung 1990 – 2014			-1,0	5,1				
MMS					4,2	4,2	2,3	1,3
MWMS					0,9	1,1	-0,8	-1,8

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen Thünen-Institut und Öko-Institut

### 3.1.13 LULUCF

#### 3.1.13.1 Methodik

Für die Aktivitätsdaten im LULUCF-Sektor nach 2015 werden die Veränderungen der Submission 2017 fortgeschrieben. Das heißt, dass die Flächengrößen für die Landnutzungsänderungen von 2015 auch in derselben Größenordnung für die Folgejahre angenommen werden. Ausnahmen sind die festgelegten Maßnahmen, die im Kapitel 2.8.9 beschrieben sind. Daraus ergeben sich entsprechend die Flächen für die Verbleibkategorien (Remaining) (UBA 2017b)<sup>73</sup>.

In der Landnutzungskategorie Wald werden die Emissionsfaktoren für den organischen und mineralischen Boden sowie der Streu über das Jahr 2015 hinaus linear fortgeschrieben. Für den Pool Totholz wird ab dem Jahr 2016 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 2016 die Entwicklung der Biomassevorräte im Wald ermittelt. WEHAM schätzt die Entwicklung des Waldes und das Rohholzpotenzial für die nächsten vier Jahrzehnte als ein mögliches 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 2016 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 2014 beziehen sich auf die Inventar Submission aus dem November 2016. Das ist erforderlich um die Konsistenz der Gesamtergebnisse zu gewährleisten, da in anderen Sektoren die Resubmission vom November 2016 für die historischen Emissionen verwendet wurde. Die Unterschiede zwischen der Resubmission vom November 2016 und der Submission 2017 liegen für das Jahr 1990 bei 0,1 % und für das Jahr 2014 bei 0,7 % für die Gesamtemissionen/-einbindungen des LULUCF-Sektors.

#### 3.1.13.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Im unterstellten Szenario reduziert sich die Senkenwirkung der Wälder durch veränderte Holznutzung und Verschiebung des Altersklassenverhältnisses von ursprünglich ca. 75 Mio. t CO<sub>2</sub>-Eq. in 1990

<sup>73</sup> Der Nationale Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015 wird am 15. April unter UNFCCC veröffentlicht

auf ein Minimum von ca. 11 Mio. t CO<sub>2</sub>-Eq. 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 3-104 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Aktivitätsdaten und Tabelle 3-105 die Treibhausgasemissionen des LULUCF-Sektors für die Jahre 1990-2035. Die aktuellsten verfügbaren Monitoringdaten für die Abbildung der Kohlenstoffvorräte im Wald beruhen auf dem Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012. Die Daten für 2014 entsprechen methodenbedingt einer Extrapolation im Sinne einer vorläufigen Angabe. Sobald Daten für die nächste Periode 2013-2017 aus der nächsten Waldinventur vorliegen werden, die in den Jahren 2017/18 durchgeführt wird, wird eine Rekalkulation für den Zeitraum 2013 bis 2017 durchgeführt werden.

Der LULUCF-Sektor entwickelt sich im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 von einer Senke in eine Quelle für Treibhausgase. Dies ergibt sich aus der mit dem Modell WEHAM projizierten Vorratsentwicklung der Kohlenstoffvorräte im Wald. Hierzu werden die Daten aus dem WEHAM-Basiszenario verwendet, das die momentan üblichen waldbaulichen Zielsetzungen aufgrund der Erfahrung der letzten Jahre und die Erwartungen an die kommenden Jahre abzubilden versucht. Der Zuwachs der Kohlenstoffvorräte im Wald geht gegenüber der Vorperiode zurück, weil mehr Waldbestände die Nutzungsreife erreichen und unter Fortschreibung der forstlichen Praxis mehr Holzentnahmen stattfinden werden. Solche großen Schwankungen des Zuwachses an Kohlenstoffvorräten im Wald sind keineswegs einmalig. Auch für die historischen Daten der Waldinventuren zeigt die Zeitreihe einen stark schwankenden Verlauf. Beispielsweise ging der jährliche C-Vorratsaufbau im Wald vom Jahr 2000 zum Jahr 2005 um 35 Mio t CO<sub>2</sub> zurück. Die Emissionen aus Ackerland gehen aufgrund der Annahme, dass es ab dem Jahr 2015 zu keinen relevanten Umwandlungen von Grünland in Ackerland mehr kommt, bis 2035 deutlich zurück. Die Emissionen aus den anderen Landnutzungssektoren weisen nur geringe Änderungen auf. Die durch die erwartete Vorratsveränderung im Forstbereich veränderten THG-Emissionen übertreffen alle Maßnahmen-bedingten Änderungen in den anderen Sektoren im MMS-Szenario. (Tabelle 3-105).

Die Ergebnisse des MMS-Szenario unterteilt nach den Treibhausgasen sind in Tabelle 3-104 - Tabelle 3-108 dargestellt.

Tabelle 3-104: Entwicklung der Aktivitätsdaten [1000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

	MMS-Szenario							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[1.000 ha]								
Wald	10.929	11.109	11.131	11.155	11.203	11.253	11.303	11.355
Ackerland	13.633	13.275	13.431	13.491	13.303	13.162	13.027	12.897
Grünland	7.345	7.149	6.785	6.534	6.531	6.599	6.669	6.742
Feuchtgebiete	710	712	724	729	736	742	748	754
Siedlungen	3.081	3.505	3.686	3.851	3.987	4.005	4.014	4.014
Sonstiges	82	30	22	20	20	19	19	18
<b>Σ LULUCF</b>	<b>35.780</b>							

Anmerkung: Die Angaben der historischen Aktivitätsdaten für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-105: Entwicklung der Treibhausgasemissionen [kt CO<sub>2</sub>e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

#### MMS-Szenario

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[kt CO <sub>2</sub> e]								
Wald	-75.288	-40.711	-57.995	-57.841	-11.656	-33.569	-22.034	-21.415
Ackerland	12.921	12.350	14.308	14.735	14.006	13.584	12.185	10.996
Grünland	26.133	24.772	23.780	22.753	22.804	22.897	22.837	22.738
Feuchtgebiete	4.128	4.235	4.074	3.949	4.152	4.208	4.263	4.317
Siedlungen	1.886	2.005	3.267	3.398	3.456	3.267	2.999	2.730
Holzprodukte	-1.330	-15.044	-4.066	-2.300	-3.680	782	-1.076	-659
Sonstiges	163	196	213	229				
<b>Σ LULUCF</b>	<b>-31.279</b>	<b>-12.110</b>	<b>-16.323</b>	<b>-14.977</b>	<b>29.081</b>	<b>11.169</b>	<b>19.174</b>	<b>18.707</b>

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016. Die Emissionen aus der Kategorie Sonstiges sind durch technische Probleme in der CRF-Reporter-Software bedingt und gehören zu den anderen Landnutzungskategorien. Bei den Projektionen sind diese in den entsprechenden Kategorien berücksichtigt.

Quelle: UBA (ZSE, NIR), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-106: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen [kt CO<sub>2</sub>e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[kt CO <sub>2</sub> e]								
Wald	-75.539,2	-40.907,9	-58.173,6	-58.005,0	-11.822,4	-33.738,6	-22.206,1	-21.584,5
Ackerland	12.469,9	11.931,2	13.811,9	14.201,5	13.486,6	13.095,6	11.835,2	10.761,8
Grünland	25.538,1	24.198,6	23.242,4	22.231,6	22.186,1	22.279,4	22.219,3	22.120,4
Feuchtgebiete	4.064,3	4.172,9	4.010,0	3.883,9	4.085,0	4.138,5	4.191,8	4.244,4
Siedlungen	1.811,9	1.924,2	3.175,2	3.299,2	3.191,6	3.024,9	2.785,2	2.544,4
Holzprodukte	-1.330,4	-15.043,6	-4.066,0	-2.299,9	-3.680,5	782,0	-1075,5	-658,7
<b>Σ LULUCF</b>	<b>-32.985,4</b>	<b>-13.724,7</b>	<b>-18.000,1</b>	<b>-16.688,8</b>	<b>27.446,4</b>	<b>9.581,7</b>	<b>17.749,9</b>	<b>17.427,8</b>

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-107: Entwicklung der CH<sub>4</sub>-Emissionen [kt CH<sub>4</sub>] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[kt CH <sub>4</sub> ]								
Wald	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9
Ackerland	7,8	8,2	9,4	9,9	9,9	9,7	9,5	9,4
Grünland	23,8	22,8	21,36	20,7	20,5	20,4	20,3	20,1
Feuchtgebiete	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9
Siedlungen	NO	NO	NO	NO	1,7	1,8	1,9	1,9
Sonstiges	1,0	1,3	1,5	1,7				
<b>Σ LULUCF</b>	<b>35,0</b>	<b>34,6</b>	<b>34,7</b>	<b>34,6</b>	<b>34,7</b>	<b>34,5</b>	<b>34,3</b>	<b>34,1</b>

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016. Die Emissionen aus der Kategorie Sonstiges sind durch technische Probleme in der CRF-Reporter-Software bedingt und gehören zu den anderen Landnutzungskategorien. Bei den Projektionen sind diese in den entsprechenden Kategorien berücksichtigt.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

Tabelle 3-108: Entwicklung der N<sub>2</sub>O-Emissionen [kt N<sub>2</sub>O] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035

	MMS-Szenario: N <sub>2</sub> O-Emissionen							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[kt N <sub>2</sub> O]							
Wald	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ackerland	0,9	0,7	0,9	1,0	1,2	0,9	0,8	0,4
Grünland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,4
Feuchtgebiete	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Siedlungen	0,25	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6
Sonstiges	0,5	0,5	0,6	0,6				
<b>Σ LULUCF</b>	<b>2,8</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	<b>1,9</b>

Anmerkung: Die Angaben für die Jahre 1990, 2005, 2010 und 2014 beziehen sich auf die Inventar Resubmission vom November 2016. Die Emissionen aus der Kategorie Sonstiges sind durch technische Probleme in der CRF-Reporter-Software bedingt und gehören zu den anderen Landnutzungskategorien. Bei den Projektionen sind diese in den entsprechenden Kategorien berücksichtigt.

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts

### 3.1.13.2.1 Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Im MMS Szenario wird für den LULUCF Sektor mit einer verringerten Flächeninanspruchnahme gerechnet und ein dauerhafter Erhalt des Grünlandes angenommen. 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 3-109 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 3-109: 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 2014 geht die Dauergrünlandfläche entsprechend des Trends von 2000-2014 weiter kontinuierlich ab.

Tabelle 3-110 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 3-110: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	2020	2025	2030	2035
			kt CO <sub>2</sub> e	

Maßnahme	2020	2025	2030	2035
	kt CO <sub>2</sub> e			
Verringerte Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr	-519,4	-1.072,9	-1.660,6	-2.283,0
Grünlandeerhaltung	-811,0	-1.426,5	-2.029,0	-2.618,5
Summe der Einzelmaßnahmen	-1.330,4	-2.499,4	-3.689,6	-4.901,5

### 3.1.13.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Da es keine über das MMS hinausgehenden Maßnahmen gibt, decken sich die Ergebnisse mit dem MMS.

### 3.1.13.4 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Da es im LULUCF-Sektor für das MWMS keine über das MMS hinausgehenden Maßnahmen gibt, sind die LULUCF-Emissionen in beiden Szenarien gleich.

Tabelle 3-111: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des LULUCF-Sektors zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	-33,0	-13,7	-18,0	-16,7				
MMS					27,4	9,6	17,7	17,4
MWMS					27,4	9,6	17,7	17,4
<b>CH<sub>4</sub>-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	0,9	0,9	0,9	0,9				
MMS					0,9	0,9	0,9	0,8
MWMS					0,9	0,9	0,9	0,8
<b>N<sub>2</sub>O-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	0,8	0,7	0,8	0,8				
MMS					0,8	0,7	0,6	0,4
MWMS					0,8	0,7	0,6	0,4
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	-31,3	-12,1	-16,3	-15,0				
MMS					29,1	11,2	19,2	18,7
MWMS					29,1	11,2	19,2	18,7
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Veränderung ab 1990 in %								
Entwicklung 1990 – 2014		-61,3	-47,8	-52,1				
MMS					-193,0	-135,7	-161,3	-159,8
MWMS					-193,0	-135,7	-161,3	-159,8

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2014			34,8	23,7				
MMS					-340,1	-192,2	-258,3	-254,5
MWMS					-340,1	-192,2	-258,3	-254,5

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen des Thünen-Instituts

Anmerkung: In der Abgrenzung des NIR: nur nicht-energetische Emissionen

### 3.1.14 Abfallwirtschaft

#### 3.1.14.1 Methodik

Basierend auf dem vom Öko-Institut entwickelten Multi-Phasen-Abfallmodell (Emissionen der Deponierung, Quellgruppe 5.A) werden die statistischen Daten der Emissionsberichterstattung 2016 als Rahmendaten eingesetzt (UBA 2016a). Die Methanemissionen aus Deponien in Deutschland resultieren aus:

- den, in den Deponien noch verbliebenen Resten, abbaubarer Bestandteile von unvorbehandelten Abfällen, die vor 2005 und ausnahmeweise 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 dem Rückgang der Einwohnerzahl etwas zurückgehen. 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 ab<sup>74</sup>.

Für die Emissionen aus den Anlagen der Bioabfallbehandlung (5.B) werden die in Kompostierungs-(5.B.1) und Vergärungsanlagen (5.B.1) eingesetzten Mengen (StBA 2001-2015) mit den jeweiligen Emissionsfaktoren (Cuhls et al. 2015; UBA 2016a) für Methan und Lachgas verknüpft. Statistische Informationen des Jahres 2014 werden, mit Ausnahme der getrennt erfassten und kompostierten Bioabfälle, linear fortgeschrieben und bei der Berechnung der Projektionen verwendet.

Für die Unterquellgruppen kommunale Abwasserbehandlung (5.D) und andere (5.E) werden die einwohnerspezifischen Daten aus dem Inventarbericht 2016 unverändert fortgeschrieben.

#### 3.1.14.2 Annahmen und Parameter im MMS

Im MMS werden folgende Maßnahmen und Trends betrachtet:

- a) Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie in den Jahren 2013 und 2014
- b) Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz und Fortsetzung des Trends zur Erweiterung von Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe

<sup>74</sup> Für nähere Details zum Modell vgl. UBA (2016a).

## **Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie in den Jahren 2013 und 2014**

Das Programm sollte ursprünglich 2014 auslaufen. 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**

Infolge der Umsetzung der Vorgaben aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz von 2012 zur getrennten Erfassung von Bioabfällen wird angenommen, dass die getrennt erfasste Bioabfallmenge bis 2030 um 2 Mio. Mg je Jahr ansteigen wird und danach konstant bleibt. Das heißt die getrennt erfasste Menge an Bioabfall steigt jedes Jahr um ca. 133 Mg an. Wegen dem Trend zur Umrüstung von reinen Kompostierungsanlagen zu kombinierten Vergärungsanlagen mit Nachrotte, wird angenommen, dass etwa ein Drittel des Anstiegs sich auf reine Kompostierungsanlagen und etwa zwei Drittel auf Vergärungsanlagen auswirkt.

#### **3.1.14.3 Annahmen und Parameter im MWMS**

Im MWMS werden folgende Maßnahmen und Trends betrachtet:

- a) Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Verlängerung des Förderprogramms in den Jahren 2015 und 2016
- b) Umsetzung von emissionsmindernden Maßnahmen in Vergärungsanlagen gemäß dem Entwurf zur Anpassung der TA-Luft vom 09.09.2016

### **Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Verlängerung des Förderprogramms in den Jahren 2015 und 2016**

Durch Weiterführung und Intensivierung dieser Maßnahme im Rahmen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020, insbesondere durch vermehrte Information und Motivation der betroffenen Akteure sowie Erhöhung der maximalen Zuwendung, sollte die Zahl der belüfteten Deponien auf 25 bis 30 Deponien in den Jahren 2015 bis 2018 gesteigert werden. 2015 und 2016 wurden 12 Projekte zur Belüftung bewilligt.

Zur Modellierung der bewilligten Belüftungsprojekte im Rahmen dieser Maßnahme wurden Angaben zu den geplanten Reduktionsmengen je Antragsteller vom Projektträger Jülich zur Verfügung gestellt. Bei zwei Anlagen lagen nicht nachvollziehbare Angaben vor. Hier wurde der Mittelwert der restlichen Projekte angenommen.

### **Umsetzung von emissionsmindernden Maßnahmen in Vergärungsanlagen gemäß dem Entwurf zur Anpassung der TA-Luft vom 09.09.2016**

Gemäß Nr. 5.4.8.6.2 „Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen und Anlagen mit anaerober und aerober Betriebseinheit sowie Anlagen, die Bioabfälle in Kofermentation mitverarbeiten“ des Entwurfs zur Anpassung der TA-Luft vom 09.09.2016 muss die aerobe Behandlung von Gärresten, insbesondere die Entnahme aus dem Fermenter und die Aerobisierung geschlossen erfolgen. Das Abgas muss gereinigt werden.

Für die Modellierung wird angenommen, dass die geforderten Maßnahmen zur Fassung und Reinigung des Abgases aus der Gärrestentnahme und Behandlung sich nur auf die Methanemissionen auswirken

wird. Nach einer fachlichen Abschätzung des Öko-Instituts ist eine Reduktion der Methanemissionen aus den Vergärungsanlagen bis zu 90 % realistisch (vgl. z.B. Dehoust et al. (2010)). Für die Modellierung wird mit einer Reduktion um 80 % gerechnet. Laut Entwurf sollen die Anpassungen zur TA-Luft 5 Jahre nach in Kraft treten der Novelle umgesetzt sein. Praxiserfahrungen zeigen, dass eine Verzögerung um zwei Jahre nicht unrealistisch ist. Es wird angenommen, dass die Verbesserungen ab 2018 beginnen und 2025 abgeschlossen sind. Dadurch reduziert sich der in UBA 2016 angesetzte Emissionsfaktor für Methanemissionen aus der Vergärung von 2,80 kg Methan je Mg Bioabfall im Jahr 2020 durchschnittlich auf 2,52 kg, 2025 auf 1,96 kg und ab 2030 auf 0,56 kg Methan je Mg Bioabfall.

### **3.1.14.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios**

#### **Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie in den Jahren 2013 und 2014**

Eine systematische Auswertung der erreichbaren Reduktion der Methanemissionen liegt nicht vor. Für 2013 und 2014 wurde eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von ca. 15.400 Mg CH<sub>4</sub> bzw. 385.000 Mg CO<sub>2</sub>e insgesamt oder 2.200 Mg CH<sub>4</sub> bzw. 55.000 Mg CO<sub>2</sub>e je Projekt geschätzt (Butz 2016). Diese Abschätzung wird der Berechnung zugrunde gelegt. Es wird dazu angenommen, dass diese Reduktion gleichmäßig über die Jahre 2015 bis 2035 verteilt erreicht wird. Demzufolge ist der Reduktionsbeitrag der Maßnahme 1.027 Mg CH<sub>4</sub> bzw. 25.567 Mg CO<sub>2</sub>e je Jahr. Im Jahr 2015 werden die Gesamtemissionen aus den Deponien dadurch um etwa 0,3 % reduziert, im Jahr 2035 um 0,9 %.

#### **Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz**

Sowohl durch die Zunahme der Behandlungsmengen als auch durch die Umrüstung auf Vergärungsanlagen werden die Gesamtemissionen aus der Bioabfallbehandlung gesteigert: Bei Kompostierungsanlagen um etwa 0,5 % im Jahr 2020 bis 1,5 % ab 2030, bei Vergärungsanlagen um etwa 1,6 % im Jahr 2020 bis 4,7 % ab 2030. Insgesamt entspricht dies für die Bioabfallbehandlung einem Anstieg um etwa 310.800 Mg Methan je Jahr bzw. 1,1 % im Jahr 2020 bis 932.400 Mg Methan je Jahr bzw. 3,3 % ab 2030.

### **3.1.14.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios**

#### **Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Verlängerung des Förderprogramms in den Jahren 2015 und 2016**

Daten zu den jährlichen Methanemissionen der projektierten Deponien oder Deponieabschnitte liegen genauso wenig vor wie Daten zu dem betroffenen Ablagerungsvolumen und -alter. Deshalb sind nur grobe Abschätzungen zu den erreichbaren Einsparungen der Klimagasemissionen möglich.

Für die 2015 und 2016 insgesamt 12 angenommenen Deponielbelüftungsprojekte wurden Planeinsparungen von insgesamt 922.000 Mg CO<sub>2</sub>e bzw. durchschnittlich 76.833 Mg CO<sub>2</sub>e je Projekt angegeben<sup>75</sup>. Das entspricht einer Reduktion der Methanemissionen im Deponegas um insgesamt 26.880 Mg je Jahr. Die prognostizierten Plan-Einsparungen sollen 2030 bzw. 2040 erreicht werden. Für die Bilanz wird angenommen, dass diese Reduktion gleichmäßig über die Jahre 2015 bis 2035 verteilt erreicht wird. Sie wirkt sich zum ersten Mal 2017 mit 1.320 Mg Methan bzw. 33.000 Mg CO<sub>2</sub>e je Jahr aus, ab 2018 mit 1.844 Mg Methan bzw. 46.100 Mg CO<sub>2</sub>e je Jahr.

Im Jahr 2015 werden die Gesamtemissionen aus den Deponien gegenüber dem MMS dadurch etwa um 0,2 % reduziert, im Jahr 2035 etwa um 2,3 %.

---

<sup>75</sup> Dabei ist die Korrektur von nicht auswertbaren Datenangaben bei zwei Projekten

## Umsetzung von emissionsmindernden Maßnahmen in Vergärungsanlagen gemäß dem Entwurf zur Anpassung der TA-Luft vom 09.09.2016

Durch die modellierte Maßnahme zur Emissionsminderung in Vergärungsanlagen gehen die Methan-Emissionen aus der Bioabfallbehandlung 2020 um 4,8 Mg (16,8 %), ab 2025 um gut 13 Mg (ca. 45 %) je Jahr zurück. Das entspricht einem Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 121 Gg je Jahr im Jahr 2020 und von 333 Gg je Jahr ab 2025.

### 3.1.14.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im MMS und MWMS

Bis zum Jahr 2014 wurden die Emissionen der Abfallwirtschaft bereits um knapp 70 % gegenüber 1990 bzw. fast 46 % gegenüber 2005 reduziert. Bis zum Jahr 2020 sinken die Emissionen um 77 % bis 78 % gegenüber 1990 bzw. 59 % bis 60 % gegenüber 2005. Bis zum Jahr 2035 werden Emissionsminderungen von 87 % bis 88 % gegenüber 1990 bzw. 76 % bis 78 % gegenüber 2005 erzielt. Die künftigen Minderungen finden dabei vor allem bei den Methanemissionen statt, die 2020 etwa 3 Mt CO<sub>2</sub>e niedriger sind als 2014. Bis zum Jahr 2035 werden die Methanemissionen im MMS um etwa 6,5 Mt CO<sub>2</sub>e reduziert, im MWMS um weitere 0,4 Mt CO<sub>2</sub>e.

Tabelle 3-112: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Abfallsektors zwischen 1990 und 2035 im MMS und MWMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	37,0	20,4	13,8	10,7				
MMS					7,8	6,2	5,0	4,2
MWMS					7,7	5,8	4,7	3,8
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1,0	0,8	0,8	0,8				
MMS					0,8	0,8	0,8	0,8
MWMS					0,8	0,8	0,8	0,8
<b>Summe CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	38,0	21,2	14,6	11,6				
MMS					8,6	7,0	5,9	5,0
MWMS					8,5	6,6	5,5	4,6
<b>Summe CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-44,1	-61,4	-69,5				
MMS					-77,3	-81,5	-84,5	-86,8
MWMS					-77,7	-82,5	-85,5	-87,8
<b>Summe CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 1990 – 2014			-31,1	-45,5				
MMS					-59,3	-67,0	-72,4	-76,3
MWMS					-60,1	-68,7	-74,1	-78,2

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen vom Thünen-Institut

## 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.<sup>76</sup> 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.<sup>77</sup> 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.<sup>78</sup> Zusätzlich ist zu beachten, dass in das nationale Treibhausgasinventar (UBA 2016a, 2016b) aus zeitlichen Restriktionen für das jeweils letzte veröffentlichte Jahr (in diesem Fall also für das Jahr 2014) noch nicht die endgültige Energiebilanz 2014 sondern nur die vorläufige, sogenannte „Schätzbilanz 2014“ berücksichtigt werden kann.

### 3.2.1 Primärenergieverbrauch

Die im Folgenden dargestellten Bilanzen des Primärenergieverbrauch (PEV) wurden mit Hilfe eines Modells generiert, an einigen Stellen durch Zusatz- und Anpassungsrechnungen ergänzt und folgen insgesamt dem Schema der Energiebilanzen.<sup>79</sup>

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

<sup>76</sup> Insbesondere der absolute Beitrag biogener Energieträger ist in den ZSE-Daten für manche Jahre deutlich höher als in der Energiebilanz.

<sup>77</sup> So betragen die statistischen Differenzen der Jahre 1990 bis 2014 im Median -77 PJ mit einer Schwankungsbreite zwischen -170 PJ und +115 PJ. Dies entspricht im Median etwa 0,5 % des Primärenergieverbrauchs bzw. 0,8 % des Endenergieverbrauchs.

<sup>78</sup> Der modellierte PEV ist im Mittel um 0,9 % höher und der EEV im Mittel um 1,3 % höher als der jeweils von AGEb veröffentlichte.

<sup>79</sup> 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.

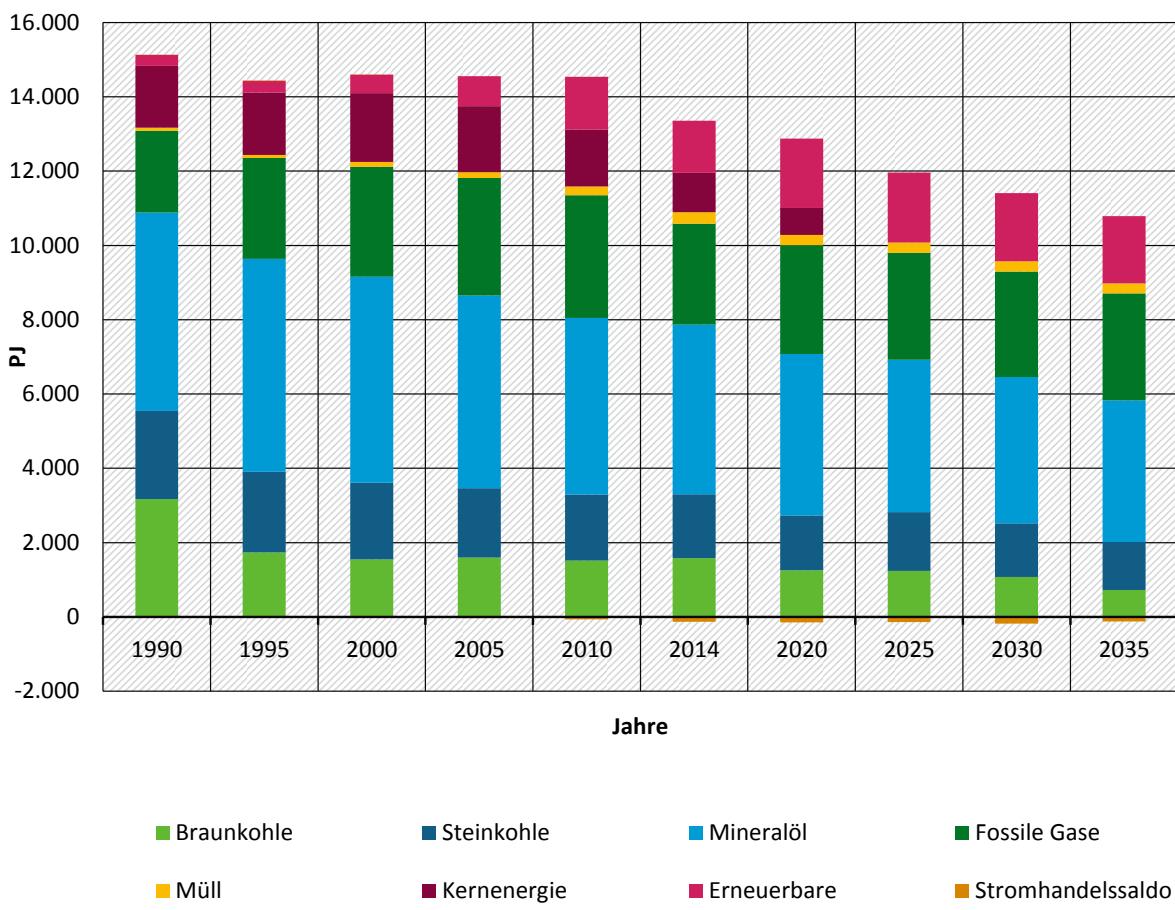
Um eine möglichst umfassende Vergleichbarkeit der Energiedaten zu gewährleisten wurden für die Ermittlung der Energiebedarfsdaten die nachstehenden Konventionen getroffen:

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 Primärenergieermitlung voll berücksichtigt.

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.<sup>80</sup> 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.<sup>81</sup> 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 des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-19: Primärenergieverbrauch im Mit-Maßnahmen-Szenario



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko-Institut

Der Primärenergieverbrauch sinkt im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) von 14.496 PJ im Jahr 2008<sup>82</sup> auf 10.668 PJ im Jahr 2035 (-26 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs, wie Abbildung 3-19 und Tabelle 3-113 zeigen.

<sup>80</sup> Auch das Stromaußenhandelssaldo wird primärenergieseitig mit einem Wirkungsgrad von 100 % bewertet.

<sup>81</sup> Der nicht-energetische Verbrauch fossiler Energieträger wurde über ein einfaches Modell basierend auf den Produktionsdaten der chemischen Industrie ermittelt, beträgt etwa 1000 PJ und steigt im Zeitverlauf sehr leicht an.

<sup>82</sup> Das Jahr 2008 wurde als Vergleichsjahr gewählt, da das Energiekonzept der Bundesregierung Primärenergieverbrauchs-minderungsziele gegenüber diesem Jahr formuliert hat (20 % bis 2020 und 50 % bis 2050).

Der Verbrauch von Mineralölen und Kohlen nimmt zwischen 2014 und 2035 deutlich ab: So sinkt der Primärenergieverbrauch von Mineralöl um 748 PJ (-16 %) über den Betrachtungszeitraum und der Verbrauch von Kohlen geht um 1.291 PJ (-39 %) zurück. Dabei ist der Rückgang von Braunkohle (-54 %) deutlich stärker als der von Steinkohle (-25 %). Der Einsatz der Kernenergie zur Stromerzeugung geht aufgrund des Atomausstiegs nach 2022 auf null zurück. Der Verbrauch an fossilen Gasen steigt bis 2035 um 160 PJ (+6 %) gegenüber 2014, wobei dies unter anderem daran liegt, dass 2014 ein außergewöhnlich warmes Jahr mit entsprechend niedrigem Heizenergiebedarf war.

Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich zwischen dem Basisjahr 2014 und dem Ende der Analyse im Jahr 2035 ein Anstieg des Verbrauchs um 413 PJ (+30 %) einstellt. In erster Linie ist das auf ein deutliches Ansteigen der Windenergie um 518 PJ, und damit das Dreieinhalfache des Beitrags aus dem Jahr 2014. Wind ist im Jahr 2035 mit 725 PJ der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger. Im Jahr 2035 trägt die Biomasse 181 PJ bzw. 17 % weniger als 2014 zum Primärenergieverbrauch bei, bleibt aber weiterhin wichtigster erneuerbarer Energieträger mit etwa 48 % des Einsatzes aller erneuerbaren Energieträger von insgesamt 1.813 PJ. Der verbleibende regenerative Primärenergieverbrauch von 210 PJ verteilt sich auf Wasserkraft, Solarenergie sowie Geothermie und Umweltwärme. Damit werden die Erneuerbaren zusammen nach Mineralöl und fossilen Gasen zum drittweitwichtigsten Energieträger. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger steigt von fast 11 % im Jahr 2014 auf knapp 17 % im Jahr 2035.

Der absolute Beitrag von Müll ist leicht rückläufig und 2035 um 40 PJ (-13 %) niedriger als 2014. Das negative Stromaußenhandelssaldo (also der Stromexportüberschuss) steigt zunächst bis 2030 deutlich an, liegt 2035 dann aber wieder in etwa auf dem Niveau von 2014.

Tabelle 3-113: Primärenergieverbrauch im MMS 2008-2035

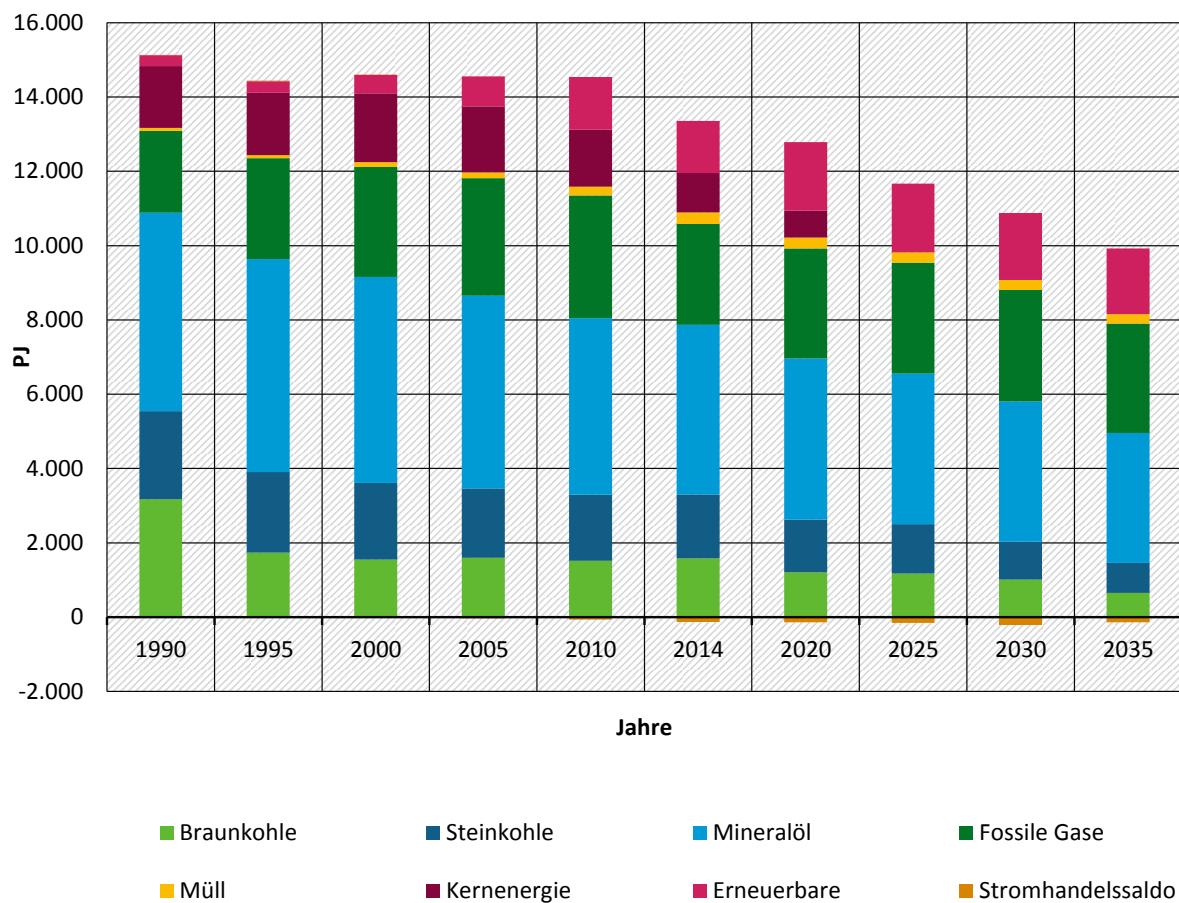
Energieträger	2008	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.580	1.254	1.239	1.078	726
Steinkohle	1.823	1.779	1.725	1.474	1.584	1.441	1.288
Mineralöl	4.968	4.756	4.561	4.347	4.100	3.940	3.814
Fossile Gase	3.219	3.301	2.719	2.927	2.881	2.837	2.879
Müll	194	236	310	280	277	273	270
Kernenergie	1.623	1.534	1.059	728	0	0	0
Biomasse <sup>a</sup>	934	1.165	1.059	1.247	1.183	1.017	878
Windenergie	146	136	206	454	514	623	725
Wasserkraft	73	76	71	77	76	75	75
Solarenergie	15	19	26	43	58	70	81
Geothermie und Umweltwärme	16	19	38	46	52	54	54
Stromhandelssaldo	-81	-64	-128	-149	-139	-182	-122
<b>PEV gesamt<sup>b</sup></b>	<b>14.496</b>	<b>14.473</b>	<b>13.227</b>	<b>12.729</b>	<b>11.824</b>	<b>11.226</b>	<b>10.668</b>
<b>Änderung ggü. 2008</b>	<b>0,0 %</b>	<b>-0,2 %</b>	<b>-8,8 %</b>	<b>-12,2 %</b>	<b>-18,4 %</b>	<b>-22,6 %</b>	<b>-26,4 %</b>
<b>Erneuerbarer Anteil</b>	<b>8,2 %</b>	<b>9,8 %</b>	<b>10,6 %</b>	<b>14,7 %</b>	<b>15,9 %</b>	<b>16,4 %</b>	<b>17,0 %</b>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> einschließlich organischer Anteile des Mülls. <sup>b</sup> ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

### 3.2.1.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-20: Primärenergieverbrauch im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Der Primärenergieverbrauch sinkt im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) von 14.496 PJ im Jahr 2008<sup>83</sup> auf 9.781 PJ im Jahr 2035 (-32 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs, wie Tabelle 3-19 und Tabelle 3-89 zeigen.

Der Verbrauch von Mineralölen und Kohlen nimmt zwischen 2014 und 2035 stärker ab als im MMS: So sinkt der Primärenergieverbrauch von Mineralöl um 1.063 PJ (-23 %) über den Betrachtungszeitraum und der Verbrauch von Kohlen geht um 1.845 PJ (-56 %) zurück. Dabei ist der Rückgang von Braunkohle (-59 %) etwas stärker und der Rückgang von Steinkohle deutlich stärker (-53 %) als im MMS. Der Einsatz der Kernenergie zur Stromerzeugung geht wie auch im MMS aufgrund des Atomausstiegs nach 2022 auf null zurück. Der Verbrauch an fossilen Gasen steigt bis 2035 um 223 PJ (+8 %) gegenüber 2014 und damit stärker als im MMS.

Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich zwischen dem Basisjahr 2014 und dem Ende der Analyse im Jahr 2035 ein Anstieg des Verbrauchs um 366 PJ (+26 %) einstellt. In erster Linie ist das auf ein deutliches Ansteigen der Windenergie um

<sup>83</sup> Das Jahr 2008 wurde als Vergleichsjahr gewählt, da das Energiekonzept der Bundesregierung Primärenergieverbrauchsminderungsziele gegenüber diesem Jahr formuliert hat (20 % bis 2020 und 50 % bis 2050).

543 PJ, und damit das 3,6-fache des Beitrags aus dem Jahr 2014. Wind ist im Jahr 2035 mit 749 PJ der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger. Im Jahr 2035 trägt die Biomasse 256 PJ bzw. 24 % weniger als 2014 zum Primärenergieverbrauch bei, bleibt aber weiterhin wichtigster erneuerbarer Energieträger mit etwa 46 % des Einsatzes aller erneuerbaren Energieträger von insgesamt 1 766 PJ. Der verbleibende regenerative Primärenergieverbrauch von 214 PJ verteilt sich auf Wasserkraft, Solar-energie sowie Geothermie und Umweltwärme. Damit werden die Erneuerbaren zusammen nach Mineralöl und fossilen Gasen zum drittweitigsten Energieträger, der Anteil der erneuerbaren Energieträger steigt von fast 11 % im Jahr 2014 auf über 18 % im Jahr 2035.

Der absolute Beitrag von Müll ist leicht und 2035 um 54 PJ (-17 %) niedriger als 2014. Das negative Stromaußenhandelssaldo (also der Stromexportüberschuss) steigt zunächst bei 2030 deutlich und stärker als im MMS an, und liegt 2035 um 13 PJ (10 %) höher als im Jahr 2014.

Tabelle 3-114: Primärenergieverbrauch im MWMS 2008-2035

Energieträger	2008	2010	2014	2020	2025	2030	2035
PJ							
Braunkohle	1.566	1.516	1.580	1.205	1.173	1.009	652
Steinkohle	1.823	1.779	1.725	1.417	1.333	1.024	808
Mineralöl	4.968	4.756	4.561	4.338	4.051	3.773	3.498
Fossile Gase	3.219	3.301	2.719	2.963	2.985	3.003	2.942
Müll	194	236	310	293	278	269	256
Kernenergie	1.623	1.534	1.059	728	0	0	0
Biomasse <sup>a</sup>	934	1.165	1.059	1.219	1.147	972	803
Windenergie	146	136	206	454	514	623	749
Wasserkraft	73	76	71	77	76	75	75
Solarenergie	15	19	26	43	57	70	80
Geothermie und Umweltwärme	16	19	38	47	54	58	59
Stromhandelssaldo	-81	-64	-128	-143	-158	-210	-141
<b>PEV gesamt<sup>b</sup></b>	<b>14.496</b>	<b>14.473</b>	<b>13.227</b>	<b>12.641</b>	<b>11.510</b>	<b>10.666</b>	<b>9.781</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-0,2 %	-8,8 %	-12,8 %	-20,6 %	-26,4 %	-32,5 %
Erneuerbarer Anteil	8,2 %	9,8 %	10,6 %	14,6 %	16,1 %	16,9 %	18,1 %

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> einschließlich organischer Anteile des Mülls. <sup>b</sup> ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

### 3.2.2 Endenergieverbrauch

Energiebilanz und Nationales Treibhausgasinventar verwenden unterschiedliche Abgrenzungen der einzelnen Sektoren. Die folgende Tabelle 3-115 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.<sup>84</sup>

Tabelle 3-115: Vergleich der Zuordnung der CRF-Sektoren 1.A.2 bis 1.A.5 und der Endenergie-Sektoren in der Energiebilanzstruktur

Beschreibung	CRF-Sektor	Endenergie-sektor	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
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

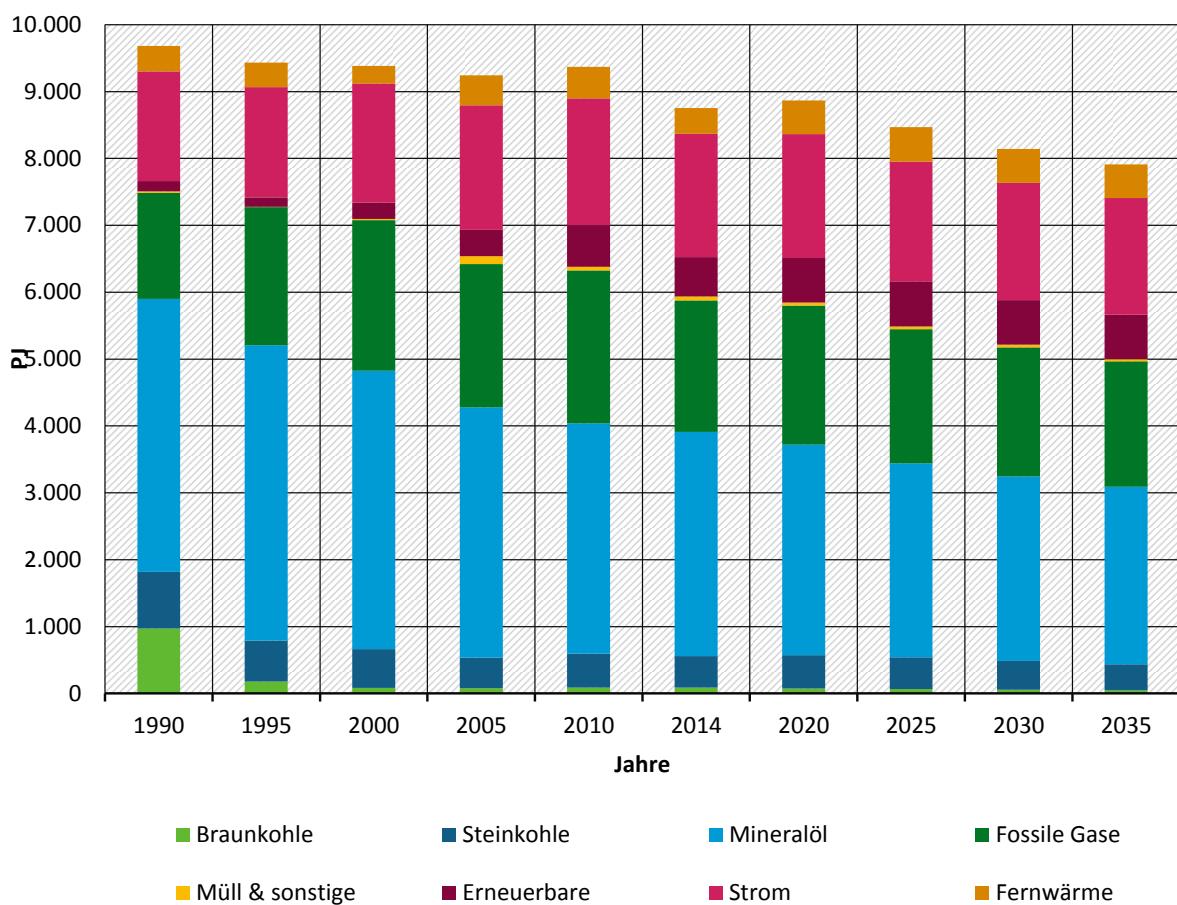
### 3.2.2.1 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Der gesamte Endverbrauch ist leicht rückläufig. Er sinkt von 8.753 PJ im Jahr 2014 auf 8.468 PJ im Jahr 2025 und 7.909 PJ im Jahr 2035, was einem Rückgang von 3 % bzw. 10 % entspricht.

Wie beim Primärenergieverbrauch entwickeln sich die einzelnen Energieträgergruppen unterschiedlich (siehe Tabelle 3-116 und Abbildung 3-21). Der Verbrauch von Braunkohlen nimmt von 2014 bis 2025 um etwa 28 % und bis 2035 um 47 % ab. Der Einsatz von Steinkohlen, der im Wesentlichen auf den Sektor Industrie entfällt (v.a. Metallerzeugung), geht ab 2020 bis 2035 um 17 % gegenüber 2014 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. Bei Erdgas ist bis 2020 noch ein leichter Zuwachs zu verzeichnen. Dann geht der Verbrauch aber bis 2035 auf ein Niveau von 5 % unter den Verbrauch von 2014 zurück.

<sup>84</sup> Der so im Modell ermittelte gesamte Endenergieverbrauch liegt für die historischen Jahre 1990 bis 2014 im Mittel etwa 1 % höher, wobei die Abweichung mit 2,2 % im Jahr 1990 am höchsten und mit 0,4 % im Jahr 2013 am geringsten ist.

Abbildung 3-21: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer- ISI und Öko- Institut

Der Beitrag der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch nimmt im Szenariozeitraum nur leicht zu (+13 % von 588 PJ auf 663 PJ), hauptsächlich durch Wachstum bei Solarenergie, Geothermie und Umweltwärme. Das Wachstum dieser Technologien wird allerdings ab 2020 vom rückläufigen Biomasseeinsatz nahezu ausgeglichen. Der gesamte Endenergieverbrauch an Strom bleibt zunächst konstant, sinkt aber ab 2020 leicht um gut 5 %.

Tabelle 3-116: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS (2014-2035)

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
				PJ	

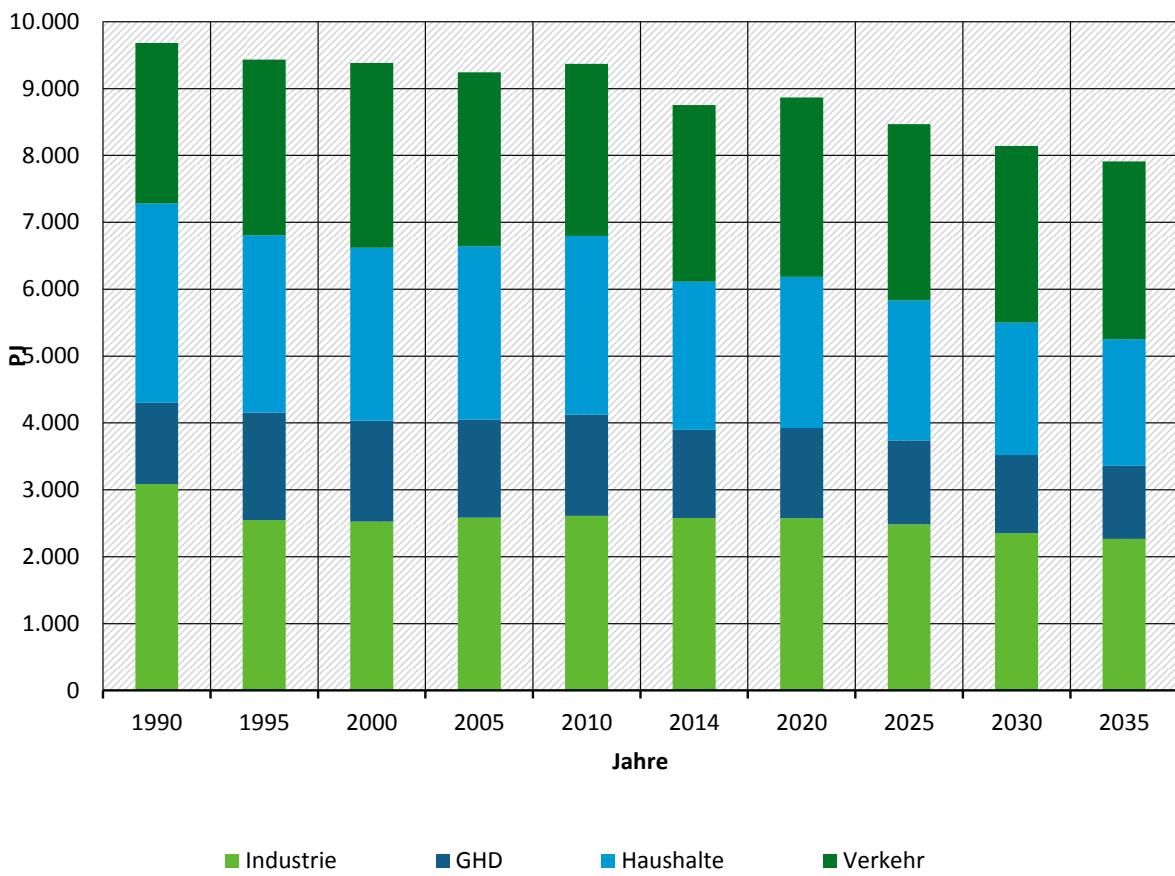
Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	87	75	63	55	46
Steinkohle	469	496	475	430	390
Mineralöl	3.354	3.148	2.901	2.758	2.656
Fossile Gase	1.965	2.081	2.006	1.933	1.872
Müll	54	46	41	38	35
Sonstige	6	0	0	0	0
Biomasse <sup>a</sup>	524	577	566	543	528
Solarenergie	26	43	58	70	81
Geothermie und Umweltwärme	38	46	52	54	54
Strom	1.846	1.852	1.789	1.753	1.743
Fernwärme	383	503	516	511	502
<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>	<b>8.753</b>	<b>8.867</b>	<b>8.468</b>	<b>8.144</b>	<b>7.909</b>
<b>Änderung ggü. 2014</b>	<b>0,0 %</b>	<b>1,3 %</b>	<b>-3,3 %</b>	<b>-7,0 %</b>	<b>-9,6 %</b>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Die Entwicklungen in den einzelnen Sektoren fallen dabei sehr unterschiedlich aus (siehe Abbildung 3-22 und Tabelle 3-117). Allen Sektoren gemeinsam ist ein etwa gleich bleibender Verbrauch bis 2020. Während der Endenergiebedarf in der Industrie bis 2035 um 12 % zurückgeht, sinkt der Bedarf im GHD-Sektor um 17 %. Vor allem aufgrund von Wärmeschutzmaßnahmen im Gebäudebereich und effizienterer Anlagentechnik geht der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte bis 2035 um 14 % zurück. Keine signifikante Veränderung ergibt sich im Verkehr, der Endenergieverbrauch bleibt nahezu konstant.

Abbildung 3-22: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-117: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS (2014--2035)

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Industrie	2.580	2.574	2.483	2.353	2.268
GHD	1.319	1.350	1.255	1.166	1.092
Haushalte	2.215	2.260	2.095	1.980	1.891
Verkehr	2.638	2.683	2.635	2.644	2.658
<b>Endenergieverbrauch</b>	<b>8.753</b>	<b>8.867</b>	<b>8.468</b>	<b>8.144</b>	<b>7.909</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	1,3 %	-3,3 %	-7,0 %	-9,6 %

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

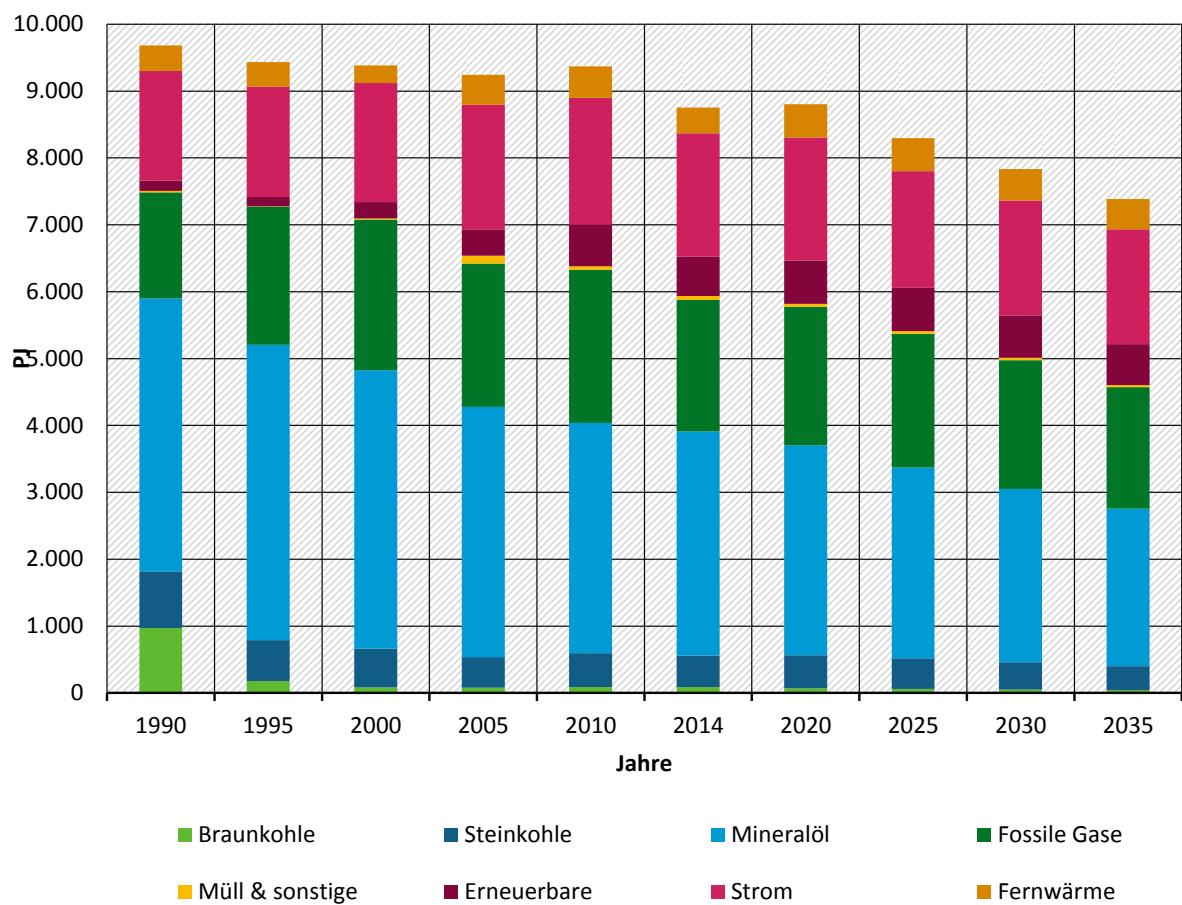
### 3.2.2.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Der Endenergieverbrauch ist stärker rückläufig als im MMS. Er sinkt nach einem minimalen Anstieg bis 2020 von 8.753 PJ im Jahr 2014 auf 7.385 PJ im Jahr 2035 (Rückgang von 16 %).

Auch hier entwickeln sich die einzelnen Energieträgergruppen unterschiedlich (siehe Abbildung 3-23 und Tabelle 3-118). Der Verbrauch von Braunkohlen nimmt von 2014 bis 2035 um 53 % ab. Der Einsatz von Steinkohlen, der im Wesentlichen auf den Sektor Industrie entfällt (v.a. Metallerzeugung), geht bis 2035 um ein Viertel zurück (MMS: 17 %). Bei den Mineralölprodukten inkl. Flugkraftstoffen verstärkt sich der Rückgang auf 30 % bis 2035 (MMS: 21 %). Beim Erdgas ist der Rückgang wie im MMS gering (8 %).

Der Beitrag der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch nimmt im MWMS noch weniger zu als im MMS (+4 % auf 609 PJ), weil der Einsatz der Biomasse deutlich früher und stärker zurückgeht. Beim Strom ist die Entwicklung mit dem MMS vergleichbar (minus 5 % gegenüber 2014).

Abbildung 3-23: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS



Quelle: AGEB (2008a-2016, 2008b-2016), (UBA 2016a, 2016b), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-118: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS (2014-2035)

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
			PJ		

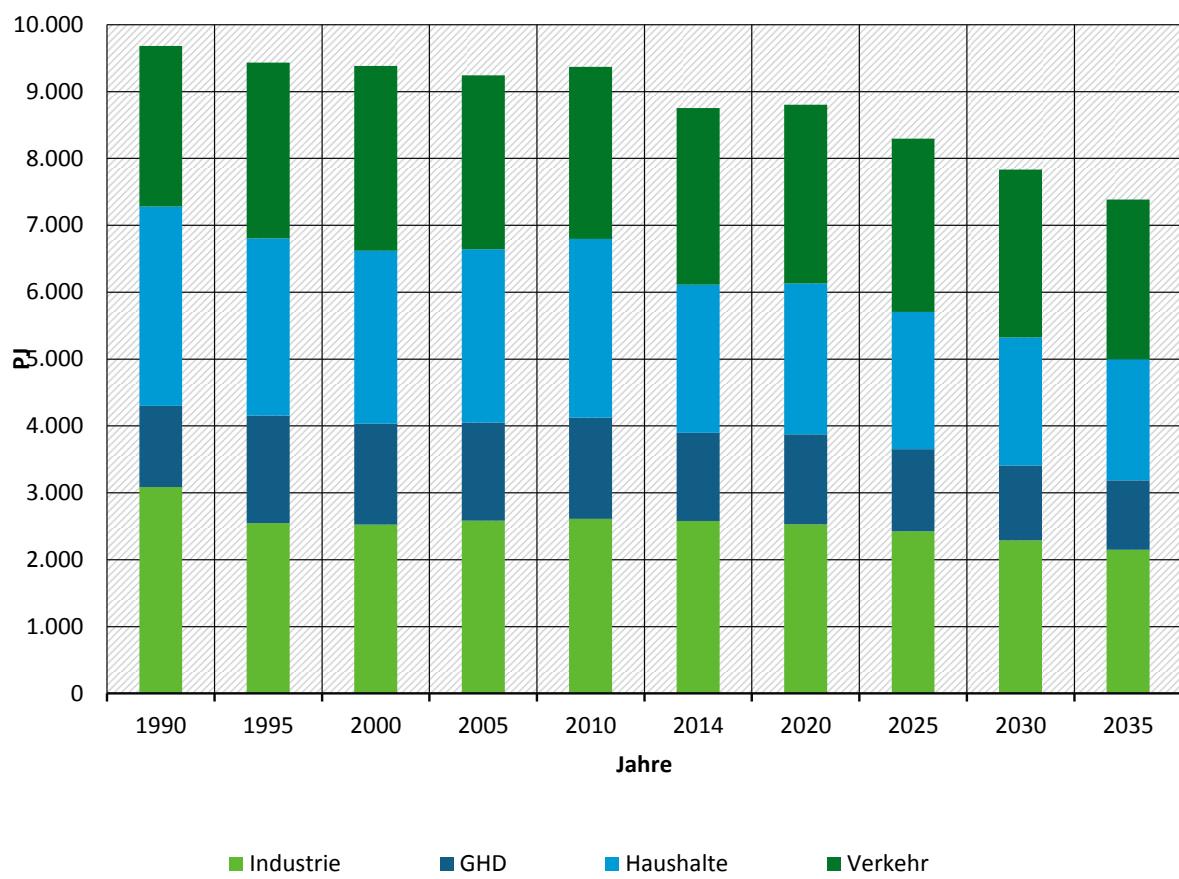
Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	87	71	58	50	41
Steinkohle	469	491	460	407	359
Mineralöl	3.354	3.140	2.852	2.594	2.355
Fossile Gase	1.965	2.069	1.997	1.922	1.816
Müll	54	46	41	36	33
Sonstige	6	0	0	0	0
Biomasse <sup>a</sup>	524	560	539	507	470
Solarenergie	26	43	57	70	80
Geothermie und Umweltwärme	38	47	54	58	59
Strom	1.846	1.837	1.745	1.716	1.720
Fernwärme	383	499	493	473	451
<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>	<b>8.753</b>	<b>8.804</b>	<b>8.297</b>	<b>7.834</b>	<b>7.385</b>
<b>Änderung ggü. 2014</b>	<b>0,0 %</b>	<b>0,6 %</b>	<b>-5,2 %</b>	<b>-10,5 %</b>	<b>-15,6 %</b>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Auch im MWMS bleibt der Endenergieverbrauch der Sektoren bis 2020 etwa konstant (siehe Abbildung 3-24 und Tabelle 3-119), sinkt danach aber deutlich stärker (insgesamt minus 16 % ggü. 10 % im MMS). Insbesondere bei der Industrie werden im MWMS stärkere Einsparungen erzielt (-17 % ggü. -12 %), bei GHD und Haushalten ist der Vorsprung gegenüber dem MMS kleiner (-21 % ggü. -17 % bei GHD bzw. -18 % ggü. -14 % bei den Haushalten). Dagegen werden im Verkehr insbesondere durch den Ausbau der Elektromobilität Einsparungen erzielt, wo das MMS einen in etwa konstanten Energieverbrauch aufweist (-10 %).

Abbildung 3-24: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-119: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS (2014-2025)

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Industrie	2.580	2.531	2.425	2.290	2.147
GHD	1.319	1.341	1.227	1.120	1.037
Haushalte	2.215	2.259	2.054	1.916	1.815
Verkehr	2.638	2.673	2.590	2.508	2.387
<b>Endenergieverbrauch</b>	<b>8.753</b>	<b>8.804</b>	<b>8.297</b>	<b>7.834</b>	<b>7.385</b>
Änderung ggü. 2014	0,0 %	0,6 %	-5,2 %	-10,5 %	-15,6 %

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

### 3.3 Gesamte energie- und prozessbedingte Treibhausgasemissionen

#### 3.3.1 Emissionen aus Verbrennungsprozessen

Die summarische Entwicklung der CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen für das Mit-Maßnahmen-Szenario und das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario sind – einschließlich der den internationalen Bunkerungen zuzurechnenden Emissionen – in Tabelle 3-120 zusammengestellt.

Über den gesamten Zeitraum bis 2035 werden gegenüber 1990 Emissionsminderungen von gut 42 % im MMS und knapp 50 % im MWMS erzielt, dies entspricht -31 % bzw. -39 % gegenüber 2005. Dabei sind CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen von untergeordneter Bedeutung, das dominierende Treibhausgas ist verbrennungsbedingtes CO<sub>2</sub>. Im Jahr 2020 beträgt die Minderung, bezogen auf 1990, im MMS 30 % (-308 Mt CO<sub>2</sub>e) und im MWMS 31 % (-317 Mt CO<sub>2</sub>e). Der Unterschied ist 2020 noch relativ klein, weil die modellierten zusätzlichen Maßnahmen bis 2020 nicht in vollem Umfang greifen. Erst nach 2020 unterscheiden sich die Szenarien deutlich und erzielen die eingangs genannten Minderungen von 42 % bzw. 50 %.

Tabelle 3-120: Emissionsentwicklungen für die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen nach Gasen, 1990–2035

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1.004,1	838,0	813,4	773,5				
MMS					697,6	685,0	639,9	580,1
MWMS					689,3	656,6	590,0	506,2
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	5,3	2,1	3,5	3,9				
MMS					5,0	4,7	3,8	2,9
MWMS					5,1	4,8	3,9	3,0
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	6,9	5,2	5,7	5,7				
MMS					5,4	5,3	4,9	4,4
MWMS					5,3	5,1	4,6	3,9
<b>Summe CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	1.016,3	845,4	822,6	783,1				
MMS					707,9	695,0	648,6	587,4
MWMS					699,6	666,4	598,6	513,1
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-16,8	-19,1	-22,9				
MMS					-30,3	-31,6	-36,2	-42,2
MWMS					-31,2	-34,4	-41,1	-49,5
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 2005 – 2014			-2,7	-7,4				

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
MMS					-16,3	-17,8	-23,3	-30,5
MWMS					-17,2	-21,2	-29,2	-39,3

Anmerkung: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR; mit CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung sowie mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Die Entwicklung der Emissionen unterscheidet sich zwischen den einzelnen Brennstoffen, wie Tabelle 3-121 und Tabelle 3-122 zeigen. Zwei Gruppen sind erkennbar: Die Emissionen aus Mineralöl und Kohle gehen von 2014 bis 2035 sukzessive zurück (im MMS: -22 % beim Mineralöl; -54 % Braunkohle; -27 % Steinkohle), während die Emissionen aus Müll und Biomasse annähernd konstant bleiben und bei den fossilen Gasen (durch das größere Gewicht von vergleichsweise emissionsarmem Erdgas als Energieträger) sogar leicht ansteigen. In beiden Szenarien bleibt aber 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.

Im MWMS ist die Charakteristik ähnlich wie im MMS, aber die Rückgänge sind stärker, vor allem bei der Steinkohle (-57 % 2014–2035 ggü. -27 %) und beim Mineralöl (-31 % ggü. -22 %). Die Steinkohle gerät im MWMS in der Stromerzeugung unter Druck, wo der Anteil des Erdgases größer ist als im MMS. Emissionen aus Mineralöl im MWMS gehen durch die stärker wachsende Elektromobilität zurück. Die Emissionsminderung der Braunkohle (-59 % ggü. -54 %) ist ebenfalls stärker als im MMS, wenn auch der Unterschied geringer ist als bei den anderen Energieträgern.

Tabelle 3-121: Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Braunkohlen	345,1	178,1	168,3	175,2	138,6	137,1	119,2	79,8
Steinkohlen	203,6	165,7	160,5	152,6	128,4	139,1	126,0	112,0
Mineralöl	335,8	310,8	285,5	274,1	253,5	234,5	222,9	214,1
Fossile Gase	122,5	175,2	184,9	151,6	159,4	156,7	154,2	156,7
Müll	7,7	13,1	19,6	25,1	22,7	22,4	22,1	21,9
Biomasse <sup>a</sup>	0,5	1,2	2,8	3,6	4,7	4,4	3,4	2,5
<b>Brennstoffe gesamt</b>	<b>1.015,3</b>	<b>844,2</b>	<b>821,6</b>	<b>782,1</b>	<b>707,1</b>	<b>694,2</b>	<b>647,9</b>	<b>586,9</b>
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,5
<b>Gesamt inklusive REA</b>	<b>1.015,9</b>	<b>845,3</b>	<b>822,6</b>	<b>783,0</b>	<b>707,9</b>	<b>694,9</b>	<b>648,6</b>	<b>587,4</b>
ggü. 2005	20,2 %	0,0 %	-2,7 %	-7,4 %	-16,3 %	-17,8 %	-23,3 %	-30,5 %
ggü. 1990	0,0 %	-16,8 %	-19,0 %	-22,9 %	-30,3 %	-31,6 %	-36,2 %	-42,2 %
Nachrichtlich								
CO <sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung	21,8	59,3	108,5	98,5	115,1	108,9	93,5	80,3

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen vom Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Bezieht sich auf die CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen, also ohne CO<sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung

Tabelle 3-122: Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Braunkohlen	345,1	178,1	168,3	175,2	133,2	129,9	111,6	71,7
Steinkohlen	203,6	165,7	160,5	152,6	123,0	115,4	86,7	66,6
Mineralöl	335,8	310,8	285,5	274,1	252,9	230,8	210,6	190,8
Fossile Gase	122,5	175,2	184,9	151,6	161,4	162,7	163,9	160,6
Müll	7,7	13,1	19,6	25,1	23,7	22,5	21,8	20,7
Biomasse <sup>a</sup>	0,5	1,2	2,8	3,6	4,7	4,4	3,4	2,4
<b>Brennstoffe gesamt</b>	<b>1.015,3</b>	<b>844,2</b>	<b>821,6</b>	<b>782,1</b>	<b>698,9</b>	<b>665,7</b>	<b>597,9</b>	<b>512,7</b>
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,4
<b>Gesamt inklusive REA</b>	<b>1.015,9</b>	<b>845,3</b>	<b>822,6</b>	<b>783,0</b>	<b>699,6</b>	<b>666,4</b>	<b>598,5</b>	<b>513,1</b>
ggü. 2005	20,2 %	0,0 %	-2,7 %	-7,4 %	-17,2 %	-21,2 %	-29,2 %	-39,3 %
ggü. 1990	0,0 %	-16,8 %	-19,0 %	-22,9 %	-31,1 %	-34,4 %	-41,1 %	-49,5 %
Nachrichtlich								
CO <sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung	21,8	59,3	108,5	98,5	112,5	105,7	89,7	74,2

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen vom Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Bezieht sich auf die CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen, also ohne CO<sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung

### 3.3.2 Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung

Die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung unterscheiden sich kaum zwischen MMS und MWMS. In beiden Szenarien sinken die Gesamtemissionen bis 2035 um gut 53 % (gut 51 Mt CO<sub>2</sub>e) gegenüber 1990 und gut 40 % (knapp 38 Mt CO<sub>2</sub>e) gegenüber 2005. Auch hier ist CO<sub>2</sub> dominierend, wenn auch weniger als bei den verbrennungsbedingten Emissionen (etwa ¾). Da für den Rückgang der Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung ab 2014 hauptsächlich die HFKW<sup>85</sup> und SF<sub>6</sub> verantwortlich sind, steigt der Anteil des CO<sub>2</sub> bis 2035 auf über 80 Prozent.

HFKW und SF<sub>6</sub> sind nach CO<sub>2</sub> die größten Verursacher prozessbedingter Emissionen und tragen, wie erwähnt, auch hauptsächlich zur Minderung in diesem Bereich bei. Im Jahr 2020 ist bei den HFKW im MWMS ein Vorzieheffekt erkennbar, ansonsten sind die Szenarien identisch. NF<sub>3</sub> spielt nur eine marginale Rolle, ebenso gering ist der Beitrag der bereits weitgehend aus dem Markt verdrängten FKW und des bei Industrieprozessen und Produktverwendung wenig bedeutenden Methans (CH<sub>4</sub>). Die N<sub>2</sub>O-

<sup>85</sup> Gegenüber dem Projektionsbericht 2015 ist die neue Kategorie „nicht spezifizierter Mix“ hinzugekommen, der hauptsächlich aus HFKW-haltigen Gemischen besteht. Die Zahlen für fluorierte Treibhausgase sind damit nicht direkt mit der alten Bilanzierung vergleichbar.

Emissionen sind bereits in der Vergangenheit stark zurückgegangen und bleiben bis 2035 auf niedrigem Niveau konstant.

Tabelle 3-123: Emissionsentwicklungen für die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung nach Gasen, 1990–2035

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
CO <sub>2</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	59,3	52,2	45,8	44,8				
MMS					44,5	42,1	40,1	38,6
MWMS					44,5	42,1	40,0	38,3
CH <sub>4</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,3	0,6	0,5	0,5				
MMS					0,6	0,6	0,6	0,6
MWMS					0,6	0,6	0,6	0,6
N <sub>2</sub> O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	23,6	8,6	1,9	1,1				
MMS					1,2	1,2	1,2	1,2
MWMS					1,2	1,2	1,2	1,2
HFKW-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,1	8,8	9,9	10,8				
MMS					9,4	7,4	3,6	3,4
MWMS					9,1	5,4	3,6	3,4
FKW-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	3,1	0,8	0,3	0,2				
MMS					0,2	0,2	0,2	0,2
MWMS					0,2	0,2	0,2	0,2
SF <sub>6</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	4,3	3,3	3,0	3,4				
MMS					4,3	2,7	1,2	1,0
MWMS					4,3	2,7	1,2	1,0
NF <sub>3</sub> -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	0,0	0,0	0,1	0,0				
MMS					0,0	0,0	0,0	0,0
MWMS					0,0	0,0	0,0	0,0
Nicht spezifizierter Mix								
Entwicklung 1990 – 2014	5,7	0,9	0,4	0,2				
MMS					0,2	0,2	0,2	0,2

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
MWMS					0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Summe THG-Emissionen</b>								
Entwicklung 1990 – 2014	96,4	75,3	62,0	61,0				
MMS					60,3	54,4	47,0	45,1
MWMS					60,1	52,4	46,9	44,8
<b>Summe THG-Emissionen</b>					Veränderung ab 1990 in %			
Entwicklung 1990 – 2014		-21,9	-35,7	-36,7				
MMS					-37,4	-43,6	-51,3	-53,2
MWMS					-37,7	-45,7	-51,4	-53,5
<b>Summe THG-Emissionen</b>					Veränderung ab 2005 in %			
Entwicklung 2005–2014			-17,7	-19,0				
MMS					-19,9	-27,7	-37,6	-40,1
MWMS					-20,2	-30,4	-37,7	-40,5

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

### 3.4 Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen und deren Komponenten

Im Folgenden werden die Entwicklungen der Treibhausgasemissionen des Mit-Maßnahmen-Szenarios und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario jeweils auf zwei unterschiedlichen 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 Treibstoffbunkernungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie aus LULUCF nicht auf die Erreichung nationaler Klimaschutzziele in Deutschland angerechnet; dieser Konvention wird auch in diesem Bericht gefolgt.

#### 3.4.1 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

##### 3.4.1.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen

In Tabelle 3-124 ist die Entwicklung der Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O), teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung sind die Treibhausgasemissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie von LULUCF nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 2014 wurden in der nationalen Bilanz die Treibhausgasemissionen bereits um knapp 28 % gegenüber dem Jahr 1990 und um über 9 % gegenüber 2005 reduziert. Gegenüber dem Referenzjahr 1990 sinken die gesamten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um knapp 35 % (-18 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2030 um 41 % (-26 % gegenüber 2005). Die Ziele der Bun-

desregierung einer Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40 % bis 2020 und 55 % bis 2030 werden also im Mit-Maßnahmen-Szenario nicht erreicht.

Zwischen 1990 und 2014 wurden die jährlichen Emissionen von Kohlendioxid<sup>86</sup> um fast 25 % reduziert. Im Jahr 2035 werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen gut 44 % niedriger liegen als 1990. Historisch und auch in der Projektion ist CO<sub>2</sub> das Gas mit dem größten Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. 1990 hatte es einen Anteil von gut 84 %, 2014 sogar von fast 88 %. Bis 2035 wird dieser Anteil auf etwa 87 % zurückgehen. Die nicht in die Summe eingehenden und daher nur nachrichtlich ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verfeuerung von Biomasse vervielfachten sich zwischen 1990 und 2014 und werden ein Maximum etwa 2020 erreichen, um anschließend zurückzugehen.

Bei Methan sind die größten Emissionsminderungen bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen: CH<sub>4</sub> war 1990 nach CO<sub>2</sub> das bedeutendste Treibhausgas und hatte einen Anteil von fast 10 % an den Gesamtemissionen. Da aber die CH<sub>4</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2014 um 54 % reduziert werden konnten, sank der Anteil auf nur noch gut 6 %. Bis zum Jahr 2035 sinken die CH<sub>4</sub>-Emissionen um gut 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 2014 die Emissionen bereits um fast 41 % reduziert werden, sodass der Anteil an den Gesamtemissionen von 5 % auf 4 % sank. Anders als beim Methan sind beim Lachgas allerdings kaum weitere Emissionsreduktionen zu verzeichnen. 2035 werden die N<sub>2</sub>O-Emissionen nur leicht niedriger als 2014 sein. Daher steigt der Anteil der Lachgasemissionen wieder auf über 5 % im Jahr 2035.

Die fluorierten Treibhausgasemissionen hatten im Jahr 1990 einen Anteil von 1,1 %, der bis zum Jahr 2014 auf 1,6 % anstieg. Bis zum Jahr 2020 wird der Anteil leicht auf 1,7 % ansteigen, um anschließend bis 2035 auf 0,7 % abzusinken.<sup>87</sup>

Tabelle 3-124: Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MMS, 1990-2035

Treibhausgas	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) <sup>a</sup>	1.052,2	866,0	832,3	792,9	713,2	695,6	646,1	584,1
Methan (CH <sub>4</sub> )	119,2	68,4	58,1	55,5	51,2	49,2	46,7	44,7

<sup>86</sup> Nicht berücksichtigt sind hier – wie auch in den übrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen dieses Berichts die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse.

<sup>87</sup> Innerhalb der fluorierten Treibhausgase ist die Gruppe der teilfluorierten Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) im Jahr 2014 die bedeutendste. Zwischen 1995 (dem Referenzjahr für fluorierte Treibhausgase) und 2014 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 68 % unterhalb von 2014 erreicht, allerdings noch 31 % höher als 1995. Weil die Emissionen von perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) bis 2014 bereits um 89 % gegenüber 1995 reduziert wurden, sind hier zukünftig nur noch geringe Emissionsminderungen zu erwarten. Die Emissionen von Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) wurden bis 2014 um gut 47 % gegenüber 1995 reduziert. Da aber zunächst ein Anstieg der SF<sub>6</sub>-Emissionen projiziert wird, liegen die SF<sub>6</sub>-Emissionen 2020 nur noch 33 % niedriger als 1995. Dafür wird aber nach 2020 ein sehr deutlicher Rückgang erwartet, sodass die SF<sub>6</sub>-Emissionen bis 2035 um etwa 85 % gegenüber 1995 reduziert werden können. Nicht näher spezifizierter Mix aus HFKW und FKW wurde bis 2014 bereits um über 97 % gegenüber 1995 reduziert und wird etwa auf diesem Niveau bleiben. Die Emissionen von Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) haben ihr Maximum im Jahr 2010 erreicht, lagen 2014 aber immer um ein mehrfaches höher als 1995, hat aber auch zukünftig eine vernachlässigbare Bedeutung. Die Reduktionen gegenüber den Basisjahremissionen des Kyoto-Protokolls (hier wurden für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O 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	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	65,2	43,6	37,0	38,8	37,8	37,7	36,6	35,7
Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW)	0,1	8,8	9,9	10,8	9,4	7,4	3,6	3,4
Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)	3,1	0,8	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	4,3	3,3	3,0	3,4	4,3	2,7	1,2	1,0
Nicht spezifizierter Mix (HFKW/FKW)	5,7	0,9	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Stickstofftrifluorid (NF <sub>3</sub> )	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>816,4</b>	<b>793,1</b>	<b>734,5</b>	<b>669,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-17,7 %	-20,0 %	-25,9 %	-32,5 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-34,7 %	-36,5 %	-41,2 %	-46,5 %
ggü. Basisjahr	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-34,9 %	-36,7 %	-41,4 %	-46,6 %
Nachrichtlich:								
CO <sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung	21,8	59,3	108,5	98,5	115,1	108,9	93,5	80,3

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Ohne CO<sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung. <sup>b</sup> Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, die Basisjahremissionen wurden entsprechend berechnet

### 3.4.1.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im Mit-Maßnahmenszenario bieten Tabelle 3-125 sowie Abbildung 3-25.<sup>88</sup> 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 2014 bereits fast 28 % gegenüber dem Jahr 1990 bzw. um gut 9 % gegenüber dem Jahr 2005 gesunken. Bis zum Jahr 2020 werden die Emissionen auf knapp 35 % gegenüber 1990 (-18 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2035 um gut 46 % gegenüber 1990 (-33 % gegenüber 2005) sinken.

Mehr als die Hälfte der von 2014 bis zum Jahr 2035 erzielten Emissionsminderungen wird von der Energiewirtschaft erbracht. Die Emissionen sinken hier gegenüber 2014 absolut um 63 Mt CO<sub>2</sub>e bis 2020 und um 125 Mt CO<sub>2</sub>e bis 2035. Im Jahr 2020 entspricht das einer Minderung von 18 % gegenüber 2014 (-34 % ggü. 1990) und im Jahr 2035 einer Minderung von 36 % (-48 % ggü. 1990). War der Anteil der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen (ohne internationalen Verkehr und LULUCF) von gut 34 % im Jahr 1990 auf gut 38 % im Jahr 2014 angestiegen, sinkt er bis 2035 auf etwa 33 %.

Die energiebedingten Industrieemissionen sinken bis zum Jahr 2020 um knapp 7 Mt CO<sub>2</sub>-e bzw. etwa 6 % (39 % unterhalb von 1990), um danach bis 2035 um knapp 19 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 19 % gegenüber 2014 abzusinken (-48 % ggü. 1990). Insgesamt steigt der Anteil der Industrieemissionen von gut 13 % im Jahr 2014 auf knapp 15 % im Jahr 2035.

<sup>88</sup> Eine Übersicht der Emissionsentwicklung in den Sektordefinitionen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung bietet Tabelle A-5-3 und Tabelle A-5-4 im Anhang.

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen steigen bis 2020 um gut 3 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 8 % gegenüber 2014 (-52 % ggü. 1990) und sinken dann gegenüber dem Jahr 2014 um 12 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 29 % bis zum Jahr 2035 (-68 % 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 2014 bis 2020 um 11 % bzw. 9 Mt CO<sub>2</sub>e (-42 % ggü. 1990) und bis 2035 um 39 % bzw. 33 Mt CO<sub>2</sub>e (-60 % ggü. 1990). Zudem sinkt der Anteil der privaten Haushalte von 9 % im Jahr 2014 auf unter 8 % im Jahr 2035.

Im Verkehr werden nur geringe Emissionsreduktionen erreicht. Im Jahr 2020 ist eine Reduktion um 2 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 1 % gegenüber 2014 (-3 % ggü. 1990) und im Jahr 2035 um 12 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 8 % gegenüber 2014 (-9 % 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 2014 auf knapp 18 % und wird 2035 bei über 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 CO<sub>2</sub>e von 2014 bis 2020 und von 4 Mt CO<sub>2</sub>e bis 2035 entsprechen Rückgängen gegenüber 2014 um 28 % im Jahr 2020 (-80 % ggü. 1990) und 38 % im Jahr 2035 (-83 % ggü. 1990). 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, 2014 war der Anteil der Industrieprozesse bei knapp 7 % und dieser Anteil wird sich bis 2035 nicht viel ändern. Dennoch werden die Emissionen aus Industrieprozessen gegenüber dem Jahr 2014 bis 2020 um knapp 1 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 1 % (-37 % ggü. 1990) und bis 2035 um 16 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 26 % (-53 % ggü. 1990) zurückgeführt.

Zwar sanken die Emissionen aus der Landwirtschaft zwischen 1990 und 2014, 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 gerinste Emissionsminderung aufweist: gegenüber 2014 bis 2020 um knapp 1 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 1 % (-17 % gegenüber 1990) und bis 2035 gut 2 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. knapp 4 % gegenüber 2014 (-19 % gegenüber 1990). Dies bedeutet auch, dass der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen von gut 6 % im Jahr 1990 über 7 % im Jahr 2014 auf fast 10 % im Jahr 2035 ansteigen wird.

Die Abfallwirtschaft ist der Sektor, der mit einem Rückgang der Emissionen von 1990 bis 2014 um knapp 70 % die historisch höchsten relativen Emissionsminderungen aufweist. Dennoch können die Emissionen der Abfallwirtschaft zwischen 2014 und 2020 um weitere 3 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 25 % und bis 2035 sogar um knapp 7 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 57 % reduziert werden. Damit weißt die Abfallwirtschaft mit 77 % im Jahr 2020 und 87 % im Jahr 2035 auch weiterhin die größten relativen Emissionsminderungen gegenüber 1990 auf.

Der Anstieg der landwirtschaftlichen Emissionen und der nur noch geringe Rückgang der Emissionen der Abfallwirtschaft erklären den in Kapitel 3.4.2.1 beobachteten unterdurchschnittlichen Rückgang der Methan- und Lachgasemissionen.

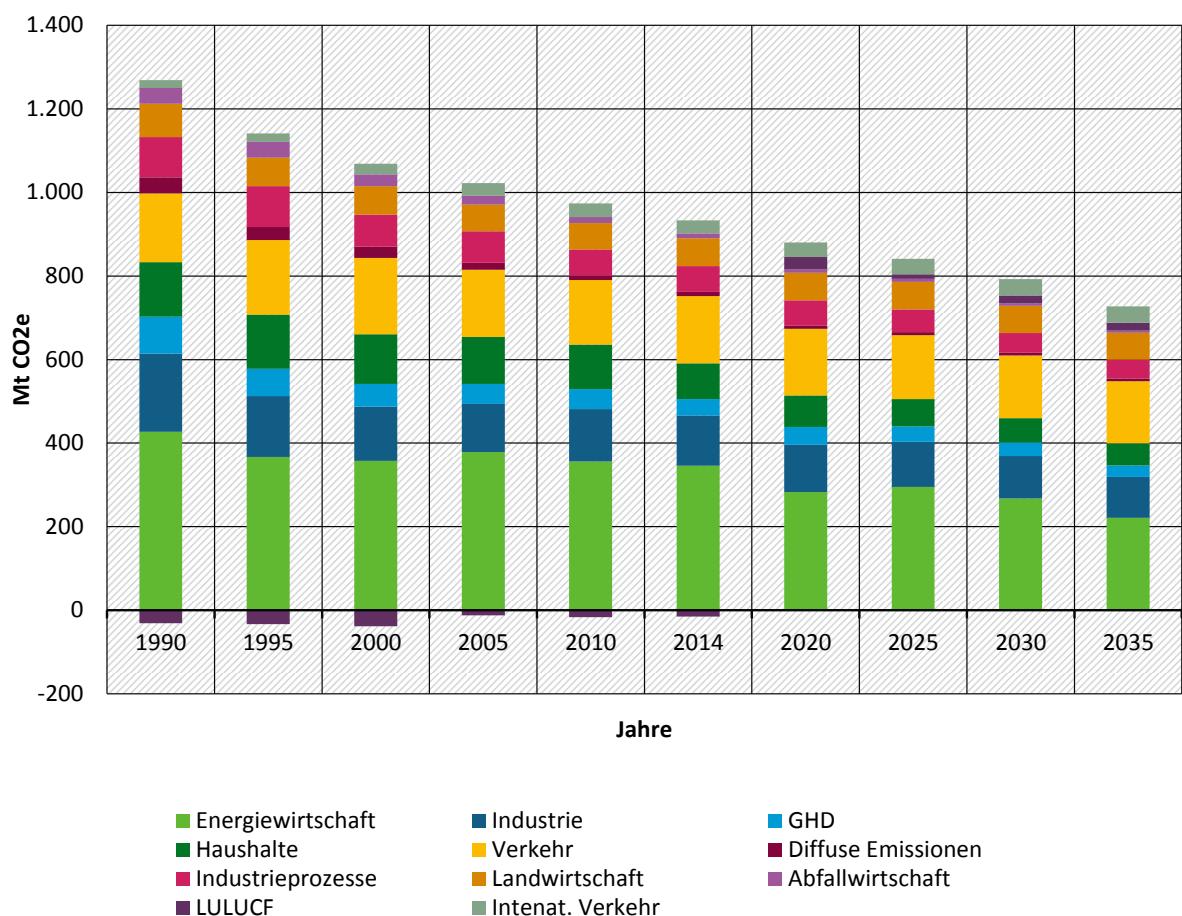
Der LULUCF-Sektor war in der Vergangenheit in Summe eine Senke, in der Projektion hingegen eine Emissionsquelle. Hier wird aber auf das das Kapitel 3.1.13 verwiesen.

Die Emissionen aus dem Deutschland zuordenbaren Anteil des internationalen Luft- und Seeverkehrs stiegen von 1990 bis 2014 um über 68 %. Bis zum Jahr 2020 werden diese Emissionen um weitere 3 Mt CO<sub>2</sub> bzw. 10 % und bis zum Jahr 2035 um 7 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 25 % gegenüber dem Jahr 2014 anstei-

gen. Das bedeutet, dass die Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs im Jahr 2020 um 85 % höher als im Jahr 1990 und im Jahr 2035 sogar mehr als doppelt so hoch sind als im Jahr 1990.

Unter Berücksichtigung der Emissionen aus internationalem See- und Luftverkehr lagen die Emissionen um knapp 26 % bzw. gut 9 % niedriger als 1990 bzw. 2005 und sinken gegenüber 1990 bis 2020 um 29 % (-13 % gegenüber 2005) und bis 2035 um 44 % gegenüber 1990 (-32 % gegenüber 2005).

Abbildung 3-25: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS (1990–2035)



Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Tabelle 3-125: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS, 1990–2035

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Energiewirtschaft	427,4	378,8	356,2	346,3	283,0	294,9	267,9	221,4
Industrie	186,7	115,2	125,2	119,7	113,1	108,1	101,3	97,5
GHD	88,4	47,9	47,6	39,5	42,5	37,5	32,7	27,9
Haushalte	130,8	111,9	106,9	85,2	75,7	65,0	57,8	52,5
Verkehr	164,4	161,4	154,2	161,1	159,1	152,7	150,0	148,9
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,5	7,6	7,2	6,8	6,5

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Industrieprozesse	96,4	75,3	62,0	61,0	60,3	54,4	47,0	45,1
Landwirtschaft	79,8	63,6	63,0	66,9	66,3	66,3	65,1	64,5
Abfallwirtschaft	38,0	21,2	14,6	11,6	8,6	7,0	5,9	5,0
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>816,4</b>	<b>793,1</b>	<b>734,5</b>	<b>669,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-17,7 %	-20,0 %	-25,9 %	-32,5 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-34,7 %	-36,5 %	-41,2 %	-46,5 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-34,9 %	-36,7 %	-41,4 %	-46,6 %
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,3	-15,0	29,1	11,2	19,2	18,7
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	31,3	34,4	36,8	38,8	39,2
<b>Gesamt inklusive nachrichtlich</b>	<b>1.237,1</b>	<b>1.009,9</b>	<b>957,2</b>	<b>918,1</b>	<b>879,9</b>	<b>841,0</b>	<b>792,5</b>	<b>727,2</b>
ggü. 2005	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-12,9 %	-16,7 %	-21,5 %	-28,0 %
ggü. 1990	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-28,9 %	-32,0 %	-35,9 %	-41,2 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-18,6 %	-22,9 %	-26,0 %	-29,1 %	-32,2 %	-36,1 %	-41,4 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet  
<sup>b</sup> 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-5-3.

### 3.4.1.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD

Tabelle 3-125 beschreibt die Emissionsentwicklung in den vom Emissionshandel (ETS) und in den von der Effort-Sharing-Decision (ESD) erfassten Sektoren.<sup>89</sup> Bis 2020 gehen die Emissionen von stationären Anlagen im Emissionshandel um 25 % gegenüber dem Jahr 2005 zurück. Die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren gehen bis 2020 um 9 % zurück.<sup>90</sup> Im Zeitraum von 2020 bis 2030 gehen die Emissionen von stationären Anlagen in den vom Emissionshandel erfassten Sektoren nur um 5 Prozentpunkte zurück, während die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren um fast 12 Prozentpunkte zurückgehen. Nach 2030 nimmt die Minderungsgeschwindigkeit im ETS wieder zu.

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 Emissionshan-

<sup>89</sup> Weder vom ETS noch vom ESD erfasst sind die NF<sub>3</sub>-Emissionen.

<sup>90</sup> 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 CO<sub>2</sub>e einhalten. Im MMS zeigen die Ergebnisse einen Rückgang der Emissionen bis 2020 auf etwa 426,5 Mt CO<sub>2</sub>e.

del erfasst werden. Hier treten naturgemäß Ungenauigkeiten auf, weil die Modellierung nicht emissi-onshandelspflichtige Anlagen abbildet, sondern die Sektoren des Inventars.

Tabelle 3-126: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035

	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e							
Emissionen stationärer ETS <sup>a</sup>	518,9	478,9	461,3	387,7	393,6	360,5	311,3
Emissionen ESD <sup>b</sup>	470,4	459,5	438,3	426,5	397,3	371,9	355,9
Summe ESD und stationärer ETS <sup>c</sup>	989,3	938,4	899,5	814,2	790,9	732,4	667,2
Stationärer ETS ggü. 2005	0,0 %	-7,7 %	-11,1 %	-25,3 %	-24,1 %	-30,5 %	-40,0 %
ESD ggü. 2005	0,0 %	-2,3 %	-6,8 %	-9,3 %	-15,5 %	-20,9 %	-24,3 %
NF <sub>3</sub> (außerhalb von ESD und ETS) <sup>c</sup>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), (EEA 2017), Berechnungen des Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. <sup>b</sup> Jahre 2005-2014 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. <sup>c</sup> Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO<sub>2</sub>-Emissionen des nationalen Flugverkehr sowie sämtliche NF<sub>3</sub>-Emissionen weder vom stationären ETS noch vom ESD erfasst sind. <sup>c</sup> NF<sub>3</sub>-Emissionen sind weder von ESD noch von ETS erfasst.

### 3.4.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

#### 3.4.2.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen

In Tabelle 3-126 ist die Entwicklung der Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O), teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung sind die Treibhausgasemissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie von LULUCF nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 2014 wurden in der nationalen Bilanz die Treibhausgasemissionen bereits um knapp 28 % gegenüber dem Jahr 1990 und um fast 9 % gegenüber 2005 reduziert. Gegenüber dem Referenzjahr 1990 sinken die gesamten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um knapp 36 % (-19 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2030 um 45 % (-31 % gegenüber 2005). Die Ziele der Bundesregierung einer Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40 % bis 2020 und 55 % bis 2030 werden also auch im Mit-Maßnahmen-Szenario nicht erreicht.

Es wird deutlich, dass die im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario analysierten Maßnahmen insbesondere erst nach 2025 greifen. Im Jahr 2020 beträgt die zusätzliche Emissionsminderung durch das MWMS nur 11 Mt CO<sub>2</sub>e, im Jahr 2025 bereits 33 Mt CO<sub>2</sub>e und 53 Mt CO<sub>2</sub>e im Jahr 2030.

Zwischen 1990 und 2014 wurden die jährlichen Emissionen von Kohlendioxid<sup>91</sup> um fast 25 % reduziert. Im Jahr 2035 werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen fast 52 % niedriger liegen als 1990. Historisch und auch in der Projektion ist CO<sub>2</sub> das Gas mit dem größten Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. 1990 hatte es einen Anteil von gut 84 %, 2014 sogar von fast 88 %. Bis 2035 wird die-

<sup>91</sup> Nicht berücksichtigt sind hier – wie auch in den übrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen dieses Berichts die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse.

ser Anteil auf etwa 86 % zurückgehen. Die nicht in die Summe eingehenden und daher nur nachrichtlich ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verfeuerung von Biomasse vervielfachten sich zwischen 1990 und 2014 und werden ein Maximum etwa 2020 erreichen, um anschließend zurückzugehen.

Bei Methan sind die größten Emissionsminderungen bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen: CH<sub>4</sub> war 1990 nach CO<sub>2</sub> das bedeutendste Treibhausgas und hatte einen Anteil von fast 10 % an den Gesamtemissionen. Da aber die CH<sub>4</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2014 um 54 % reduziert werden konnten, sank der Anteil auf nur noch gut 6 %. Bis zum Jahr 2035 sinken die CH<sub>4</sub>-Emissionen um gut 63 % gegenüber 1990. Da aber hier die Emissionsminderungen insbesondere nach 2020 unterproportional sind, steigt der Anteil bis 2035 wieder leicht an auf über 7 %.

Lachgas hatte 1990 einen Anteil von gut 5 % an den gesamten Treibhausgasemissionen. Auch hier konnten bis zum Jahr 2014 die Emissionen bereits um fast 40 % reduziert werden, sodass der Anteil an den Gesamtemissionen von 5 % auf 4 % sank. Bis zum Jahr 2035 sinken die N<sub>2</sub>O-Emissionen nur noch unterproportional. Daher steigt der Anteil der Lachgasemissionen auch im MWMS auf knapp 6 % im Jahr 2035.

Die fluorierten Treibhausgasemissionen hatten im Jahr 1990 einen Anteil von 1,1 %, der bis zum Jahr 2014 auf 1,6 % anstieg. Bis zum Jahr 2020 wird der Anteil leicht auf 1,7 % ansteigen, um anschließend bis 2035 auf 0,8 % abzusinken.

Tabelle 3-127: Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MWMS, 2005-2035

Treibhausgas	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) <sup>a</sup>	1.052,2	866,0	832,3	792,9	704,8	666,9	595,9	509,7
Methan (CH <sub>4</sub> )	119,2	68,4	58,1	55,5	51,1	49,0	46,5	44,4
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	65,2	43,6	37,0	38,8	35,8	35,8	34,5	33,4
Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW)	0,1	8,8	9,9	10,8	9,1	5,4	3,6	3,4
Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)	3,1	0,8	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	4,3	3,3	3,0	3,4	4,3	2,7	1,2	1,0
Nicht spezifizierter Mix (HFKW/FKW)	<b>5,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
Stickstofftrifluorid (NF <sub>3</sub> )	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>805,6</b>	<b>760,2</b>	<b>682,0</b>	<b>592,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-18,8 %	-23,4 %	-31,2 %	-40,3 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
ggü. Basisjahr	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-35,7 %	-39,4 %	-45,6 %	-52,8 %
Nachrichtlich:								
CO <sub>2</sub> aus Biomasseverfeuerung	21,8	59,3	108,5	98,5	112,5	105,7	89,7	74,2

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet

### 3.4.2.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario bieten Tabelle 3-128 sowie Abbildung 3-26.<sup>92</sup> In der nationalen Betrachtung ohne internationale Luft- und Seeverkehr und ohne LULUCF sind die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2014 bereits fast 28 % gegenüber dem Jahr 1990 bzw. um gut 9 % gegenüber dem Jahr 2005 gesunken. Bis zum Jahr 2020 werden die Emissionen auf knapp 36 % gegenüber 1990 (-19 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2035 um fast 53 % gegenüber 1990 (-40 % gegenüber 2005) sinken.

Mehr als die Hälfte der von 2014 bis zum Jahr 2035 erzielten Emissionsminderungen wird von der Energiewirtschaft erbracht. Die Emissionen sinken hier gegenüber 2014 absolut um 69 Mt CO<sub>2</sub>e bis 2020 und um 169 Mt CO<sub>2</sub>e bis 2035. Im Jahr 2020 entspricht das einer Minderung von 18 % gegenüber 2014 (-34 % ggü. 1990) und im Jahr 2035 einer Minderung von 36 % (-48 % ggü. 1990). Die zusätzliche Emissionsminderung der Energiewirtschaft im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 fast 45 Mt CO<sub>2</sub>e. War der Anteil der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen (ohne internationale Verkehr und LULUCF) von gut 34 % im Jahr 1990 auf knapp 38 % im Jahr 2014 angestiegen, sinkt er bis 2035 auf unter 30 %.

Die energiebedingten Industrieemissionen sinken bis zum Jahr 2020 um fast 9 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. um 7 % gegenüber 2014 (41 % unterhalb von 1990), um danach bis 2035 um knapp 28 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 23 % gegenüber 2014 abzusinken (-51 % ggü. 1990). Die zusätzliche Minderung der energiebedingten Industrieemissionen im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 über 5 Mt CO<sub>2</sub>e. Insgesamt steigt der Anteil der Industrieemissionen von 13 % im Jahr 2014 auf knapp 16 % im Jahr 2035.

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen steigen – ähnlich wie auch im MMS – bis 2020 um mehr 3 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 7 % gegenüber 2014 an (-52 % ggü. 1990) und sinken dann gegenüber dem Jahr 2014 um 13 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 33 % bis zum Jahr 2035 ab (-70 % ggü. 1990). Die zusätzliche Emissionsminderung des GHD-Sektors im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 mehr als 1 Mt CO<sub>2</sub>e. Der Anteil von GHD an den Gesamtemissionen bleibt – wie auch im MMS – bei etwa 4 %.

Der zweitgrößte Beitrag zur projizierten Emissionsreduktion kommt auch im MWMS von den privaten Haushalten: Diese reduzieren ihre Emissionen gegenüber 2014 bis 2020 um 11 % bzw. 9 Mt CO<sub>2</sub>e (-42 % ggü. 1990) und bis 2035 um 41 % bzw. 35 Mt CO<sub>2</sub>e (-61 % ggü. 1990). Die zusätzliche Emissionsminderung der Haushalte im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 knapp 2 Mt CO<sub>2</sub>e. Der Anteil der Haushalte an den Emissionen bleibt bei etwa 9 %.

Nach der Energiewirtschaft und den privaten Haushalten weißt der nationale Verkehr langfristig die größten absoluten Emissionsreduktionen auf. Im Jahr 2020 ist erst eine Reduktion von 3 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 2 % gegenüber 2014 (-4 % ggü. 1990) zu verzeichnen. Bis zum Jahr 2035 steigt die Emissionsreduktion im nationalen Verkehr auf 33 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 21 % gegenüber 2014 (-22 % ggü. 1990) ist zu verzeichnen. Die zusätzliche Emissionsminderung des Verkehrs im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 mehr als 21 Mt CO<sub>2</sub>e. Dennoch setzt sich auch im MMS 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 2014 auf knapp 18 % und wird 2035 auch im MWMS bei etwa 22 % liegen.

<sup>92</sup> Eine Übersicht der Emissionsentwicklung in den Sektordefinitionen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung bietet

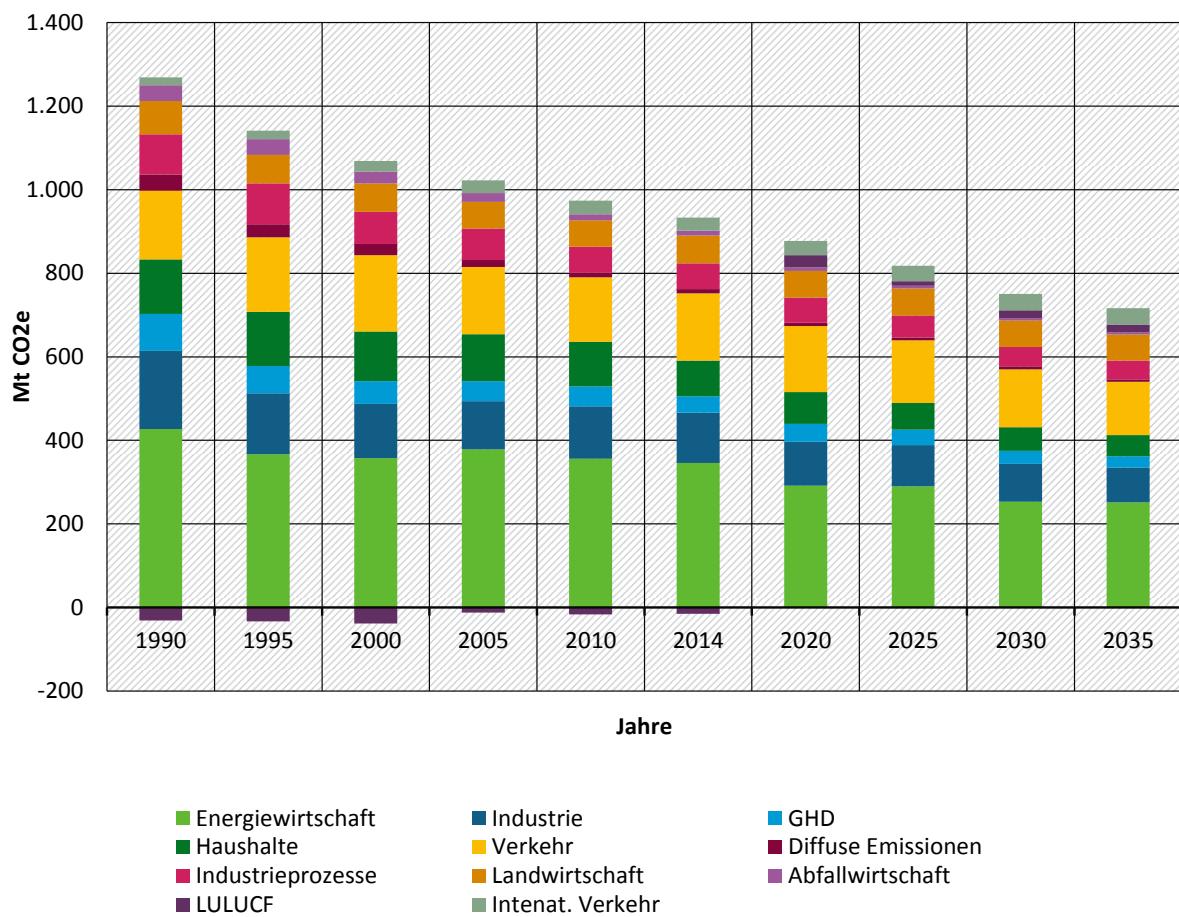
Die diffusen Emissionen der Energiesektoren weisen geringe absolute aber hohe relative Emissionsminderungen auf. Die zusätzlichen Emissionsminderungen im MWMS sind nur minimal. Auch der relative Anteil bleibt bei etwa 1 %.

Von den Nicht-Energie-Emissionen waren die Emissionen aus Industrieprozessen 1990 die bedeutendsten und machten damals 8 % der Gesamtemissionen aus, ein Anteil an dem sich auch im MWMS nicht viel ändern wird. Die Emissionen aus Industrieprozessen werden im MWMS bis 2035 im Vergleich zum MMS nur minimal zurückgeführt. Bis 2035 wird ein um 54 % niedrigeres Emissionsniveau als 1990 erreicht.

Zwar sanken die Emissionen aus der Landwirtschaft zwischen 1990 und 2014, aber dennoch ist die Landwirtschaft mittlerweile bedeutendste Quelle für Treibhausgase außerhalb des Energiesektors geworden. Zudem die Landwirtschaft der einzige bedeutende Sektor, der in der Projektion nur sehr geringe Emissionsminderungen zu verzeichnen sind: um knapp 3 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. 4 % (-20 % gegenüber 1990) bis 2020 gegenüber 2014 und gut 4 Mt CO<sub>2</sub>e bzw. knapp 7 % bis 2035 (-22 % gegenüber 1990) gegenüber 2014. Dies bedeutet auch, dass der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen von 7 % im Jahr 2014 auf fast 11 % ansteigen wird. Die zusätzliche Emissionsminderung der Landwirtschaft im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 etwa 2 Mt CO<sub>2</sub>e.

Die Abfallwirtschaft ist der Sektor mit den historisch höchsten relativen Emissionsminderungen ist (-70 % im Jahr 2014 gegenüber 1990). Bis zum Jahr 2035 gehen die Emissionen im MWMS weiter zurück. Die zusätzliche Emissionsminderung im Jahr 2035 im MWMS gegenüber dem MMS beträgt 0,4 Mt CO<sub>2</sub>e. Die Abfallwirtschaft weiß damit mit 88 % im Jahr 2035 weiterhin die größten relativen Emissionsminderungen gegenüber 1990 auf.

Abbildung 3-26: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS (1990–2035)



Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Tabelle 3-128: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS, 1990-2035

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e							
Energiewirtschaft	427,4	378,8	356,2	346,3	277,4	272,4	232,6	176,9
Industrie	186,7	115,2	125,2	119,7	110,8	106,3	100,2	92,1
GHD	88,4	47,9	47,6	39,5	42,5	37,0	31,7	26,6
Haushalte	130,8	111,9	106,9	85,2	76,0	64,2	56,3	50,7
Verkehr	164,4	161,4	154,2	161,1	158,4	149,7	139,0	127,7
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,5	7,6	7,2	6,8	6,4
Industrieprozesse	96,4	75,3	62,0	61,0	60,1	52,4	46,9	44,8
Landwirtschaft	79,8	63,6	63,0	66,9	64,2	64,3	63,1	62,5
Abfallwirtschaft	38,0	21,2	14,6	11,6	8,5	6,6	5,5	4,6
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>805,6</b>	<b>760,2</b>	<b>682,0</b>	<b>592,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-18,8 %	-23,4 %	-31,2 %	-40,3 %

Sektor <sup>b</sup>	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-35,7 %	-39,4 %	-45,6 %	-52,8 %
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,3	-15,0	29,1	11,2	19,2	18,7
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	31,3	34,4	36,8	38,8	39,2
<b>Gesamt inklusive nachrichtlich</b>	<b>1.237,1</b>	<b>1.009,9</b>	<b>957,2</b>	<b>918,1</b>	<b>869,1</b>	<b>808,1</b>	<b>740,0</b>	<b>650,2</b>
ggü. 2005	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-13,9 %	-20,0 %	-26,7 %	-35,6 %
ggü. 1990	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-29,7 %	-34,7 %	-40,2 %	-47,4 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-18,6 %	-22,9 %	-26,0 %	-30,0 %	-34,9 %	-40,4 %	-47,6 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet

<sup>b</sup> 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-5-4.

### 3.4.2.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD

Tabelle 3-128 beschreibt die Emissionsentwicklung in den vom Emissionshandel (ETS) und in den von der Effort-Sharing-Decision (ESD) erfassten Sektoren.<sup>93</sup> Bis 2020 gehen die Emissionen von stationären Anlagen in den vom Emissionshandel erfassten Sektoren um 26 % gegenüber dem Jahr 2005 zurück. Die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren gehen bis 2020 um 11 % zurück.<sup>94</sup>

Im Zeitraum von 2020 bis 2030 gehen die Emissionen von stationären Anlagen in den vom Emissionshandel erfassten Sektoren 10 Prozentpunkte zurück, während die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren um fast 15 Prozentpunkte zurückgehen. Nach 2030 sinken die Emissionen im ETS schneller als im ESD.

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 emissionshandelpflichtige Anlagen abbildet, sondern die Sektoren des Inventars.

<sup>93</sup> Weder vom ETS noch vom ESD erfasst sind die NF<sub>3</sub>-Emissionen.

<sup>94</sup> 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 CO<sub>2</sub>e einhalten. Im MWMS zeigen die Ergebnisse einen Rückgang der Emissionen bis 2020 auf etwa 419 Mt CO<sub>2</sub>e.

Tabelle 3-129: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MWMS 2005-2035

	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e							
Emissionen stationärer ETS <sup>a</sup>	518,9	478,9	461,3	384,4	375,3	330,5	269,0
Emissionen ESD <sup>b</sup>	470,4	459,5	438,3	419,0	382,8	349,4	321,3
Summe ESD und stationärer ETS <sup>c</sup>	989,3	938,4	899,5	803,4	758,0	679,9	590,3
Stationärer ETS ggü. 2005	0,0 %	-7,7 %	-11,1 %	-25,9 %	-27,7 %	-36,3 %	-48,2 %
ESD ggü. 2005	0,0 %	-2,3 %	-6,8 %	-10,9 %	-18,6 %	-25,7 %	-31,7 %
NF <sub>3</sub> (außerhalb von ESD und ETS) <sup>c</sup>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), (EEA 2017), Berechnungen des Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Vom ETS erfassten Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. <sup>b</sup> Jahre 2005-2014 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. <sup>c</sup> Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO<sub>2</sub>-Emissionen des nationalen Flugverkehr sowie sämtliche NF<sub>3</sub>-Emissionen weder vom ETS noch vom stationären ESD erfasst sind. <sup>c</sup> NF<sub>3</sub>-Emissionen sind weder von ESD noch von ETS erfasst.

### 3.5 Sensitivitätsanalysen

Rahmenannahmen für einen Zeitraum von 20 Jahren sind naturgemäß mit großen Unsicherheiten verbunden. Aus diesem Grund wurde abgeschätzt, welchen Einfluss Abweichungen von den verwendeten Annahmen zu Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum auf die Modellergebnisse haben. Für die Hauptberechnung des Projektionsberichts wurde für die Szenarienrechnungen den Empfehlungen der Europäischen Kommission aus (EC 2016a) entsprochen. Gegenwärtig liegt das Preisniveau jedoch sowohl auf den Energiemarkten als auch bei den EU-Emissionsberechtigungen deutlich unter allen Projektionen der Vorjahre.

Um die Möglichkeit eines langfristig niedrigeren Niveaus zu untersuchen, wurden die Emissionen des Stromsektors für beide Szenarien zusätzlich mit niedrigeren Brennstoffpreisen und niedrigeren Preisen für EU-Emissionsberechtigungen berechnet. Eine detaillierte Darstellung der dafür verwendeten Annahmen befindet sich in Tabelle 2-3, S. 48. Zusätzlich wurde für das MWMS der Effekt niedrigerer Exporte im Stromsektor betrachtet.

Tabelle 3-130: Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise für die Sensitivitätsrechnung „Niedrige Preise“

		2020	2025	2030	2035
€ <sub>2013</sub> /GJ bzw. € <sub>2013</sub> /EUA					
Rohöl Brent		8,0	9,1	10,0	10,5
Steinkohle		1,9	2,1	2,1	2,1
Erdgas		4,8	5,3	5,5	5,6
EUA		5,0	10,0	15,0	20,0

Herleitung und Details siehe Tabelle 2-3, S. 48.

Für die Sensitivitätsanalyse kommen zwei Methoden zum Einsatz:

- a) eine Komponentenzerlegung aufbauend auf Diekmann et al. (1999) für den Einfluss von Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum auf energiebedingte THG-Emissionen;<sup>95</sup>
- b) eine gesonderte Strommarkt-Modellierung für den Einfluss niedrigerer Brennstoffpreise und niedrigerer Preise für EU-Emissionsberechtigungen und niedrigere Exporte.

Die Komponentenanalyse zerlegt die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen, wie sie in den Szenarienergebnissen erscheint, in die Beiträge verschiedener Treibergrößen (vgl. Kaya & Yokoburi 1997):

- a) Bevölkerungszahl;
- b) Bruttoinlandsprodukt pro Kopf;
- c) Energieintensität der Wirtschaft (Energie pro Euro Bruttoinlandsprodukt);<sup>96</sup>
- d) Anteil erneuerbarer Energien;
- e) Treibhausgasintensität der fossilen Energieträger (Veränderung des Energierträgermixes).

Im Anschluss können einzelne Faktoren (in diesem Fall: einerseits Bevölkerungszahl, andererseits BIP pro Kopf) variiert werden, um die Wirkung veränderter Rahmenannahmen auf die THG-Emissionen abzuschätzen.

Der Effekt niedrigerer Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preise wurde nur in der Stromerzeugung analysiert. Durch die niedrigeren Erdgas- und Steinkohlepreise im Vergleich zu den Annahmen der EU-Empfehlung kommt es hier nur zu geringen Verschiebungen in der Merit Order, weil die niedrigen CO<sub>2</sub>-Preise nicht in der Lage sind, grundlegende Veränderungen herbeizuführen.

Zudem verändert sich die Wirtschaftlichkeit der Kohlekraftwerke im Vergleich zu den anderen Technologien nicht grundsätzlich: Zwar sinken die Deckungsbeiträge der Steinkohle- und Braunkohlekraftwerke durch niedrigere Strompreise zu Spitzenlastzeiten (wiederum ausgelöst durch niedrigere Erdgaspreise). Dies wird aber durch gesunkene Stromerzeugungskosten (niedrigere Kosten für Steinkohle und Emissionen) kompensiert.

Vor diesem Hintergrund konnte vereinfachend die Annahme getroffen werden, dass sich der Kraftwerkspark durch die geänderten Preise nicht verändert. Die Sensitivitätsrechnung wird also auf Basis des im MMS bzw. MWMS ermittelten Kraftwerksparks in allen Szenariojahren mit den geänderten Preisannahmen durchgeführt. Die Differenz in der Stromerzeugung nach Brennstoffen und den CO<sub>2</sub>-Emissionen illustriert die Sensitivität für veränderte Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preise.

### **3.5.1 Mit-Maßnahmen-Szenario**

#### **3.5.1.1 Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung**

Abbildung 3-27 zeigt das Ergebnis der Komponentenanalyse für das MMS, in dem die energiebedingten Emissionen von 2014 bis 2035 um 200 Mt CO<sub>2</sub>e sinken. In der Abbildung ist dargestellt, welchen steigernden oder senkenden Einfluss die einzelnen Treibergrößen auf die Gesamtemissionen haben. Klar erkennbar sind die folgenden Aspekte:

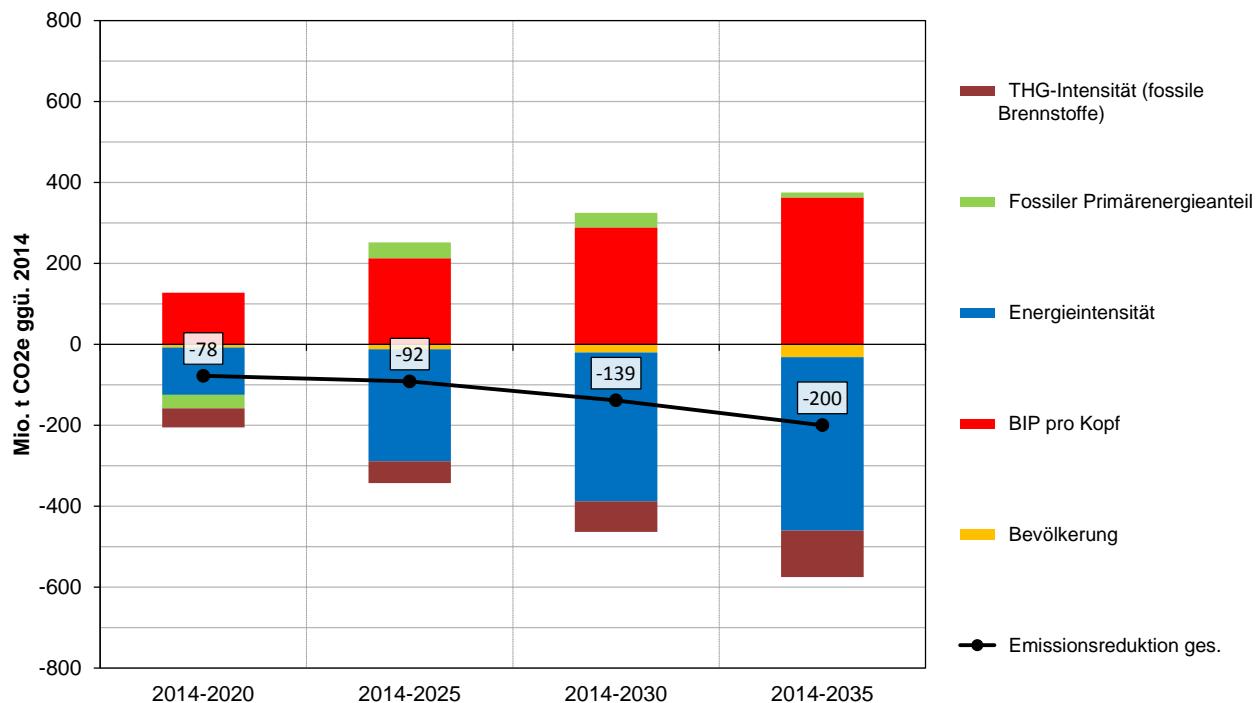
- a) Die leicht zurückgehende Bevölkerung (um 2,4 Mio. Einwohner bis 2035) hat nur einen minimalen Einfluss auf die Gesamtemissionen, ebenso wie der fossile Anteil am Primärenergieverbrauch, der mit 81 bis 83 % nahezu konstant bleibt.

<sup>95</sup> Inklusive energiebedingte CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen. Für Konsistenz mit der Bilanzierung des inländischen Primärenergieverbrauchs werden Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr, nicht aber dem internationalen Seeverkehr, eingeschlossen.

<sup>96</sup> Ohne Bereinigung von statistischen Artefakten auf Grund der primärenergieseitigen Bewertung von erneuerbaren Energien und Kernenergie

- b) Die sinkende Emissionsintensität der verbleibenden fossilen Brennstoffe leistet einen deutlichen Beitrag zur Emissionsminderung (-115 Mt CO<sub>2</sub>e).
- c) Die entscheidenden Treibergrößen sind das Wirtschaftswachstum (real +22 %) und die immer weiter sinkende Energieintensität der Wirtschaft (-26 %). Das Wirtschaftswachstum würde zwar emissionssteigernd mit +363 Mt CO<sub>2</sub>e brutto wirken, wird jedoch durch die verbesserte Energieeffizienz (-429 Mt CO<sub>2</sub>e) ausgeglichen, so dass im Saldo eine Emissionsminderung steht.

Abbildung 3-27: Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MMS)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Auf Grundlage dieser Zerlegung wurden Bevölkerung und BIP pro Kopf variiert (Details siehe Abschnitt 2.1) und die restlichen Parameter jeweils konstant gehalten:

- a) Als alternative Bevölkerungsprojektion werden die Varianten der 13. Bevölkerungsvorausberechnung des StBA herangezogen. Das Pro-Kopf-BIP wird konstant gehalten, so dass das Gesamt-BIP mit der Bevölkerungszahl variiert.
- b) Für das Wirtschaftswachstum wird ein konstanter Wert von real 1,0 % auch nach 2025 angenommen. Hier wird die Bevölkerungszahl konstant gehalten, so dass hier das Pro-Kopf-BIP etwas höher ist als im Grundszenario.

Ein stärkeres Wirtschaftswachstum von konstant 1,0 % würde bis 2035 zu einer Steigerung der energiebedingten Emissionen um etwa 25 Mt CO<sub>2</sub>e führen. Dies entspräche (bezogen auf 1990) einer um 2,4 Prozentpunkte geringeren Minderung. Eine geringere Abnahme der Bevölkerung hingegen würde nur zusätzliche Emissionen von knapp 4 Mt CO<sub>2</sub>e verursachen (0,4 Prozentpunkte bezogen auf 1990). Die wirtschaftliche Entwicklung hat damit einen weit größeren Einfluss auf die THG-Emissionen als die demographische Entwicklung (im Rahmen der aktuellen Prognoseszenarien). Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-133, unten, vollständig dargestellt.

### 3.5.1.2 EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor

Die folgenden Tabellen zeigen die Emissionen (nur des Stromsektors) im MMS mit niedrigeren Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen. Wie erwartet unterscheidet sich die Merit Order der Stromerzeugung nur wenig, weil die Reihenfolge der Wirtschaftlichkeit der Energieträger gleich bleibt, auch wenn das Gesamtniveau geringer ist. Damit verändern sich die Gesamtemissionen der Stromerzeugung nur minimal (maximal +1,2 Mt CO<sub>2</sub>). Die Veränderung ergibt sich aus einem leichten Rückgang der Erdgasverstromung und einem Anstieg der Kohleverstromung in allen Szenariojahren. Nicht modelliert wurden die Auswirkungen niedriger Brennstoffpreise auf andere Sektoren, in denen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen andere sind und niedrige Preise durchaus emissionssteigernd wirken können.

Tabelle 3-131: Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen im MMS

	2020	2025	2030	2035
	TWh			
Braunkohle	0,5	0,2	0,2	0,1
Steinkohle	-0,4	0,6	2,2	0,8
Erdgas	-2,9	-1,8	-2,0	-3,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-132: Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen, MMS<sup>97</sup>

	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub>			
Differenz	-0,6	0,1	1,2	-0,4

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

### 3.5.1.3 Ergebnis im MMS

Tabelle 3-133 fasst die Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen zusammen. Die Ergebnisse der Sensitivität für einen geringeren Stromexportsaldo wurden aus der für das MWMS modellierten Wirkung dieser Annahme übernommen und hier aufgrund der sehr vergleichbaren Wirkung nicht gesondert modelliert.

Tabelle 3-133: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO <sub>2</sub> e					
<b>Emissionen im Energiesektor (inkl. int. Flugverkehr)</b>						
MMS	1.047,8	786,9	708,7	695,1	648,2	586,9
Stärkeres Wirtschaftswachstum			721,4	707,6	666,3	612,4
Höhere Bevölkerung			719,3	702,9	653,9	590,6

<sup>97</sup> Die hier dargestellten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromsektors wurden nicht den Bereinigungen unterzogen, die in Tabelle 3-63 vorgenommen werden, und weichen deshalb leicht ab. Dort werden insbesondere die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt sowie Emissionsfaktoren der Kraftwerke nach Sektoren feiner differenziert.

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise		709,3	695,0	647,0	587,3	
Weniger Stromexport		673,6				
<b>Differenz gegenüber MMS</b>						
Stärkeres Wirtschaftswachstum		12,7	12,4	18,2	25,5	
Höhere Bevölkerung		10,6	7,8	5,7	3,7	
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise		0,6	-0,1	-1,2	0,4	
Weniger Stromexport		-35,3				
<b>Gesamtemissionen (ohne int. Verkehr &amp; LULUCF)</b>						
MMS	1.249,8	901,8	816,4	793,1	734,5	669,3
Stärkeres Wirtschaftswachstum		829,1	805,5	752,7	694,8	
Höhere Bevölkerung		826,9	800,9	740,2	673,0	
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise		816,9	793,0	733,3	669,7	
Weniger Stromexport		780,6				
<b>Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990 (%):</b>						
MMS	-28 %	-34,7 %	-36,5 %	-41,2 %	-46,5 %	
Stärkeres Wirtschaftswachstum		-33,7 %	-35,5 %	-39,8 %	-44,4 %	
Höhere Bevölkerung		-33,8 %	-35,9 %	-40,8 %	-46,2 %	
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise		-34,6 %	-36,6 %	-41,3 %	-46,4 %	
Weniger Stromexport		-37,5 %				

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Öko-Instituts

### 3.5.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario

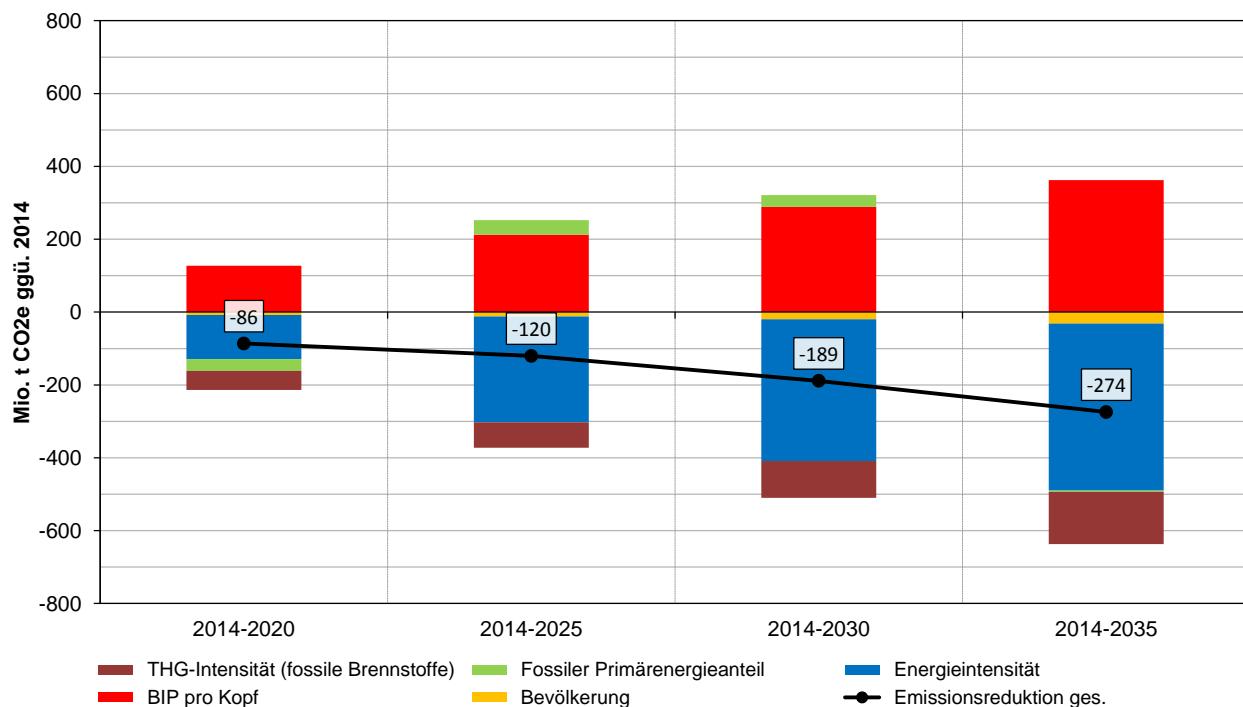
Die Komponenten- und Sensitivitätsanalyse wurde wie in der Einleitung beschrieben auch für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) durchgeführt, hinzu kommt eine Betrachtung für geringere Stromexporte. Verändert wurde nur das zu Grunde liegende Szenario, alle weiteren Parameter für die Sensitivitätsanalyse sind dieselben wie in der Analyse des MMS.

#### 3.5.2.1 Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung

Abbildung 3-28 zeigt das Ergebnis der Komponentenanalyse für das MWMS, in dem die energiebedingten Emissionen von 2014 bis 2035 bereits um 274 Mt CO<sub>2</sub>e sinken (ggü. 200 Mio. t im MMS). Zum MMS (siehe Analyse oben) bestehen Unterschiede nur in den Treibergrößen, die sich tatsächlich unterscheiden:

- a) Der fossile Anteil am Primärenergieverbrauch ist etwas geringer als im MMS, dieser Unterschied hat nur einen minimalen emissionssenkenden Effekt. Gewichtiger ist der emissionsärmer werdende fossile Brennstoffmix im MWMS (-143 Mt CO<sub>2</sub>e ggü. -115 Mt CO<sub>2</sub>e im MMS bis 2035).
- b) Die sinkende Energieintensität der Wirtschaft liefert einen ebenso großen Beitrag zu den niedrigeren Emissionen im MWMS wie die Veränderung im Brennstoffmix (-458 Mt CO<sub>2</sub>e ggü. -429 Mt CO<sub>2</sub>e im MMS bis 2035).
- c) Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und Bevölkerungsrückgang unterscheiden sich nicht vom MMS.

Abbildung 3-28: Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MWMS)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Auf Grundlage dieser Zerlegung wurden Bevölkerung und BIP wie in der Sensitivitätsanalyse für das MMS variiert (Details siehe dort, sowie Abschnitt 2.1) und die restlichen Parameter jeweils konstant gehalten.

Wegen der weniger energieintensiven Wirtschaft im MWMS gelten die Schlussfolgerungen für das MMS abgeschwächt: Ein stärkeres Wirtschaftswachstum von konstant 1,0 % würde bis 2035 zu einer Steigerung der energiebedingten Emissionen um etwa 22 Mt CO<sub>2</sub>e führen (ggü. 25 Mt CO<sub>2</sub>e im MMS; 2,1 Prozentpunkte geringere Minderung bezogen auf 1990). Eine geringere Abnahme der Bevölkerung würde zusätzliche Emissionen von knapp 3 Mt CO<sub>2</sub>e verursachen (4 Mio. t im MMS bzw. 0,4 Prozentpunkte bezogen auf 1990). Die wirtschaftliche Entwicklung bleibt (im Rahmen der aktuellen Prognoszenarien) auch im MWMS die gewichtigere Einflussgröße. Die Ergebnisse sind in Ergebnis im MWMS

Tabelle 3-137 unten vollständig dargestellt.

### 3.5.2.2 EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor und Stromexport

Annahmen und Parametrisierung für diese Sensitivitätsanalyse sind identisch mit der Sensitivitätsanalyse des MMS. Wie dort sind nur geringe Verschiebungen in der Merit Order zu erwarten, da die niedrigeren CO<sub>2</sub>-Preise den Vorteil der geringeren Preise für Steinkohle und Erdgas ausgleichen und Erdgas auch hier der teuerste Energieträger ist. Somit kann auch hier vereinfachend angenommen werden, dass sich der Kraftwerkspark gegenüber dem Grundszenario nicht verändert.

In der Sensitivitätsanalyse des MWMS ist die Veränderung der Stromerzeugung und der Emissionen in der Größenordnung mit dem MMS vergleichbar (Tabelle 3-134). Einem leichten Rückgang der Erdgasverstromung steht eine leichte Steigerung der Kohleverstromung gegenüber, beide sind im Vergleich zur Gesamtmenge klein. Die Veränderung der Gesamtemissionen in der Stromerzeugung ist vernachlässigbar (Tabelle 3-135; unter 1 Mt CO<sub>2</sub>). Der Effekt niedrigerer Preise auf andere Sektoren, die nicht

nach dem Prinzip des Strommarkts funktionieren, wurde nicht im Detail modelliert: Dort sind höhere Emissionen durch niedrigere Energiepreise nicht auszuschließen.

Tabelle 3-134: Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen im MWMS (Differenz)

	2020	2025	2030	2035
TWh				
Braunkohle	0,6	0,2	0,5	0,1
Steinkohle	-0,3	0,5	3,1	0,8
Erdgas	-2,6	-1,6	-1,8	-2,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-135: Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen, MWMS<sup>98</sup>

	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub>				
Differenz	-0,4	0,1	2,3	-0,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Außerdem wurde wie im Projektionsbericht 2015 eine Sensitivitätsanalyse berechnet, bei der für das Jahr 2020 geringere Stromexporte angesetzt werden.<sup>99</sup> Dadurch gehen die inländischen Emissionen des Stromsektors deutlich zurück. Im Jahr 2020 beträgt die zusätzliche Emissionsminderung 36 Mt CO<sub>2</sub>.

Tabelle 3-136: Wirkung geringerer Stromexporte im MWMS

	2020
Differenz Exporte (TWh)	-37,6
Differenz Emissionen (Mt CO <sub>2</sub> )	-35,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

### 3.5.2.3 Ergebnis im MWMS

Tabelle 3-137: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MWMS)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						

#### Emissionen im Energiesektor (inkl. int. Flugverkehr)

<sup>98</sup> Die hier dargestellten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromsektors wurden nicht den Bereinigungen unterzogen, die in Tabelle 3-63 vorgenommen werden, und weichen deshalb leicht ab. Dort werden insbesondere die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt sowie Emissionsfaktoren der Kraftwerke nach Sektoren feiner differenziert.

<sup>99</sup> Im Strommarktmodell sind die Stromexporte ein Ergebnis, das sich durch die Interaktionen mit den europäischen Nachbarländern ergibt. Deshalb können die Wirkungen niedrigerer Exporte nur indirekt ermittelt werden. Die geringeren Exporte wurden im Modell erzielt, indem der EUA-Preis nur in Deutschland um 20 €/t CO<sub>2</sub> erhöht wurde.

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e						
MWMS	1.047,8	786,9	700,5	666,6	598,1	512,6
Stärkeres Wirtschaftswachstum			713,0	678,5	614,9	534,9
Höhere Bevölkerung			710,9	674,1	603,4	515,8
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise			700,9	666,5	595,9	513,3
Weniger Stromexport			665,1			
<b>Differenz gegenüber MWMS</b>						
Stärkeres Wirtschaftswachstum			12,5	11,9	16,8	22,3
Höhere Bevölkerung			10,4	7,5	5,3	3,3
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise			0,4	-0,1	-2,3	0,7
Weniger Stromexport			-35,3			
<b>Gesamtemissionen (ohne int. Verkehr &amp; LULUCF)</b>						
MWMS	1.249,8	901,8	805,6	760,2	682,0	592,3
Stärkeres Wirtschaftswachstum			818,2	772,1	698,8	614,6
Höhere Bevölkerung			816,1	767,7	687,3	595,5
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise			806,0	760,1	679,8	593,0
Weniger Stromexport			769,9			
<b>Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990</b>						
MWMS	-28 %		-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
Stärkeres Wirtschaftswachstum			-34,5 %	-38,2 %	-44,1 %	-50,8 %
Höhere Bevölkerung			-34,7 %	-38,6 %	-45,0 %	-52,3 %
Niedrigere CO <sub>2</sub> - und Brennstoffpreise			-35,5 %	-39,2 %	-45,6 %	-52,6 %
Weniger Stromexport			-38,4 %			

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Öko-Instituts

## 4 Institutionelle Maßnahmen und Instrumente zum Kyoto-Protokoll

### 4.1 Zuständigkeiten auf Bundesebene

#### 4.1.1 IMA „CO<sub>2</sub>-Reduktion“

Die Bundesregierung hat bereits frühzeitig eine umfassende Klimaschutzstrategie entwickelt. Mit dem Beschluss vom 13. Juni 1990 wurde die Interministerielle Arbeitsgruppe (IMA) "CO<sub>2</sub>-Reduktion" unter Federführung des BMUB 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 „CO<sub>2</sub>-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.

#### 4.1.2 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 Reaktorsicherheit (BMUB) 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. Hintergrund für die Beratungen der AGE sind sowohl die Diskussionen auf der internationalen Ebene (Klimarahmenkonvention, Kyoto-Protokoll) über den Einsatz der flexiblen Mechanismen (Clean Development Mechanism (CDM), Joint Implementation (JI) und internationaler Emissionshandel) als auch die Ausgestaltung und Umsetzung des Europäischen Klimaschutzprogramms ECCP (European Climate Change Programme).

#### 4.1.3 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 Sachverständ in die Erstellung der Treibhausgasinventare einbeziehen soll. Auch in den überarbeiteten Berichterstattungsvorschriften unter der Klimarahmenkonvention 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 Koordinierungsausschuss aller an der Berichterstattung beteiligten Ressorts eingerichtet, der den Prozess der Emissionsberichterstattung begleitet. Die Federführung hat das BMUB.

Das Umweltbundesamt, Fachgebiet I 2.6 „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 Ent-

scheidungen des Koordinierungsausschusses vorzubereiten. Die Nationale Koordinierungsstelle dient darüber hinaus als zentrale Anlaufstelle und koordiniert und informiert alle Teilnehmer des Nationalen Systems.

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 Technologie zuständig.

Für die Quellgruppen 2 (Industrieprozesse und Produktverwendungen) ist, mit Ausnahme der Emissionen an fluorierten Gasen, das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 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, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 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, Bau und Reaktorsicherheit zuständig.

Das Bundesministerium für Ernährung, 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 sicher zu stellen.

#### **4.1.4 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 CO<sub>2</sub>-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.

#### **4.1.5 Joint-Implementation-Koordinierungsstelle (JIKO)**

Zur Förderung, Genehmigung und Überwachung der in den Art. 6, 12 Kyoto-Protokoll vorgesehenen Joint-Implementation (JI) - und Clean-Development (CDM) - Projekte hat das BMUB 1995 die Joint-Implementation-Koordinierungsstelle (JIKO) eingerichtet. Die übergeordnete Zielsetzung der JIKO bleibt auch in der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls bestehen und wird durch neue Aufgaben des Kohlenstoffmarkts ergänzt. Die Ziele liegen weiterhin in der Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für die Zusammenarbeit Deutschlands mit Drittstaaten zur Förderung und Durchführung konkreter CDM/JI-Projekte mit Schwerpunkt auf den am wenigsten entwickelten Ländern und der Unterstützung der Reformprozesse bei CDM und JI. Darüber hinaus unterstützt JIKO mit Blick auf die langfristige internationale Kooperationsperspektive auf dem Kohlenstoffmarkt die Entwicklung neuer Marktmechanismen (NMM). Zuständig für die nach den internationalen Vorgaben erforderlichen formalen Mitwirkungsakte bei CDM- und JI-Projekten, d.h. die Befürwortung und Zustimmung zu den einzelnen Projekten ist die Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt. Die Tätigkeit der JIKO konzentriert sich auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der bestehenden und neuen Marktmechanismen des Kohlenstoffmarkts auf politischer und administrativer Ebene. Neben der fachlichen Mitwirkung der nationalen Umsetzung rechtlicher Vorgaben der EU liegt ein Schwerpunkt auf der internationalen Zusammenarbeit mit den CDM/JI-Gastländern, die seit 2008 im Rahmen der CDM/JI-Initiative des BMUB erfolgt. Seit 2009 liegt ein Schwerpunkt der Arbeit auf den programmatischen Ansätzen und sektoralen Aspekten der Marktmechanismen. Darüber hinaus trägt die JIKO auch zur Entwicklung neuer Marktmechanismen (NMM) bei, die sowohl ein „upscaling“ der Minderungsmaßnahmen als auch einen Beitrag zur Nettoemissionsminderung durch die Beteiligung von wirtschaftlich stärkeren Entwicklungsländern an den zusätzlichen Emissionsminderungsmaßnahmen ermöglichen sollen.

#### **4.1.6 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.

#### **4.1.7 Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass)**

Zur wissenschaftlichen Unterstützung bei der Konzeption einer nationalen Strategie zur Anpassung an Klimaänderungen (DAS) hat das BMUB im Umweltbundesamt das Kompetenzzentrum „Klimafolgen und Anpassung“ (KomPass) eingerichtet. KomPass hat die Aufgabe, Anpassung an den Klimawandel in Deutschland und Europa voranzutreiben. Dabei werden zukunftsfähige Wege aufgezeigt und Anstöße gegeben für die Entwicklung einer an den Klimawandel angepassten Gesellschaft und Umwelt.

Zu den Hauptaufgaben gehört es, die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) weiterzuentwickeln und ihre Umsetzung zu fördern. Im Fortschrittsbericht zur DAS (2015) wurden dazu konkrete Schritte und Maßnahmen festgelegt. Für diese Tätigkeiten bündelt und vermittelt KomPass Fachwissen zu Klimafolgen und möglichen Anpassungsmaßnahmen. Zielgruppen sind Behörden, Wissenschaftler, Industrie- und Umweltverbände sowie Bürgerinnen und Bürger.

Die Umsetzung und Weiterentwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) wird durch folgende Maßnahmen unterstützt:

- Politikberatung**

Ein Großteil der Arbeit fließt in die Weiterentwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie. Viele Projekte sind konkret darauf ausgerichtet, neue Wissensgrundlagen für die Fortschreibung der DAS zu schaffen sowie die Europäische Anpassungsstrategie zu gestalten oder national umzusetzen. Zudem wird ein indikatorengestütztes Monitoring von Klimaanpassung konzipiert, um Erfolge und Handlungsbedarf messbar sowie über regionale und sektorale Grenzen hinweg vergleichbar zu machen.

- Umweltforschung**

KomPass konzipiert und fördert Forschungsprojekte zu Klimarisiken und -anpassung für ein zukunfts-fähiges, klimaresilientes Deutschland. Auf Basis interner und externer Forschungsergebnisse werden die Verwundbarkeit von Sektoren und Regionen bewertet sowie Risiken und Chancen identifiziert und Handlungserfordernisse abgeleitet. Auf diese Weise werden die Risikovorsorge von Entscheidungsträgern und die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen unterstützt. KomPass bewertet Kosten und Nutzen von Maßnahmen und untersucht Grenzen sowie notwendige Voraussetzungen für erfolgreiche Anpassung. So trägt das Kompetenzzentrum dazu bei, bestehende Instrumente der Anpassung zu optimieren sowie neue zu entwickeln.

- Informationsbereitstellung**

KomPass führt aktuelle Forschungsergebnisse zusammen und erarbeitet daraus zielgruppenspezifische Informationsprodukte. Den Großteil finden Sie hier auf der Internetseite. Mit der Tatendatenbank, dem Projektkatalog Klimafolgen und Anpassung und dem Klimalotsen werden zusätzlich nützliche Werkzeuge für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel zur Verfügung gestellt.

- Vernetzung und Beteiligung**

KomPass fördert die Kooperation und Vernetzung der für die Anpassung verantwortlichen Akteure durch Workshops und Konferenzen, Fachdialoge sowie Kooperationsbörsen zur Klimaanpassung. Das Kompetenzzentrum arbeitet in nationalen Gremien wie DKKV oder der Strategischen Behördenallianz sowie internationalen wie OECD und IPCC. Um die Interessen aller an der Strategieentwicklung und -umsetzung Beteiligten zu berücksichtigen, organisiert KomPass eine breite Beteiligung von Akteuren und gesellschaftlichen Gruppen, beispielsweise in Form von Online-Konsultationen oder Stakeholder-Dialogen.

#### 4.1.8 Bilaterale ständige Arbeitsgruppen „Umwelt und Energie“

Auf der Grundlage bilateraler Regierungsabkommen im Umweltbereich engagiert sich das deutsche Bundesumweltministerium in bilateralen Arbeitsgruppen mit Russland und der Ukraine. Aufgaben der Arbeitsgruppen sind neben der Zusammenarbeit und Regierungsberatung in allgemeinen Fragen der Klimaschutzpolitik vor allem die projektbezogene Zusammenarbeit und der Aufbau von Kapazitäten im Kohlenstoffmarkt (Nutzung der flexiblen Kyoto-Mechanismen bzw. Aufbau von Emissionshandelsystemen).

### 4.2 Zuständigkeiten auf Länderebene

Die Bundesrepublik ist ein föderaler Staat, in dem die Zuständigkeiten zwischen 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 Energien<sup>100</sup>.

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 wird der Klimaschutz institutionell unterstützt, z.B. durch eine Zusammenlegung der Zuständigkeiten für Klimaschutz und Energie (BW, BE, HH, HE, NI, RP, ST, SH, TH) oder durch die Gründung von Energieagenturen und Netzwerken.

Der regelmäßige Bund-Länder-Austausch zu Klimaschutzhemen findet in verschiedenen Gremien statt (siehe Tabelle 4-1). 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. Ein entsprechender Bericht an die UMK wird Ende 2018/Anfang 2019 erwartet.

Die klimapolitische Zusammenarbeit von Bund und Ländern erfolgt in Fachministerkonferenzen. Deinen Beschlüsse entfalten zwar keine unmittelbare Rechtswirkung, sie geben jedoch die politische Agenda zu Klima-, Umwelt- und Energiethemen 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 Ar-

---

<sup>100</sup> 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.

beitsgremien 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.

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 Chemikaliensicherheit (**BLAC** - gegründet 1996).

Tabelle 4-1: Übersicht des regelmäßig stattfindenden Austauschs zu Klimaschutzhemen zwischen Bund und Ländern

Gremium	Teilnehmer	Organisation	Inhalte
AG Emissions-handel <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 Mitarbeitern, Vorsitz: BMUB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragen des Emissionshandels und des Kohlenstoffmarktes diskutieren und Empfehlungen für die Ausgestaltung geben;</li> <li>• Themenschwerpunkte: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausgestaltung des EU Emissionshandelssystems auf europäischer und nationaler Ebene</li> <li>- Nutzung weiterer flexibler Mechanismen</li> <li>- Verknüpfung des Europäischen Emissionshandels mit anderen Emissionshandelssystemen</li> </ul> </li> </ul>
Aktionsbündnis Klimaschutz <i>2 Treffen pro Jahr</i>	Vertreter von Verbänden, einzelnen Ländern, Kommunen, der Wissenschaft und der Bundesregierung	BMUB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzung der beschlossenen Maßnahmen unterstützen</li> <li>• Aktivierung der Potenziale erleichtern, die derzeit noch als „nicht quantifizierbar“ eingestuft werden</li> <li>• Weitere Handlungsmöglichkeiten identifizieren</li> </ul>
Bund-Länder Austausch Klimaschutz <i>2 Treffen pro Jahr</i>	Referenten für kommunalen Klimaschutz von Bund und Ländern	SK:KK (difu), finanziert vom BMUB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachlicher informeller Austausch zu Themen des kommunalen Klimaschutzes, bspw. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Förderprogramme für Kommunen &amp; Förderpraxis</li> <li>- Vorstellung von Modellprojekten, Instrumenten o.ä.</li> </ul> </li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinierung des Vollzugs des EEWärmeG</li> <li>• Auslegungsfragen des EEWärmeG</li> <li>• Austausch zwischen den Länderreferenten</li> </ul>
Ständiger Ausschuss Anpassung an die Folgen des Klimawandels	Referenten für Anpassung an die Folgen des Klimawandels von Bund	Arbeitsgruppe der BLAG KliNa; Vorsitz: BMUB, NW & SN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begleitung der Fortschreibung des „Aktionsplans Anpassung“ im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie</li> </ul>

Gremium	Teilnehmer	Organisation	Inhalte
(StA AFK) <i>2 Treffen pro Jahr</i>	und Ländern		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimafolgenmonitoring der Länder und des Bundes, Indikatoren</li> <li>• Anpassungsstrategien des Bundes und der Länder</li> <li>• Finanzierungsfragen zur Anpassung an den Klimawandel</li> <li>• Koordinierung der Arbeit zum Thema Anpassung</li> </ul>
AK Energiepolitik <i>2 Treffen pro Jahr</i>	Referenten für Grundsatzfragen der Energiepolitik aus den Ländern und Bund (Beobachter)	Arbeitskreis der WMK, Ländervorstand wechselt alle 2 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Themen der Energiepolitik in den Ländern</li> <li>• Energiewende im Allgemeinen (ohne Verkehr)</li> <li>• Keine explizite Betrachtung des Themas Klimaschutz <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Austausch mit AK Energiepolitik sinnvoll</li> </ul> </li> </ul>

Quelle: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit, Stand September 2016

### 4.3 Maßnahmen zur Beteiligung an flexiblen Mechanismen

Zur Umsetzung des Reduktionsziels für Deutschland, in der Periode 2008-2012 die Emissionen der sechs Kyoto-Treibhausgase um 21 Prozent im Vergleich zu 1990 bzw. 1995 zu mindern, überprüft die Bundesregierung die bereits eingeleiteten Maßnahmen laufend und entwickelt diese fort. Für die 2.Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls 2013-20, die im Dezember 2012 von der Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Doha beschlossen wurde, besteht weiterhin die Möglichkeit internationale Emissionszertifikaten aus CDM- und/ oder JI-Projekten zu nutzen. Auf der Grundlage der bereits bestehenden EU-weiten Regelung können nun zur Erreichung der Abgabeverpflichtungen von Unternehmen im EU-Emissionshandel in der 3.Handelsperiode 2013-20 nicht nur die bereits ausgegebenen CERs und ERUs genutzt werden, sondern auch neue Zertifikate aus CDM-Projekten in den am wenigsten entwickelten Ländern. Damit besteht für die Unternehmen weiterhin eine kosteneffiziente Option Zertifikate zuzukaufen oder sich an internationalen Klimaschutzprojekten zu beteiligen.

## 5 Quellenverzeichnis

- AGEB (2008a-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 (2008b-2016): Satellitenbilanz Erneuerbare Energien, Jahre 2000–2014 (Stand 2008 für die Jahre 2000-2002, Stand 2010 für die Jahre 2003-2008, Stand 2012 für die Jahre 2009-2010, Stand 2013 für das Jahr 2011, Stand 2014 für das Jahr 2012, Stand 2015 für das Jahr 2013, Stand 2016 für das Jahr 2014).
- AGEB (2012-2015): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Jahre 2005–2013 (Bearbeitungsstand 2012 für die Jahre 2005 bis 2010, Bearbeitungsstand 2013-2015 jeweils für zwei Kalenderjahre davor).
- AGEB (2016): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. Stand: 16.12.2016. AG Energiebilanzen, zuletzt abgerufen am 16.02.2017.
- 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](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](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" (MaRess) Arbeitspaket 14 (UBA – Umweltbundesamt, Hg.).
- BBSR (2015): Wohnungsmarktprognose 2030 (BBR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Hg.), Bonn.
- BDEW (2016): Strompreisanalyse Mai 2016 - Haushalte und Industrie (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Hg.).
- Biere, D (2015): Modellgestützte Szenario-Analyse der langfristigen Erdgasnachfrageentwicklung der deutschen Industrie. Dissertation (Fakultät für Wirtschaftswissenschaften des Karlsruher Institut of Technology, Hg.), Karlsruhe.
- BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (2008): Die Zukunft der digitalen Consumer Electronics, Berlin.
- BLE – Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2016): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2015. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), zuletzt abgerufen am 11.10.2016.
- BMEL (2016): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre - Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommenmodellierung 2013 bis 2052. Verfügbar unter [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Wald-Rohholzpotential-40Jahre.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](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. 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](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_broschuere_bf.pdf), zuletzt abgerufen am 16.12.2016.
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016a): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), zuletzt abgerufen am 07.03.2017.
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016b): Projektionsbericht 2015 (BMUB, Hg.). Verfügbar unter <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/>, zuletzt abgerufen am 01.11.2016.
- BMVI (2015): Verkehr in Zahlen 2015/2016.
- BMWi (2016a): Haushalt 2017. Verfügbar unter <https://www.bmwi.de/DE/Ministerium/haushalt.html>.
- BMWi (2016b): Zahlen und Fakten Energiedaten. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- BMWi und AGEE-Stat (2016): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). (Stand: August 2016). Verfügbar unter [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html), zuletzt abgerufen am 07.03.2017.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): Mehr aus Energie machen - Nationaler Aktionsplan für Energieeffizienz.
- BNetzA – Bundesnetzagentur (2014): Kraftwerksliste Bundesnetzagentur - Stand 29.10.2014. Verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste\\_2014.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=17](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste_2014.xlsx?__blob=publicationFile&v=17).

- BNetzA – Bundesnetzagentur (2016): Kraftwerksliste Bundesnetzagentur - Stand: 16.11.2016. Verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste\\_2016.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste_2016.xlsx?__blob=publicationFile&v=2).
- Bundesbank (2016): Robuster Aufschwung dank guter Binnenkonjunktur. Pressemitteilung vom 3.6.2016. Verfügbar unter [https://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/BBK/2016/2016\\_06\\_03\\_prognose.html](https://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/BBK/2016/2016_06_03_prognose.html).
- Bundesnetzagentur, B (2015): Monitoringbericht 2015. Bundesnetzagentur.
- Bundesregierung (2013): Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (BMUB, Hg.).
- Bundesregierung (2016a): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016.
- Bundesregierung (2016b): Frühjahrsprojektion 2016. Deutsche Wirtschaft wächst. Verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/04/20-fruehjahrsprojektion-2016.html>.
- Butz, W (2016) Umweltbundesamt (UBA).
- BWE (2017): AGOW, BWE, Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE, VDMA und WAB - Ausbauzahlen 2016 Offshore-Windenergie: Ausbau schreitet nun kontinuierlich voran Bundesregierung bremst weitere Dynamik. Verfügbar unter <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/2017/agow-bwe-stiftung-offshore-windenergie-vdma-und-wab-ausbauzahlen-2016>.
- Capros, P; De Vita, A; Tasiros, A; Siskos, P; Kannavou, M; Petropoulos, A; Evangelopoulou, S; Zampara, M; Papadopoulos, D; Nakos, C; et al.; Parousos, L; Fragiadakis, K; Tsani, S; Karkatsoulis, P; Höglund-Isaksson, L; Winiwarter, W; Purohit, P; Gomez-Sanabria, A; Frank, S; Forsell, N; Gusti, M; Havlík, P; Obersteiner, M; Witzke, H; Kesting, M (2016): 2016. EU Energy Reference Scenario 2016. Annex 1. Verfügbar unter [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016\\_report\\_final-web.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf), zuletzt abgerufen am 30.01.2017.
- Cuhls, C; Mähl, B; Clemens, J (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, UBA Texte 39/2015, FKZ 206 33 326 & 3709 44 320. Umweltbundesamt (UBA).
- de Jong, G; Schrotten, A; van Essen, H; Otten, M; Bucci, P (2010): Price sensitivity of European road freight transport – towards a better understanding of existing results. significance; CE Delft, zuletzt abgerufen am 04.10.2016.
- Dehoust, G; Schüler, D; Vogt, R; Giegrich, J (2010): Klimaschutzzpotenziale der Kreislaufwirtschaft – Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz; Öko-Institut/IFEU, UBA-Texte 06/2010. Dessau: Umweltbundesamt (UBA).
- dena (2016): Evaluation des Förderprogramms Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand. Berlin: dena.
- Deutscher Brauerbund (o.J.).
- 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.
- DG ECFIN (2016): Ameco database. Trend gross domestic product at 2010 reference levels. Verfügbar unter [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/indicators-statistics/economic-databases/macro-economic-database-ameco\\_en](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/indicators-statistics/economic-databases/macro-economic-database-ameco_en), zuletzt abgerufen am 30.01.2017.
- Diefenbach, N; Cischinsky, H; Rodenfels, M; Clausnitzer, K-D (2010): Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt (IWU).
- Diekmann, J; Eichhammer, W; Rieke, H; Schlomann, B; & Ziesing, HJ (1999): Energie-Effizienz-Indikatoren. Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Heidelberg: Physica.
- (2009) – Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community. Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:en:PDF>, abgerufen am 15.08.2014.
- 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>.
- EC (2014): Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2015 Final after consultation, 17 June 2014.
- EC (2016a): Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2017 Final, 14/06/2016.
- (2016) – EU guidance.
- EC – European Commission (2015): The 2015 ageing report. Economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013–2060) (European economy, 3/2015). Luxembourg: Publications Office.
- EC – European Commission (2016b): EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050. Verfügbar unter [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016\\_report\\_final-web.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf).
- EEA (2017): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer, EEA. Verfügbar unter <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data-data-viewers/emissions-trading-viewer-1>.
- EIA – Energy Information Administration (2014): Annual Energy Outlook 2014. Verfügbar unter [http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo14/pdf/0383\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo14/pdf/0383(2014).pdf), zuletzt abgerufen am 23.03.2016.
- EIA – Energy Information Administration (2015): Annual Energy Outlook 2015. Verfügbar unter [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2015\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2015).pdf), zuletzt abgerufen am 23.03.2016.

- Elsland, R (2016): Long-term energy demand in the German residential sector. Baden-Baden.

EuP Preparatory Studies Lot 10 (2008): Residential room conditioning appliances (airco and ventilation). Final Report. Verfügbar unter <http://www.ecoaircon.eu/>.

(2014) – European Commission guidance for the design of renewables support schemes accompanying the Communication from the Commission: Delivering the internal market in electricity and making the most of public intervention.

EWI; Prognos; gws (2014): Entwicklung der Energiemarkte - Energierreferenzprognose. Projekt Nr. 57/12.

Fleiter, T; Braungardt, S; Sohaib, T; Schloemann, B; Eichhammer, W; Elsland, R; Kranzl.Lukas; Jakob, M (2015): Assessing the impact of the EU Ecodesign Directive on a member state level (eceee summer study proceedings, Hg.), Presqu'ile de Giens, France.

Fleiter, T; Fehrenbach, D; Worrell, E; Eichhammer, W (2012a): Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials. Energy 40 (1). 84–99. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421200120X>.

Fleiter, T; Gruber, E; Eichhammer, W; Worrell, E (2012b): The German energy audit program for firms - a cost-effective way to improve energy efficiency? Energy Efficiency 5 (4). 447–469.

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., Schloemann, B. & Eichhammer, W. (Hrsg.) (2013): Energieverbrauch und CO<sub>2</sub> Emissionen industrieller Prozesstechniken - Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

FNB Gas (2016): Netzentwicklungsplan Gas 2016. Entwurf. Berlin: Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas, zuletzt abgerufen am 06.02.2017.

Forschungsnetzwerk Energie (2015): Gebäude und Quartiere. Verfügbar unter <https://www.forschungsnetzwerk-energie.de/gebaeude-und-quartiere/netzwerk>.

Fraunhofer ICT und 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 (2014a): Kosten-/Nutzen-Analyse von Instrumenten zur Realisierung von Endenergieeinsparungen in Deutschland, Ausgestaltungsoptionen und Bewertung von Instrumenten und möglicher Instrumentenkombinationen für Deutschland, Karlsruhe.

Fraunhofer ISI (2014b): 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; 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 et al., Hg.), Karlsruhe.

Fraunhofer ISI; Öko-Institut; Ecofys (2012): Kosten-/Nutzen-Analyse der Einführung marktorientierter Instrumente zur Realisierung von Endenergieeinsparungen in Deutschland. Endbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Karlsruhe, Freiburg, Berlin. Verfügbar unter <http://www.oeko.de/oekodoc/1462/2012-043-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 27.04.2015.

Fraunhofer IZM (2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland: Abschlussbericht.

GfK – Gesellschaft für Konsumforschung (2002-2010): GfK Retail Panel Haushaltsgeräte Deutschland 1998-2008 – Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschine, Kühlschrank, Gefrierschrank, Kochen und Klimaanlagen, Nürnberg.

AtG (2016) – Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren vom 26.7.2016. Verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html>, abgerufen am 23.02.2017.

SteinkohleFinG (2015) – Gesetz zur Finanzierung der Beendigung des subventionierten Steinkohlenbergbaus zum Jahr 2018 vom 31.8.2015. Verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/steinkohlefing/index.html>, abgerufen am 23.02.2017.

Strommarktgesezt (2016) – Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarktes vom 26.07.2016. Verfügbar unter [http://www.bgblerxaver/bgblerxaver/bgblerxaver?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBI&jumpTo=bgblerxaver/BGBI116s1786.pdf](http://www.bgblerxaver/bgblerxaver/bgblerxaver?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgblerxaver/BGBI116s1786.pdf), abgerufen am 23.02.2017.

Hackmann, M; Pyschny, H; Stanek, R (2015): Total Cost of Ownership Analyse für Elektrofahrzeuge. P3 automotive GmbH (P3 group).

Harthan, RO (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](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.

IEA – International Energy Agency (2015): World Energy Outlook 2015, Paris.

IER – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung; Johann Heinrich von Thünen-Institut; Öko-Institut e.V.; Stern, R Dr.; TNO – Department of Climate, Air and Sustainability; 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 (UBA – Umweltbundesamt, Hg.), Dessau-Roßlau. Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_35\\_2014\\_komplett.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_35_2014_komplett.pdf), zuletzt abgerufen am 22.02.2017.

Institut für System- und Innovationsforschung – Fraunhofer IZM (Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration), Fraunhofer ISI (2009): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Studie im Auftrag des BMWi., Berlin, Karlsruhe.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): 2013 revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol. Verfügbar unter [http://www.ipcc-nigip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP\\_Supplement\\_Entire\\_Report.pdf](http://www.ipcc-nigip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP_Supplement_Entire_Report.pdf), zuletzt abgerufen am 30.01.2017.

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-nigip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, zuletzt abgerufen am 14.07.2015.

IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis report. Fourth assessment report, Geneva. Verfügbar unter [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf), zuletzt abgerufen am 03.09.2014.

IREES und Fraunhofer ISI (2010): Evaluierung des Förderprogramms "Energieeffizienzberatung" als Komponente des Sonderfonds "Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)", Karlsruhe.

IREES und Fraunhofer ISI (2014): Evaluation des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ (Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien & Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Hg.), Karlsruhe.

Jaccard, M (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, E und Idrissova, F (2014): Bericht über die Auswertungen der Daten der Initialberatungen aus dem Projekt "30 Pilot-Netzwerke", Karlsruhe.

Jochem, E; Mai, M; Ott, V (2010): Energieeffizienznetzwerke - beschleunigte Emissionsminderung in der mittelständischen Wirtschaft. Zeitschrift für Energiewirtschaft 3421–28.

Kaya, Y und Yokoburi, K (1997): Environment, energy, and economy: strategies for sustainability. Tokio: United Nations Univ. Press.

Kesicki, F und Yanagisawa, A (2015): Modelling the potential for industrial energy efficiency in IEA's World Energy Outlook. Energy Efficiency 8 (1). 155–169. DOI: 10.1007/s12053-014-9273-7.

KfW (2016a): Energieeffizient Bauen Für Bau oder Ersterwerb eines neuen Kfw-Effizienzhäuses. Die Konditionen im Einzelnen. Verfügbar unter <https://www.kfw.de/inlandsförderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-%282153%29/>.

KfW (2016b): IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren Investieren Sie in energiesparende Nichtwohngebäude. Das Wichtigste in Kürze. Verfügbar unter <https://www.kfw.de/inlandsförderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kommunen-%28218%29/>.

KfW (2016c): KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren Energiekosten im Gewerbegebäude senken. Das Wichtigste in Kürze. Verfügbar unter <https://www.kfw.de/inlandsförderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/>.

Kless, S und Veldues, B (2008): Auszug aus Wirtschaft und Statistik: Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2005. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Knörr, W; Bergk, F; Gores, S; Heidt, C (2014): „Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMOD) für die Emissionsberichterstattung 2015 (Berichtsperiode 1990-2013). ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU), zuletzt abgerufen am 27.10.2016.

Korn, M; Leupold, A; Niederau, A; Schneider, C; Hartwig, K-H; Scheffler, R (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.

Kranzl, L; Hummel, M; Müller, A; Steinbach, J (2013): Renewable heating: perspectives and the impact of policy instruments. Energy Policy 5944–58.

Litman, T (2016): Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities (Victoria Transport Policy Institute, Hg.), zuletzt abgerufen am 12.07.2016.

Milchindustrie (o.J.).

Miller, J (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](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-CO2-policies_201606.pdf), zuletzt abgerufen am 13.12.2016.

Müller, A (2015): Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water : A Case Study for the Austrian Building Stock. Technische Universität Wien.

Müller, A und Biermayr, P (2011): Die Zukunft des Wärmebedarfs für Heizung und Brauchwasserwärmung in österreichischen Gebäuden bis 2050. 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien IEWT. Wien: Energy Economics Group, Vienna University of Technology. 1–17.

Nabitz, L; Hirzel, S; Antoni, O (2016): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. AP2 Teil Evaluierung des Programms „Förderung von Energiemanagementsystemen“. Fraunhofer ISI.

NEP – Netzentwicklungsplan Strom (2015): Kraftwerksliste zum Entwurf Szenariorahmen NEP/O-NEP 2015, 50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH; TransnetBW GmbH. Verfügbar unter [https://www.netzentwicklungsplan.de/nep-file-download?file=nep\\_2015\\_kraftwerksliste\\_entwurf\\_140430.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/nep-file-download?file=nep_2015_kraftwerksliste_entwurf_140430.pdf).

Nitsch, J; Pregger, T; Naegler, T; Heide, D; Luca de Tena, D; Trieb, F; Scholz, Y; Nienhaus, K; Gerhardt, N; Sterner, M; Trost, T; von Oehsen, A; 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.

OECD (2016): Economic Outlook No 99 - June 2016.

Offermann, F (2016): Thünen-Baseline 2015-2025: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Verfügbar unter <http://d-nb.info/109491441X/34>.

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 (2014a): Aktueller Stand der KWK-Erzeugung (September 2014). Verfügbar unter <http://www.oeko.de/oekodoc/2118/2014-674-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.09.2015.

Öko-Institut (2014b): eMobil 2050. Szenarien zum möglichen Beitrag des elektrischen Verkehrs zum langfristigen Klimaschutz, Berlin.

Öko-Institut (2014c): Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Hg.). Verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2208/2014-754-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.

Öko-Institut (2015a): Die Entwicklung der EEG-Kosten bis 2035. Wie der Erneuerbaren-Ausbau entlang der langfristigen Ziele der Energiewende wirkt (Agora, Hg.), Berlin.

Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2016): Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. Berlin, Karlsruhe: Öko-Institut; Fraunhofer ISI.

Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2017): Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. Quantifizierungsbericht (2016). Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Berlin. Verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/APK-2020-Quantifizierungsbericht-2016.pdf>.

Öko-Institut, ea (2015b): Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrounde (Öko-Institut, Hg.). 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, ea (2017): Klimaschutz im Stromsektor 2030. Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. im Auftrag des Umweltbundesamtes.

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 & Fraunhofer ISI (2012): Energieeinsparquote für Deutschland? Bewertung des Instruments der Energieeinsparquote (Weiße Zertifikate) auf seine Eignung als Klimaschutzinstrument für Deutschland. Endbericht im Auftrag der KfW Bankengruppe und des WWF Deutschland, Freiburg, Karlsruhe.

Öko-Institut, Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Prof. Dr. Stefan Klinski (2017a): Klimaschutz im Stromsektor 2030 - Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Endbericht (UBA – Umweltbundesamt, Hg.) (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](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.

Peter, M; Bertschmann-Aeppli, D; Zandonella, R; Maibach, M (2012): Auswirkungen der Einführung der Luftverkehrsteuer auf die Unternehmen des Luftverkehrssektors in Deutschland. Ex-post Analyse nach einem Jahr, im Auftrag für das Bundesministerium der Finanzen. Zusammenfassung Schlussbericht. Zürich: infras. Verfügbar unter [http://www.infras.ch/media/filer\\_public/d3/de/d3de69dfa4d9-4d4c-9367-60237b62b815/wirkunglvs\\_sb\\_infras\\_270612\\_zusammenfassung.pdf](http://www.infras.ch/media/filer_public/d3/de/d3de69dfa4d9-4d4c-9367-60237b62b815/wirkunglvs_sb_infras_270612_zusammenfassung.pdf).

Prognos (2014): Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012 (Prognos, Hg.), Berlin.

Prognos (2016a): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. Berlin: Prognos.

Prognos (2016b): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. Teilprojekt: Evaluierung der Maßnahme „energieeffiziente und klimaschonende Produktionsprozesse“. Berlin: Prognos.

Prognos (2016c): Letztverbrauch 2021 Planungsprämissen für die Berechnung der EEG-Umlage. Berlin: Prognos.

Prognos (2016d): 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 Energiemarkte - 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.

Rösemann, C; Haenel, H-D; Dämmgen, U; Freibauer, A; Döring, U; Wulf, S; Eurich-Menden, B; Döhler, H; Schreiner, C; Osterburg, B (voraussichtlich 2017): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2015 : report on methods and data (RMD) submission 2017 (Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep, Hg.), Braunschweig.

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.

Schubert, M; Kluth, T; Nebauer, G; Ratzenberger, R; Kotzagiorgis, S; Butz, B; Schneider, W; Leible, M (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichti-

- gung des Luftverkehrs (BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg.). Freiburg, München, Aachen, Essen: Intraplan Consult (Intraplan); Beratergruppe Verkehr + Umwelt (BVU); Ingenieurgruppe IVV (IVV); Planco Consulting (Planco).
- Statistik der Kohlenwirtschaft e. V. (o.J.).
- Statistisches Bundesamt (2012): Fachserie 4 Reihe 6.4: Produktion im Produzierenden Gewerbe (Statistisches Bundesamt, Hg.).
- StBA (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung.
- StBA (2014a). Verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgüter/Tabellen/Haushaltsgeräte\\_D.html;jsessionid=C31652E6733135B52042C3DE401DC823.cae4](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgüter/Tabellen/Haushaltsgeräte_D.html;jsessionid=C31652E6733135B52042C3DE401DC823.cae4).
- StBA (2014b).
- StBA (2014c): Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden.
- StBA (2015): Bevölkerung Deutschlands bis 2060, Ergebnisse der 13. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.
- StBA (2016a): Bautätigkeit und Wohnungen - Bestand an Wohnungen Fachserie 5 Reihe 3. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (StBA).
- StBA (2016b): Bevölkerungsfortschreibung Deutschland Stichtag, Tabelle 12411-0001; Fachserie 1 Reihe 1.3.
- StBA – Statistisches Bundesamt (2001-2015): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung.
- StBA – Statistisches Bundesamt (2010): Produktionsdatenbank (Prodcom), Wiesbaden. Verfügbar unter <http://www.eds-destatis.de/de/theme4/prodcom.php>.
- StBA – Statistisches Bundesamt (2013): Laufende Wirtschaftsrechnungen - Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte. Fachserie 15 (1).
- StBA – Statistisches Bundesamt (2014d): Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung.
- Steinbach, J (2013): Akteursspezifische Untersuchung von Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Ausbau erneuerbarer Energien im Wohngebäudebereich. Proceedings of the IEWT (8. Internationale Energiewirtschaftstagung) Wien.
- Steinbach, J (2015): Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich (Fraunhofer Verlag, Hg.), Stuttgart. Verfügbar unter <https://www.verlag.fraunhofer.de/bookshop/buch/Modellbasierte-Untersuchung-von-Politikinstrumenten-zur-Förderung-erneuerbarer-Energien-und-Energieeffizienz-im-Gebäudebereich/245046>.
- Thünen (2012): Bundeswaldinventur: Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (2012). Verfügbar unter <https://bwi.info/?inv=WEHAM2012>.
- UBA – Umweltbundesamt (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.
- UBA – Umweltbundesamt (2014): Kraftwerke in Deutschland. (ab 100 Megawatt elektrischer Leistung).
- UBA – Umweltbundesamt (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](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.
- UBA – Umweltbundesamt (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.
- UBA – Umweltbundesamt (2016b): Zentrales System Emissionen (ZSE). Datenausspielung, Stand 11.10.2016.
- UBA – Umweltbundesamt (2017b): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2015. (In Vorbereitung) (Climate Change), Dessau-Roßlau.
- 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.
- Wolfram, P und 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](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LitRvw_EV-tech-costs_201607.pdf).
- WVZ – Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. (o.J.).
- ZVEI (2006-2009): Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2005-2008, Frankfurt.

## Anhang

### A1 Instrumententypen

Tabelle A-5-1: Klassifikation der Instrumententypen

Instrumententyp		Erläuterung, Beispiele
Ökonomische Instrumente	E	Preis- und mengenpolitische Steuerungsmechanismen: Umweltabgaben-/Steuern, Handelbare Zertifikate, Handelbare Quoten, Tarifpolitik, Marktform/-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 A-5-2 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-5-2: Zuordnung von CRF-Kategorien im Projektionsbericht 2017 und im Klimaschutzplan 2050

CRF	Projektionsbericht 2017	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

CRF	Projektionsbericht 2017	Klimaschutzplan 2050	Kommentar
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	
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 2016a) 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 Tabelle A-5-2 aufgeführt.

Die folgenden Tabelle A-5-3 und

Tabelle A-5-4 zeigen daher die Ergebnisse dieses Projektionsberichts 2017 in die Sektorzuordnung des KSP 2050 umgerechnet dar.

Tabelle A-5-3: Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MMS, 1990-2035

Sektor	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Energiewirtschaft	466,4	396,7	368,7	358,0	292,0	303,4	276,0	229,2
Industrie	283,1	190,5	187,2	180,7	173,4	162,5	148,3	142,6
Gebäude	208,7	154,0	148,6	118,9	113,2	98,0	86,6	77,1
Verkehr	163,3	159,9	153,0	159,9	157,8	151,4	148,7	147,6
Landwirtschaft	90,3	69,5	69,0	72,6	71,3	70,8	69,0	67,8
<b>Teilsumme</b>	<b>1.211,9</b>	<b>970,6</b>	<b>926,4</b>	<b>890,2</b>	<b>807,7</b>	<b>786,1</b>	<b>728,7</b>	<b>664,2</b>
Sonstige	38,0	21,2	14,6	11,6	8,6	7,0	5,9	5,0
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>816,4</b>	<b>793,1</b>	<b>734,5</b>	<b>669,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-17,7 %	-20,0 %	-25,9 %	-32,5 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-34,7 %	-36,5 %	-41,2 %	-46,5 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-34,9 %	-36,7 %	-41,4 %	-46,6 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> 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 Werte für 1990 bis 2014 von den Angaben im Klimaschutzplan 2050 abweichen.

Tabelle A-5-4: Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MWMS, 1990-2035

Sektor	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO <sub>2</sub> e								
Energiewirtschaft	466,4	396,7	368,7	358,0	286,4	281,0	240,7	184,7
Industrie	283,1	190,5	187,2	180,7	170,9	158,7	147,0	136,9
Gebäude	208,7	154,0	148,6	118,9	113,5	96,9	84,3	74,1
Verkehr	163,3	159,9	153,0	159,9	157,1	148,4	137,6	126,4
Landwirtschaft	90,3	69,5	69,0	72,6	69,2	68,7	66,9	65,6
<b>Teilsumme</b>	<b>1.211,9</b>	<b>970,6</b>	<b>926,4</b>	<b>890,2</b>	<b>797,1</b>	<b>753,6</b>	<b>676,6</b>	<b>587,7</b>
Sonstige	38,0	21,2	14,6	11,6	8,5	6,6	5,5	4,6
<b>Gesamt</b>	<b>1.249,8</b>	<b>991,8</b>	<b>941,0</b>	<b>901,8</b>	<b>805,6</b>	<b>760,2</b>	<b>682,0</b>	<b>592,3</b>
ggü. 2005	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-18,8 %	-23,4 %	-31,2 %	-40,3 %
ggü. 1990	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-35,7 %	-39,4 %	-45,6 %	-52,8 %

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> 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 Werte für 1990 bis 2014 von den Angaben im Klimaschutzplan 2050 abweichen.

## A4 Bruttostromerzeugung

Tabelle A-5-5: Bruttostromerzeugung im MMS (2008-2035)

Energieträger	2008	2014	2020	2025	2030	2035
TWh						
Kernenergie	148,8	97,1	66,7	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	150,6	155,8	126,4	127,7	111,4	74,4
Steinkohle	124,6	118,6	92,8	109,0	97,8	85,0
Erdgas	89,1	61,1	70,5	73,9	76,8	94,0
Mineralöl	9,7	5,7	1,7	1,5	1,3	0,7
Wasserkraft	20,4	19,6	21,5	21,0	20,7	20,7
Windenergie onshore	40,6	55,9	96,1	99,7	112,9	124,8
Windenergie offshore	0,0	1,4	30,1	43,2	60,3	76,4
Photovoltaik	4,4	36,1	43,0	50,2	54,6	45,6
Biomasse <sup>a</sup>	27,8	48,3	49,5	45,0	31,9	20,6
Geothermie	0,0	0,0	1,6	3,8	6,1	8,9
Sonstige	24,7	27,0	32,7	28,1	27,7	27,9
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>640,7</b>	<b>626,6</b>	<b>632,6</b>	<b>603,2</b>	<b>601,6</b>	<b>579,2</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-2,2 %	-1,3 %	-5,8 %	-6,1 %	-9,6 %

Energieträger	2008	2014	2020	2025	2030	2035
Erneuerbarer Anteil	14,5 %	25,7 %	38,2 %	43,6 %	47,6 %	51,3 %
Stromhandelssaldo <sup>b</sup>	-22,5	-35,6	-41,3	-38,6	-50,7	-33,8
<b>Bruttostromverbrauch</b>	<b>618,2</b>	<b>591,0</b>	<b>591,3</b>	<b>564,7</b>	<b>550,9</b>	<b>545,3</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-4,4 %	-4,4 %	-8,7 %	-10,9 %	-11,8 %
Erneuerbarer Anteil	15,1 %	27,3 %	40,9 %	46,6 %	52,0 %	54,5 %

Quelle: AGEB 2016, Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Einschließlich organischen Anteils des Mülls. <sup>b</sup> Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

Tabelle A-5-6: Bruttostromerzeugung im MWMS (2008-2035)

Energieträger	2008	2014	2020	2025	2030	2035
TWh						
Kernenergie	148,8	97,1	66,7	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	150,6	155,8	122,5	121,7	105,3	67,7
Steinkohle	124,6	118,6	88,3	85,8	60,3	41,9
Erdgas	89,1	61,1	72,9	88,9	102,9	110,9
Mineralöl	9,7	5,7	1,7	1,6	1,3	0,7
Wasserkraft	20,4	19,6	21,5	21,0	20,7	20,7
Windenergie onshore	40,6	55,9	96,1	99,7	112,9	131,7
Windenergie offshore	0,0	1,4	30,1	43,2	60,3	76,4
Photovoltaik	4,4	36,1	43,0	55,5	66,8	67,9
Biomasse <sup>a</sup>	27,8	48,3	49,4	45,4	32,2	20,6
Geothermie	0,0	0,0	1,6	3,8	6,1	8,9
Sonstige	24,7	27,0	32,4	27,1	26,4	26,6
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>640,7</b>	<b>626,6</b>	<b>626,2</b>	<b>593,7</b>	<b>595,4</b>	<b>574,0</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-2,2 %	-2,3 %	-7,3 %	-7,1 %	-10,4 %
Erneuerbarer Anteil	14,5 %	25,7 %	38,6 %	45,2 %	50,2 %	56,9 %
Stromhandelssaldo <sup>b</sup>	-22,5	-35,6	-39,7	-43,9	-58,2	-39,2
<b>Bruttostromverbrauch</b>	<b>618,2</b>	<b>591,0</b>	<b>586,5</b>	<b>549,8</b>	<b>537,2</b>	<b>534,7</b>
Änderung ggü. 2008	0,0 %	-4,4 %	-5,1 %	-11,1 %	-13,1 %	-13,5 %
Erneuerbarer Anteil	15,1 %	27,3 %	41,2 %	48,8 %	55,7 %	61,0 %

Quelle: AGEB 2016, Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: <sup>a</sup> Einschließlich organischen Anteils des Mülls. <sup>b</sup> Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.